

Varição de longo-termo na dinâmica populacional da sardinha em relação às condições oceanográficas e à pesca

Tiago Alexandre Matias da Veiga Malta

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos

2013

MSc

2.º
CICLO

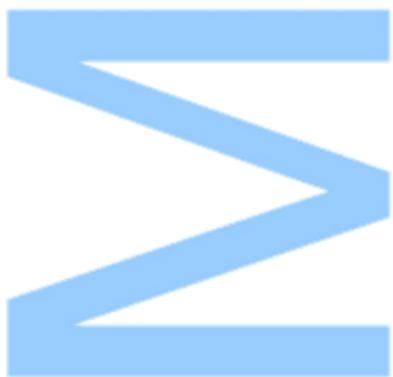
FCUP
2013

U. PORTO

Varição de longo-termo na dinâmica populacional da sardinha em relação às condições oceanográficas e à pesca

Tiago Alexandre Matias
da veiga Malta

FC



Variação de longo- termo na dinâmica populacional da sardinha em relação às condições oceanográficas e à pesca

Tiago Alexandre Matias da Veiga Malta

Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos

Departamento de Biologia

2013

Orientador

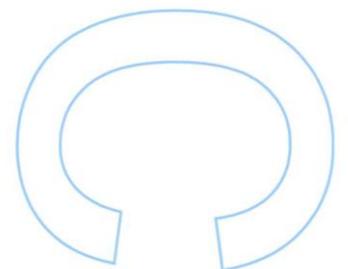
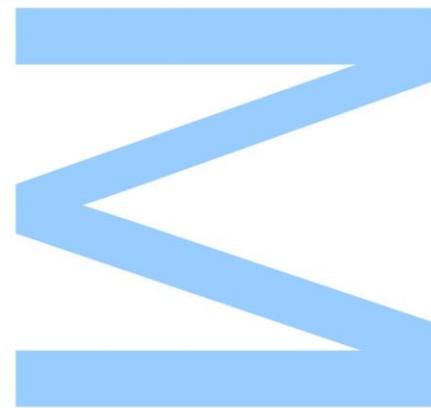
Paulo José Talhadas dos Santos, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Maria Alexandra Cordeiro de Almeida e Silva, Investigador Auxiliar,
Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Coorientador

António Miguel Piecho de Almeida Santos, Investigador Auxiliar,
Instituto Português do Mar e da Atmosfera



U. PORTO

FC FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

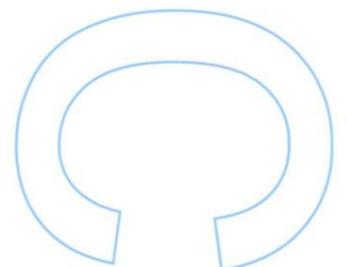
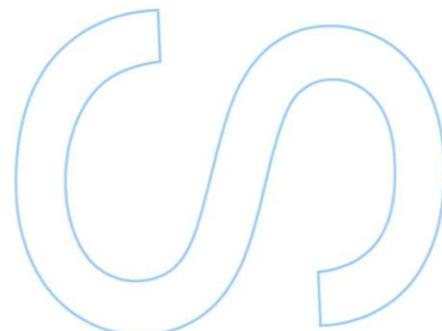
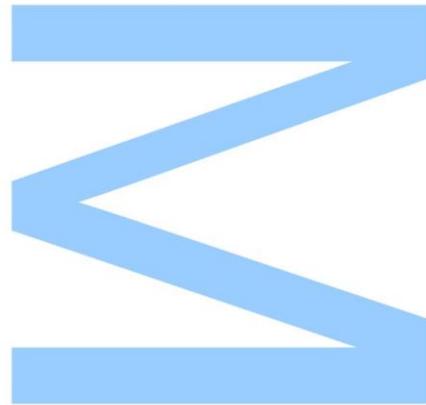


**instituto português do
mar e da atmosfera**

Todas as correcções determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera pela cedência dos dados e disponibilidade de espaço para a realização deste trabalho.

Por toda a ajuda concedida, pela paciência demonstrada e por ser a melhor orientadora que um estudante pode desejar, um muito obrigado à Doutora Alexandra Silva.

Ao Doutor Miguel Santos por ter estado sempre disponível quando precisei da sua ajuda e orientação.

Um especial obrigado ao Professor Doutor Paulo Santos por todo o seu apoio e orientação ao longo desta dissertação, em especial na recta final, e por ser um dos melhores professores que alguma vez tive o privilégio de conhecer.

Ao “grupo da sardinha” – Andreia, Cristina, Isidora e Sílvia – pelo apoio, amizade, e troca de ideias que ajudaram ao desenvolvimento deste trabalho.

Pela gentil cedência de espaço no seu gabinete, por todas as magníficas conversas ao longo do tempo que passei no IPMA e por nunca me ter mandado calar!! Um obrigado à Sandra.

Por todo o apoio na compreensão e revisão de algumas das equações utilizadas neste trabalho e pelas excelentes sugestões oferecidas para este estudo, um muito obrigado à Doutora Ivone Figueiredo.

E um obrigado a todos que me ajudaram ao longo deste trabalho.

À família da Luísa, pelo seu apoio nas minhas estadias no Porto.

Um especial agradecimento à Tidó pela gentil oferta de abrigo e apoio durante a minha estadia em Lisboa, e à Cuca por não me ter deixado “vegetar” nos fins-de-semana em Lisboa.

Ao meu Pai, às “nabas” das minhas irmãs, aos meus cunhados por tudo. E claro à minha sobrinha Pilar, por não ficar muito chateada comigo sempre que eu precisei de “picar” alguém.

Um muito especial agradecimento à minha Mãe por todo o apoio ao longo da minha vida, por nunca me ter apontado o dedo (muito pelo contrário) quando, passados 4 anos, decidi que queria mudar de curso e, como não podia deixar de ser, por ser a melhor Mãe do mundo.

E claro à Luísa por todo o amor e carinho oferecido, por nunca me ter deixado desistir e especialmente por ser a melhor coisa que me podia ter acontecido um muito (muito!) obrigado.

Resumo

O estudo histórico da dinâmica populacional dos recursos marinhos tem adquirido um interesse crescente, não só pela melhoria do conhecimento sobre a dinâmica de cada espécie, mas também para melhor compreender os efeitos a longo termo de pressões antropogénicas e ambientais sobre os organismos e o ambiente marinho em geral. No caso de recursos explorados há séculos, como a sardinha (*Sardina pilchardus*), o conhecimento da resposta populacional às variações ambientais e da pesca ao longo do tempo permitirá enquadrar melhor a perspectiva actual da produtividade do recurso assim como a definição de medidas de gestão mais eficazes.

No presente estudo, apresenta-se uma tentativa de responder a algumas dessas questões. Para tal, foi necessário criar uma série histórica de dados de desembarques de sardinha da frota de cerco nacional desde 1947 a 2012 e, a partir desta, desenvolver um índice de recrutamento histórico (IRH). O IRH foi obtido usando a proporção de recrutas nas descargas nacionais, tendo sido feita uma selecção prévia do conjunto mais adequado de classes de tamanho a usar e dos períodos e áreas a considerar.

Através da utilização de modelos aditivos generalizados (GAM) foram analisados os efeitos de factores ambientais e climáticos na variação do recrutamento. Relações entre o recrutamento e diferentes variáveis (covariáveis) foram identificadas, nomeadamente, com a Oscilação Multidecenal do Atlântico Norte (AMO), com o Padrão do Este Atlântico (EA), com as temperaturas superficiais da água do mar (SST) e com fenómenos de afloramento. Relações inversas entre recrutamento e EA e SST de Verão foram encontradas, enquanto o afloramento de Inverno parece favorecer o recrutamento de sardinha. Uma relação muito complexa entre AMO e o recrutamento foi igualmente encontrada, necessitando de mais investigação.

O modelo GAM final, com as quatro variáveis ambientais e climáticas acima identificadas como covariáveis, explicou mais de 50% da variação no recrutamento da costa Oeste Portuguesa, o que nos permite usar o modelo, com confiança, na gestão deste recurso.

Palavras-chave: Sardinha, *Sardina pilchardus*, recrutamento, factores ambientais, factores climáticos, índice de recrutamento histórico

Abstract

The historical study of marine resources population dynamics has gained increasing interest, not only to improve knowledge about the dynamics of each species, but also to a better understanding of the long-term environmental and anthropogenic pressures on the marine environment and organisms in general. In the case of resources exploited for centuries, such as sardine (*Sardina pilchardus*), the knowledge of population response to environmental variations and fishing over time will allow a better framing of the current view of resource productivity as well as the definition of more effective management measures.

In this study it is presented an attempt to answer some of these questions. Therefore it was necessary to create a historical series of sardine landings data of national purse-seine fleet since 1947 until 2012, and from this, develop a historical recruitment index (IRH). The IRH was obtained using the proportion of recruits in national landings. A prior selection was made of length class, time periods and areas to be used.

Through the use of generalized additive models (GAM) the effects of environmental factors and climatic variation in recruitment were analyzed. Relationships between recruitment and different variables (covariates) were identified, namely, with the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), the East Atlantic Pattern (EA), the sea surface temperatures (SST) and upwelling phenomena. Negative relationships were found between recruitment and EA and summer SST, while the winter upwelling seems to favor the recruitment of sardines. A very complex relationship between AMO and recruitment was also found and needs further investigation.

The final GAM model with the four environmental and climate variables identified above as covariables explained more than 50% of the variation in recruitment of the Portuguese west coast, which allows us to use the model with confidence in the management of this resource.

Keywords: Sardine, *Sardina pilchardus*, recruitment, environmental factors, climatic factors, historical recruitment index.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de figuras	vii
Lista de tabelas	x
Lista de abreviaturas	xi
1. Introdução	1
1.1. Índices climáticos	5
1.2. Biologia, dinâmica populacional e pesca da sardinha	6
2. Objectivos	12
3. Material e Métodos	13
3.1. Dados	13
3.2. Séries temporais de dados sobre a pesca	13
3.3. Séries temporais de índices ambientais e climáticos	17
3.4. Verificação, validação e exploração dos dados de pesca	18
3.4.1. Verificação e validação	18
3.4.2. Estimativa do número total de indivíduos desembarcados	19
3.5. Índice de recrutamento histórico	20
3.5.1. Comprimento dos recrutas	21
3.5.2. Zona de recrutamento	22
3.5.3. Época de recrutamento	22
3.5.4. Definição do índice de recrutamento histórico	22
3.5.5. Escolha final do(s) índice(s) de recrutamento histórico	23

3.5.6. Validação do índice de recrutamento histórico	23
3.6. Análise do IRH com os dados ambientais e climáticos	23
3.6.1. Construção do modelo	24
4. Resultados	26
4.1. Índice de recrutamento histórico	26
4.1.1. Comprimento dos recrutas	26
4.1.2. Zona de recrutamento	27
4.1.3. Época de recrutamento	28
4.1.4. Escolha final do(s) índice(s) de recrutamento histórico	31
4.1.5. Índice de recrutamento histórico final	32
4.1.6. Validação do índice de recrutamento histórico	32
4.2. Análise do IRH com os dados ambientais e climáticos	34
4.2.1. Escolha das covariáveis	36
4.2.2. Procura de colinearidade entre as diferentes covariáveis	38
4.2.3. Correlações cruzadas entre as diferentes variáveis e a variável de resposta	40
4.2.4. Construção do modelo	42
5. Discussão	48
6. Conclusões	59
7. Referências	61
8. Anexos	74
Anexo I – Rotina ERROS	74
Anexo II – Rotina ESTIMATIVA	76
Anexo III – Exemplo de uma análise de separação de componentes normais da distribuição de frequência por classes de comprimento.	79

Lista de figuras

Figura 1 Esquema do ciclo de vida da Sardinha Ibérica (Bernal et al., 2010 – pp. 45 in: Petitgas, 2010). 7

Figura 2 Desembarques totais nacionais de sardinha e totais desembarcados para as diferentes zonas nacionais. IXa-CN é referente à zona Norte Portuguesa (Portos de Caminha até a Figueira da Foz), IXa-CS é referente à zona Centro (Nazaré até ao Cabo de São Vicente) e IXa-S é referente à zona Sul (Cabo de São Vicente até Vila Real de Santo António) (ICES, 2012b). 8

Figura 3 Série de recrutamento estimado (mil milhões de indivíduos) para o *stock* ibérico de sardinha, entre 1978 e 2012, onde se observa um período de maior produtividade média (linha vermelha) e um período de menor produtividade média (linha azul) (ICES, 2013). 10

Figura 4 Estimativas, para o *stock* Ibérico, dos desembarques anuais na Península Ibérica, do recrutamento, da mortalidade por pescas e da biomassa de indivíduos com idade 1 ou superior. No gráfico do recrutamento bilhões são mil milhões de indivíduos (ICES, 2012c). 11

Figura 5 Diferentes medidas biométricas. CF é o comprimento à furca e CT comprimento total. Adaptado de FAO (2013). 14

Figura 6 Delimitação das diferentes zonas consideradas para a costa Portuguesa. Linha externa representa a linha batimétrica de 200 metros. Os diferentes pontos assinalados são os principais portos para sardinha em cada zona: 1) Viana do Castelo; 2) Póvoa do Varzim; 3) Matosinhos (Leixões); 4) Aveiro; 5) Figueira da Foz; 6) Nazaré; 7) Peniche; 8) Cascais; 9) Lisboa; 10) Sesimbra; 11) Setúbal; 12) Sines; 13) Lagos; 14) Portimão; 15) Olhão; 16) Tavira; 17) Vila Real de Santo António (mapa modificado de Teixeira & Cabral, 2009). 15

Figura 7 Séries dos índices de recrutamento histórico para as Zona Centro, Norte e Sul, com dados dos todos os principais portos. 27

Figura 8 Sazonalidade e tendência, da zona Norte, na proporção de indivíduos menores ou iguais que 14,5 cm até 1978 e inferiores ou iguais a 16 cm de 1979 até 2012. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 28

Figura 9 Sazonalidade e tendência, da zona Centro, na proporção de indivíduos menores ou iguais que 14,5 cm até 1978 e inferiores ou iguais a 16 cm de 1979 até 2012. Linhas a

tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 29

Figura 10 Sazonalidade e tendência, da zona Sul, na proporção de indivíduos menores ou iguais que 14,5 cm até 1978 e inferiores ou iguais a 16 cm de 1979 até 2012. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 30

Figura 11 Séries dos índices de recrutamento histórico para as Zona Centro, Norte e Sul utilizando apenas os dados dos portos das zonas de recrutamento. Norte – Todos os dados dos principais portos foram utilizados; Centro – Apenas dados de Lisboa, Setúbal, Cascais, Sesimbra e Ericeira; Sul - Olhão, Vila Real de Santo António e Tavira. 31

Figura 12 Série do índice de recrutamento histórico desde 1947 a 2012. Linha vermelha representa um *smoothing* aplicado aos dados. 32

Figura 13 Relação entre o número de recrutas estimados a partir de dados de cruzeiros para a costa Oeste Portuguesa e o IRH. 33

Figura 14 Relação entre o número de recrutas estimados a partir de dados de cruzeiros para a costa Norte Portuguesa e o IRH. 34

Figura 15 Gráficos “*Box and Whisker*” das diferentes séries de dados. 35

Figura 16 Gráfico de dispersão de pontos da série de dados do índice de afloramento. Os dados estão ordenados de Dezembro de 1949 a Dezembro de 2006. 35

Figura 17 Sazonalidade e tendências nas séries de dados de SST e afloramento, obtidas de funções *smooth*. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 37

Figura 18 Sazonalidade e tendências nas séries de dados dos EA e AMO, obtidas de funções *smooth*. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 37

Figura 19 Tendência a longo termo do índice de NAOw, obtida de funções *smooth*. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 38

Figura 20 Séries temporais anuais das diferentes variáveis utilizadas na análise das relações entre o recrutamento e as variáveis ambientais e climáticas. 39

Figura 21 Análise de correlações cruzadas entre IRH e as covariáveis *aflo.w* e *aflo.s*. *Lag* representa o desfasamento em anos. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas. 41

Figura 22 Análise de correlações cruzadas entre IRH e as covariáveis *NAOw*, *SSTw* e *SSTs*. *Lag* representa o desfasamento em anos. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas. 41

Figura 23 Análise de correlações cruzadas entre IRH e as covariáveis *AMO.anual* e *EA.anual*. *Lag* representa o desfasamento em anos. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas. 42

Figura 24 Gráficos das diferentes funções *smooth* obtidas do modelo GAM utilizando o método de “*double penalty*”. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*. 43

Figura 25 Gráficos das diferentes funções *smooth* do modelo 1 (GAM). Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. 45

Figura 26 IRH para os anos de 1950 a 2006 (linha preta). Linha vermelha representa os valores previstos pelo modelo GAM final. Linhas tracejadas representam o intervalo de confiança de dois desvio padrão. 46

Figura 27 Análise de autocorrelação nos resíduos do modelo final. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas. 47

Figura 28 Gráficos resultantes da análise dos resíduos do modelo final (GAM). 47

Figura 29 Análise de separação de componentes normais da distribuição de frequência por classes de comprimento dos dados de desembarques nos diferentes trimestres do ano 2000 da zona Norte, obtida através do pacote estatístico “*MIXDIST*” (MacDonald & Green, 1988). 79

Lista de tabelas

- Tabela 1** Resumo dos dados de amostragem de desembarques mensais de sardinha desagregados por porto. Cobertura anual classificada como: I. Incompleta II. Parcialmente completa III. Completa. Períodos completos – sequência de anos completos trimestralmente. Comprimento à furca (F) ou total (T). Peso: E- Estimado, R- Registado. Classe de comprimento : cmp- meio centímetro mais próximo, ci- meio centímetro inferior. * - nas datas significa que não está representada toda a década. s/d – não existem dados. 16
- Tabela 2** Valores do coeficiente da correlação de Pearson entre as diferentes séries das diferentes estimativas. *rec_cci* é a estimativa de recrutas através de chaves comprimento idade, e *rec_xxx* são as estimativas de recrutas através de “corte” para o período de 1947 a 1978, onde xxx é o comprimento de “corte” em milímetros. 26
- Tabela 3** Valores do coeficiente da correlação de Pearson entre as diferentes séries das diferentes estimativas. *rec_cci* é a estimativa de recrutas através de chaves comprimento idade, e *rec_xxx* são as estimativas de recrutas através de “corte” para o período de 1979 a 2012, onde xxx é o comprimento de “corte” em milímetros. 26
- Tabela 4** Parâmetros das funções *smooth* da análise de sazonalidade e tendência para as diferentes zonas. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$. 30
- Tabela 5** Parâmetros das funções *smooth* da análise de sazonalidade e tendência das diferentes variáveis ambientais e climáticas. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$. 36
- Tabela 6** Tabela com os valores de VIF para as diferentes covariáveis. 40
- Tabela 7** Tabela com os valores dos coeficientes da correlação de Pearson entre as diferentes séries explicativas. Valores com * são correlações significativas ($p < 0,05$). 40
- Tabela 8** Parâmetros das funções *smooth* da análise do *output* do modelo inicial. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$. 43
- Tabela 9** Parâmetros das funções *smooth* da análise do *output* do modelo 1. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$. 44
- Tabela 10** Parâmetros das funções *smooth* da análise do *output* do modelo final. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$. 46

Lista de abreviaturas

AC – Autocorrelação

AMO – *Atlantic Multidecadal Oscillation*

CPUE – Captura Por Unidade de Esforço

CRU – *Climatic Research Unit*

DCF – *Data Collection Framework*

DGPA – Direcção-Geral das Pescas e Aquicultura

DGRM – Direcção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos

EA – *East Atlantic Pattern*

ENSO – *El Niño-Southern Oscillation*

FAO – *Food and Agriculture Organization*

GAM – *Generalized Additive Models*

GAMM – *Generalized Additive Mixed Models*

GLM – *Generalized Linear Models*

ICES – *International Council for the Exploration of the Sea*

ICOADS – *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IRH – Índice de Recrutamento Histórico

NAO – *North Atlantic Oscillation*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PDO – *Pacific Decadal Oscillation*

PNAB – Programa Nacional de Amostragem Biológica

REML – *Restricted Maximum Likelihood*

SGHIST – *Study Group on the History of Fish and Fisheries*

SST – *Sea Surface Temperatures*

VIF – *Variance Inflation Factors*

WeMO – *Western Mediterranean Oscillation*

1. Introdução

Nas últimas décadas, e a nível mundial, a abundância e composição específica dos recursos explorados têm vindo a sofrer alterações, existindo casos onde ocorreram aumentos e/ou diminuições dos *stocks*, casos de surgimento ou ressurgimento de espécies em algumas áreas e/ou casos onde as espécies foram progressivamente substituídas por outras (Palomera *et al.*, 2007; FAO, 2010; Alheit *et al.*, 2012; Rothschild & Jiao, 2012). Estas alterações nas populações não ocorrem apenas a nível dos *stocks* pesqueiros, havendo também estudos que demonstram alterações a vários níveis das teias tróficas, quer em espécies de peixes não comerciais (Lehodey *et al.*, 2006), quer no fitoplâncton e zooplâncton (Beaugrand *et al.*, 2002; Beaugrand & Reid, 2003; Beaugrand, 2004), mamíferos marinhos (Jewell *et al.*, 2012; Johnston *et al.*, 2012), aves marinhas (Tasker *et al.*, 2000), entre outros.

As alterações climáticas são um dos fenómenos actualmente mais estudados com o objectivo de compreender a variabilidade populacional nos diferentes ecossistemas e nos seus organismos aquáticos. Flutuações em índices da variabilidade climática, tais como a Oscilação do Atlântico Norte (NAO-*North Atlantic oscillation*), o Padrão do Este Atlântico (EA – *East Atlantic Pattern*), a Oscilação Multidecenal do Atlântico Norte (AMO-*Atlantic multidecadal oscillation*), a Oscilação do Mediterrâneo Ocidental (WeMO-*Western Mediterranean Oscillation*), El Niño-Oscilação do Pacífico Sul (ENSO-*El Niño-Southern Oscillation*) e a Oscilação Decenal do Pacífico (PDO-*Pacific Decadal Oscillation*) foram relacionadas significativamente com flutuações em populações de peixes, incluindo pequenos pelágicos (Borges *et al.*, 2003; Borja *et al.*, 2008; Alheit *et al.*, 2009; Alheit *et al.*, 2012; Martín *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2012). Destes fenómenos climáticos os que mais influenciam o clima na costa Atlântica Europeia, onde Portugal está incluído, são a NAO, o EA e a AMO (Borja *et al.*, 2008; Hurrell & Deser, 2010), sendo que o WeMO foi indicado como um melhor índice para o Mediterrâneo (Martín *et al.*, 2012).

Devido às suas características biológicas, como o tipo de reprodução, a taxa de sobrevivência das suas populações, o crescimento individual e outras importantes características ecológicas, e à sua dependência das características ambientais locais, variando ambas de forma significativa de ano para ano, os pequenos peixes pelágicos, em particular a sardinha, são apontados como excelentes objectos de estudo no que refere a impactos de alterações climáticas e ambientais na dinâmica das populações, entre outros temas (Lehodey *et al.*, 2006; Alheit *et al.*, 2012).

Os pequenos peixes pelágicos são abundantes em todos os mares e oceanos, onde servem de ligação entre níveis tróficos inferiores e superiores, excepto no Antártico, onde são “substituídos” na teia trófica por Eufausídeos (*krill*) (Fréon *et al.*, 2005; Alheit *et al.*,

2012). São peixes com grande mobilidade e de natação rápida. O seu tamanho varia entre os 10 e 30 cm de comprimento e encontram-se a profundidades entre os 0 a 200 metros, podendo este limite variar tanto a nível regional como de espécie (Fréon *et al.*, 2005). Os ovos dos pequenos pelágicos são de pequenas dimensões e, conseqüentemente, também a vesícula vitelina das suas larvas (Ré & Meneses, 2009). Sendo a vesícula pequena – logo rapidamente absorvida após a eclosão dos ovos – o período larvar é muito importante para estas espécies, pois necessitam de alimento disponível em grandes quantidades no momento em que esgotam as reservas (Fréon *et al.*, 2005).

Os pequenos pelágicos alimentam-se de fitoplâncton e zooplâncton e são presas importantes para muitas espécies de aves e mamíferos marinhos (Paiva *et al.*, 2006; Garrido *et al.*, 2007; Garrido *et al.*, 2008) tendo, como foi acima referido, um importante papel ecológico de ligação entre diferentes níveis tróficos devido, essencialmente, ao seu grande número e conseqüente elevada biomassa (Cury *et al.*, 2000). Têm vida curta, em média entre 2 a 7 anos, crescimento rápido e fecundidade intermédia, sendo estas características de uma estratégia oportunista (King & McFarlane, 2003).

Alheit *et al.* (2012) relataram o reaparecimento nos mares Báltico e do Norte de sardinha (*Sardina pilchardus*) e biqueirão (*Engraulis encrasicolus*), como estas espécies estabeleceram aí populações viáveis, o modo como essa expansão está relacionada com as alterações nos índices NAO e AMO e as respectivas conseqüências dessas alterações no meio marinho, e.g. subida da temperatura média da água do mar. Martín *et al.* (2012) também demonstram como o índice WeMO afecta as populações de sardinha e biqueirão no Mediterrâneo, fazendo variar as temperaturas da superfície do mar (*Sea Surface Temperature* – SST) e as descargas dos rios no mar, o que leva a um aumento ou diminuição da produtividade primária na zona e ao conseqüente aumento ou diminuição do recrutamento nestas populações de pequenos pelágicos, dado alimentarem-se directamente de plâncton. Borja *et al.* (2008) descrevem como o índice do EA influencia o processo de afloramento no Golfo da Biscaia e, por sua vez, como o afloramento influencia o recrutamento do biqueirão no local do estudo.

As variações acima descritas ocorreram numa escala temporal relativamente curta, desde alguns anos até algumas décadas. Estes estudos foram baseados em estatísticas e dados de pesca, o que torna difícil inferir a importância relativa da pesca e das alterações climáticas nessas mesmas variações (Drago *et al.*, 2009). No entanto Jensen *et al.* (2012) defendem que os dados de pesca são uma ferramenta importante para os estudos ecológicos, apesar de se colocarem algumas dificuldades na sua análise, devido à sua quantidade e por constituírem séries de escala temporal longa, podendo cobrir mais de um

século. Permitem também a análise comparativa, muito importante em disciplinas (e.g., pescas e a oceanografia) em que a experimentação é difícil ou mesmo impossível.

Estudos baseados em escamas e ossos de peixes encontrados em amostras de sedimentos marinhos, em diferentes áreas do globo, mostram que as flutuações nas populações de peixes já ocorriam antes do desenvolvimento da pesca comercial (Soutar, 1967; Soutar & Isaacs, 1969; Soutar & Isaacs, 1974; Baumgartner *et al.*, 1992; Emeis *et al.*, 2010; Finney *et al.*, 2010). Estas variações, que podem ocorrer à escala centenária ou milenar, apontam para uma forte correlação entre a variabilidade climática e as flutuações na abundância dos pequenos pelágicos a nível regional e global (Finney *et al.*, 2010).

O recrutamento é uma componente importante da dinâmica populacional dos pequenos pelágicos, podendo ser definido, de uma forma geral, como a entrada de novos indivíduos completamente formados (juvenis), normalmente antes da primeira maturação, numa população num dado ano (Caley *et al.*, 1996). No entanto, esta definição pode sofrer pequenas alterações consoante o contexto onde é aplicado. No caso das pescas distingue-se recrutamento ou recrutamento à população de recrutamento à pesca. Sendo o recrutamento à pesca a entrada de novos indivíduos para o *stock* explorável, ou seja, indivíduos que podem ser capturados (Myers, 2002). Neste caso, a idade/fase de entrada no *stock* pode variar, por exemplo, consoante a arte de pesca utilizada para a sua captura.

Nos diferentes trabalhos onde foi estudada a relação do recrutamento em peixes pelágicos com os factores externos (i.e. factores ambientais e climáticos) foram apresentadas algumas teorias que procuravam explicar essas relações. Em 1975, Lasker propôs a hipótese do “oceano estável” (*Stable Ocean Hypothesis*; Lasker, 1975 in: Dippner, 1997) onde afirma que para garantir boas condições para a sobrevivência das larvas dos peixe é necessário existir uma estabilidade na camada eufótica (e.g. pouca turbulência) dos oceanos de forma a garantir a possibilidade de produção e concentração de alimento, necessário nas primeiras fases de vida dos peixes (Butler, 1991; Dippner, 1997). Em 1976, Cushing & Dickson apresentaram a hipótese de “*match/mismatch*” (Cushing & Dickson, 1976 in: Dippner, 1997) onde a sobreposição temporal do período de desova e disponibilidade de alimento para as larvas é uma das principais razões para o aparecimento de recrutamentos fortes ou fracos. Cury & Roy (1989) propuseram a hipótese da “janela ambiental óptima” (*Optimal Environmental Window Hypothesis*), em que afirmam que existe uma janela temporal e espacial nos diferentes anos onde a probabilidade de sobrevivência das larvas e juvenis é maior e que essas condições favoráveis são influenciadas pelas condições ambientais no local (Cury & Roy, 1989; Baumann *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2012). Essa janela óptima pode variar de ano para ano criando, assim, variabilidade na quantidade de novos recrutas em cada ano (Baumann *et al.*, 2008). Bakun, em 1996,

descreve a hipótese “tríade oceânica” (*Ocean Triad Hypothesis*; Bakun, 1996) onde a concentração de nutrientes, a concentração de alimento para as larvas e a retenção das larvas nesses locais são os três principais factores necessários para o sucesso no recrutamento (Santos *et al.*, 2007; Oliveira & Stratoudakis, 2008; Basilone *et al.*, 2013). Nesta hipótese a intensidade do fenómeno de afloramento e o período em que este ocorre são muito importantes na sobrevivência das larvas e juvenis (Santos *et al.*, 2007).

Ohshimo *et al.* (2009) estimam que os *stocks* de sardinha japonesa (*Sardinops melanostictus*) no mar do Japão, que pertence ao ecossistema da corrente de Kuroshio, ultrapassaram as 100.000 toneladas nos anos 50, mas em 1963 esse número passou a apenas 28.000 toneladas. Em 1970 o *stock* recuperou atingido as 100.000 toneladas e, em 1988, atingiu um máximo de 10 milhões de toneladas. O inverso foi observado para o biqueirão onde, nos períodos de alta e baixa produtividade para a sardinha japonesa, os números dos *stocks* de biqueirão diminuíram e aumentaram, respectivamente. Actualmente, os *stocks* de sardinha japonesa encontram-se com valores semelhantes aos encontrados em 1970 (Ohshimo *et al.*, 2009). Ohshimo *et al.* (2009) sugerem também que essas flutuações estão directamente relacionadas com o sucesso do recrutamento, que por sua vez está relacionado com a quantidade de fitoplâncton e zooplâncton, dos quais se alimentam, sendo que estes são directamente afectados pelas alterações climáticas. Refere ainda que, em anos de *stocks* baixos, a mortalidade por pesca tem maior peso na mortalidade total dos *stocks*, mais de 40%, relativamente aos anos de grande abundância, menos de 40%.

Alheit *et al.* (2009) relatam que na costa da Califórnia a pesca de sardinha do Pacífico (*Sardinops sagax*) teve, em 1936, um máximo de 700.000 toneladas, diminuindo rapidamente nos meados dos anos 40 e início dos 50 até um mínimo de 13.000 toneladas, em 1952. Entre 1966 e 1985 foi proibida a captura de sardinha do Pacífico nesta região até que, em 1986, essa proibição foi levantada e já em 1997 a pesca alcançou valores acima das 100.000 toneladas. Durante as épocas de baixa abundância de sardinha do Pacífico, as capturas de biqueirão atingiram máximos, mas decaindo nos anos de recuperação da sardinha.

Vários estudos abordaram a relação do recrutamento com o *stock* parental e com variáveis oceanográficas à escala local ou regional (e.g. Santos *et al.*, 2001; Yáñez *et al.*, 2001; Borges *et al.*, 2003; Guisande *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2005b; Ohshimo *et al.*, 2009; Katara *et al.*, 2011; Martín *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2012). Na maioria dos casos, estes estudos analisam dados dos últimos 30 anos, um período insuficiente para se investigarem algumas componentes da variabilidade do recrutamento e do ambiente e se inferirem relações robustas (Alheit *et al.*, 2009; Katara *et al.*, 2011; Santos

et al., 2012). Cardinale *et al.* (2010), num estudo sobre dinâmica populacional da solha (*Pleuronectes platessa*), obteve uma série de recrutamento com mais de 100 anos a partir de dados de desembarque da frota de arrasto da zona em estudo, demonstrando assim que é possível a criação de séries de recrutamento mais longas que as existentes actualmente. Nesse mesmo estudo não foram efectuadas análises das relações entre as séries obtidas e séries climáticas e ambientais.

Em diferentes ecossistemas do globo, como o ecossistema da Corrente da Califórnia, de Kuroshio, de Humboldt, de Benguela e das Canárias, onde ocorrem importantes fenómenos de afloramento, foi reportada a ocorrência de recrutamentos elevados com alguma regularidade (3-7 anos) e de regimes de recrutamentos em escalas decenais (Alheit *et al.*, 2009). Estes sistemas, com excepção do sistema da Corrente das Canárias, são caracterizados por regimes antagónicos entre sardinha (espécie pode variar) e biqueirão, onde se pode observar épocas de dominância da sardinha e épocas de dominância do biqueirão, nos casos em que estas espécies ocorrem no mesmo habitat em simultâneo (Alheit *et al.*, 2009).

1.1. Índices climáticos

A NAO é actualmente indicada como um dos mais importantes padrões de variabilidade da circulação atmosférica no Hemisfério Norte, em particular do Atlântico Norte e, conseqüentemente, da Europa Ocidental e América do Norte Oriental (Hurrell *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2007; Hurrell & Deser, 2010; Overland *et al.*, 2010). O seu índice é calculado pela diferença da pressão atmosférica entre o anticiclone subtropical dos Açores e a região depressionária da Islândia (Lehodey *et al.*, 2006). Na fase positiva (intensificação do Anticiclone dos Açores e Baixa da Islândia muito cavada), o Inverno europeu é suave e chuvoso, mas frio e seco no Norte do Canadá e Gronelândia. Nesta fase, também se observa a intensificação dos ventos Norte ao longo da costa Ocidental de Portugal durante o Inverno (Borges *et al.*, 2003). Na fase negativa (Anticiclone dos Açores fraco e Baixa da Islândia menos cavada), há ar mais frio e neve na costa Atlântica dos EUA, mais ar húmido no Mediterrâneo e ar mais frio na Europa do Norte, sendo o Inverno suave na Gronelândia. Os efeitos da NAO foram bastante estudados ao longo dos últimos anos devido à sua influência no clima do Hemisfério Norte, enquanto que o estudo de fenómenos mais localizados, como o EA, tem tido menos atenção (Borja *et al.*, 2008).

O EA é um importante modo de variabilidade da atmosfera, de baixa frequência, no Atlântico Norte e surge como o modo principal ao longo do ano, excepto de Maio a Agosto. O padrão do EA é estruturalmente similar ao da NAO e consiste em um dipolo Norte-Sul de centros de anomalias de pressão atmosférica que se estende de Este a Oeste no Atlântico

Norte. O centro de pressão a Norte situa-se no Nordeste Atlântico perto de 55°N 20–35°W, enquanto o a Sul encontra-se sobre o Norte de África ou sobre o mar Mediterrâneo. Por esta razão, apesar de serem fenómenos climáticos distintos, o EA pode traduzir-se como um padrão NAO deslocado para Sul (Cannaby & Hüsrevoğlu, 2009; NOAA, 2013). A fase positiva do EA está associada na Europa a temperaturas da superfície da água acima da média em todos os meses e a temperaturas abaixo da média no Sul dos Estados Unidos da América (EUA), nos meses de Janeiro a Maio, e no Centro-Norte dos EUA, nos meses de Julho a Outubro. Esta fase está igualmente associada a precipitação acima da média no Norte da Europa e Escandinávia e a precipitação abaixo da média no Sul da Europa (NOAA, 2013). A variabilidade multidecenal do EA nos registos de 1950 a 2007 é bastante acentuada, com uma fase maioritariamente negativa de 1950 a 1976, e desde 1977 a 2007 com uma fase maioritariamente positiva (Cannaby & Hüsrevoğlu, 2009; NOAA, 2013). Os valores positivos foram particularmente altos e persistentes no período entre 1997 e 2007 (Cannaby & Hüsrevoğlu, 2009).

A AMO é um padrão de variabilidade da temperatura da superfície do mar (SST) à escala do Atlântico Norte (anomalia da SST entre as latitudes 0° e 70° N, com uma amplitude máxima de 0,5°C, em relação ao valor médio de SST de um largo conjunto de anos). Esta variação ocorre ao longo dos anos, com um período de várias décadas, e o conjunto de uma fase quente e uma fase fria pode durar cerca de 70 anos (Enfield *et al.*, 2001; McCabe *et al.*, 2004). Nas fases quentes de AMO o clima na Europa é mais quente, há menos dias frios, a temperatura média anual sobe, ocorre maior precipitação no Norte da Europa e menor no Sul e observam-se mais eventos extremos como furacões Atlânticos (Enfield *et al.*, 2001; Knight *et al.*, 2006; Pohlmann *et al.*, 2006; Wyatt *et al.*, 2012). O contrário acontece para as fases frias de AMO.

1.2. Biologia, dinâmica populacional e pesca da sardinha

A época reprodutiva da sardinha pode ser extensa, com uma ou mais desovas por ano, dependendo das características ambientais da região e da espécie – para Portugal, o período óptimo para a desova da sardinha estende-se de Setembro/Outubro a Maio/Junho, existindo dois picos principais de desova, Dezembro e Fevereiro (Nunes *et al.*, 2011); enquanto que no Norte de Espanha e Este do Golfo da Biscaia existem duas épocas de desova, de Abril a Junho e de Outubro a Dezembro (Coombs *et al.*, 2006; Stratoudakis *et al.*, 2007). Silva *et al.* (2006) apontam para uma maturação sexual da sardinha ao longo da costa Portuguesa no final do primeiro ou durante o segundo ano de vida.

As principais áreas de desova da sardinha na Península Ibérica estão assinaladas a verde na figura 1. Tanto a costa Norte Portuguesa como o Golfo de Cádiz são apontados

como as mais importantes zonas de desova na Península Ibérica (Pestana, 1989; Silva *et al.*, 2009). Bernal *et al.* (2007) apontam, de forma semelhante, para o Golfo da Biscaia, a costa Norte da Galiza, a costa Noroeste Portuguesa e costa do Algarve até ao Golfo de Cádiz como as principais zonas de desova na Península Ibérica. É igualmente possível observar na figura 1 as principais zonas de recrutamento (áreas de *nursery*) e possíveis migrações

Segundo as estatísticas da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), os pequenos pelágicos constituem cerca de 33% da produção pesqueira mundial, dos quais biqueirão, sardinhas e arenques contribuem com aproximadamente 90% da biomassa total (Herrick *et al.*, 2009). Estes são para muitos países pesqueiros a principal componente das pescas nacionais, tendo bastante relevância na economia desses países, e.g. Peru e Chile (Alheit *et al.*, 2012). Grandes flutuações nas populações destes *stocks* resultaram em graves consequências em comunidades piscatórias a nível regional ou até mesmo nacional (Alheit *et al.*, 2009).



Figura 1 Esquema do ciclo de vida da Sardinha Ibérica (Bernal *et al.*, 2010 – pp. 45 in: Petitgas, 2010).

A sardinha é a principal espécie capturada em Portugal, apresentando frequentes flutuações na abundância, com consequências no volume de capturas. Segundo dados da

Direcção-geral das pescas e aquicultura (DGPA), em 2011, a sardinha representava, aproximadamente, 38% da biomassa e 18% em termos de valor económico do total de pescado desembarcado em Portugal. Cerca de 82% dos desembarques de sardinha são provenientes da arte do cerco, (DGRM, 2012). No ano de 1960 foram desembarcadas cerca de 250.000 toneladas de sardinha nos portos de Portugal e Espanha (ICES, 2011a). Em Portugal, durante o período entre os anos de 1996 e 2011, segundo dados disponíveis no *site* do Instituto Nacional de Estatística, ocorreu uma redução de cerca de 33% do desembarque anual total de sardinha. Aí se vê igualmente que em 1996 foram desembarcadas cerca de 83.000 toneladas de sardinha e em 2011 esse número reduziu para cerca de 55.000 toneladas, levando aos consequentes prejuízos económicos e sociais (INE, 2013). É importante referir ainda que, a partir de 2010, um limite máximo anual de captura de 55.000 toneladas foi imposto pela primeira vez em Portugal (APA, 2010). A evolução dos desembarques nacionais estimada pelo ICES, desde 1939 até 2011, pode ser observada na figura 2.

Santos *et al.* (2007), observaram picos nos desembarques nacionais anuais de sardinha com uma periodicidade de cerca de 20 anos (início dos anos 40, 60 e 80). Carrera & Porteiro (2003) apontam para um declínio do total de desembarques anuais de sardinha na Península Ibérica desde 1985, sendo que esse declínio é mais acentuado na costa Noroeste de Espanha.

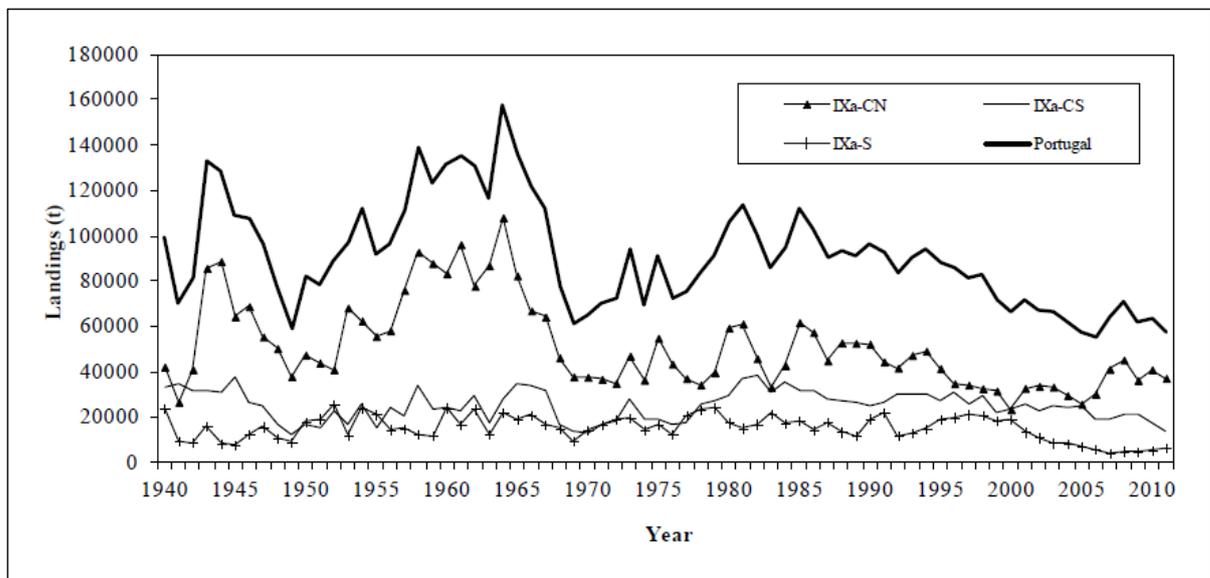


Figura 2 Desembarques totais nacionais de sardinha e totais desembarcados para as diferentes zonas nacionais. IXa-CN é referente à zona Norte Portuguesa ((Portos de Caminha até a Figueira da Foz), IXa-CS é referente à zona Centro (Nazaré até ao Cabo de São Vicente) e IXa-S é referente à zona Sul (Cabo de São Vicente até Vila Real de Santo António) (ICES, 2012b).

A arte do cerco baseia-se na utilização de uma rede sempre longa e alta, com uma malhagem mínima de 16 mm, que envolve os cardumes alvo de forma a reduzir a sua capacidade de fuga e tem como alvo espécies pelágicas (Wise *et al.*, 2005; DGRM, 2013).

Em Portugal, a pesca que utiliza esta arte está maioritariamente direccionada para a captura de sardinha, com esta espécie a representar em 2011 cerca de 63% do peso total de captura por esta arte na costa continental, quando em 2010 a sardinha representava cerca 72% do total capturado por cerco (DGRM, 2012). Ao incluir-se os totais de captura por arte do cerco da cavala (*Scomber japonicus/Scomber colias*), carapau (*Trachurus trachurus*), biqueirão e carapau negrão (*Trachurus picturatus*) os valores passam a representar cerca de 98,5% do total de captura por cerco (DGRM, 2012).

Segundo Wise *et al.* (2005), a frota de cerco costeira opera nas águas costeiras da plataforma continental Portuguesa durante todo o ano e a sua actividade é regulamentada por uma legislação nacional (número máximo de 180 dias de pesca por ano, paragens ao fim-de-semana, capturas máximas por ano estabelecidas pelas Organizações de Produtores) e europeia (11 cm tamanho mínimo da sardinha), sendo o regime de pesca diário (DGRM, 2013). Encontra-se também interdita a pesca na zona da Costa Vicentina entre os 37° 50'N e os 37° 00'N entre Dezembro e Fevereiro (DGRM, 2013). Marçalo (2009) descreve a frota como bastante envelhecida, com cerca de 50% das embarcações com mais de 20 anos e com um comprimento médio de 17 metros, podendo as embarcações medir entre os 6 e 27 metros de comprimento. Até 31 de Dezembro de 2011 estavam registados 147 embarcações na frota de cerco costeira de Portugal Continental, com uma potência média de 219 kw (DGRM, 2012).

No caso de recursos explorados há séculos, como a sardinha, o conhecimento da resposta populacional às variações ambientais e da pesca ao longo do tempo permite um melhor enquadramento da perspectiva actual da produtividade do recurso e a definição de medidas de gestão mais eficazes.

Santos *et al.* (2007) detectaram ciclos de 4 anos de picos de recrutamento numa análise da série temporal de recrutamento (indivíduos com idade 0) para a costa Atlântica da Península Ibérica. Ciclos de recrutamento com uma periodicidade de 4 anos e com ciclos secundários com uma periodicidade de 2 e 10 anos foram igualmente detectados, em trabalhos mais recentes, nas séries temporais de recrutamento (Santos *et al.*, 2012).

Considerando a totalidade das variáveis usadas no modelo final aplicado por Santos *et al.* (2012), aproximadamente 50% da variância dos valores do recrutamento foi explicada pelos factores ambientais, sendo que a variável SST foi a variável com mais influência na variância do recrutamento. Nesse mesmo estudo, foi também encontrada uma tendência decrescente no recrutamento da sardinha ibérica.

Borges *et al.* (2003) reportam também fortes evidências para a existência de ciclos periódicos decenais na abundância de sardinha ibérica, influenciados por condições ambientais, tais como a NAO e a existência, ou não, de ventos favoráveis à formação de fenómenos de afloramento na costa Noroeste da Península Ibérica. Anos com fortes recrutamentos foram positivamente relacionados com totais anuais desembarcados mais elevados nos anos seguintes (Borges *et al.*, 2003), o que aponta para a importância do recrutamento na produtividade pesqueira.

Fenómenos de afloramento de Inverno na costa Portuguesa foram negativamente relacionados com o recrutamento de sardinha, onde o transporte dos ovos e larvas para mar aberto é apontado como a principal razão para essa relação (Santos *et al.*, 2001). O inverso foi demonstrado quando estudada a influência de episódios de afloramento no Verão no recrutamento (Santos *et al.*, 2001), devido principalmente ao seu papel na produção primária nessas zonas permitindo, deste modo, mais e melhor alimento para as larvas e juvenis da sardinha (Peliz & Fiúza, 1999; Guisande *et al.*, 2001). Santos *et al.* (2004) demonstram que fenómenos de afloramento no Inverno não são obrigatoriamente maus para o recrutamento, podendo, em alguns casos, devido a interações com correntes marinhas e outros factores, criar-se zonas de convergência, afastadas da costa, onde os ovos e larvas encontram condições favoráveis ao seu desenvolvimento (e.g. concentração de alimento).

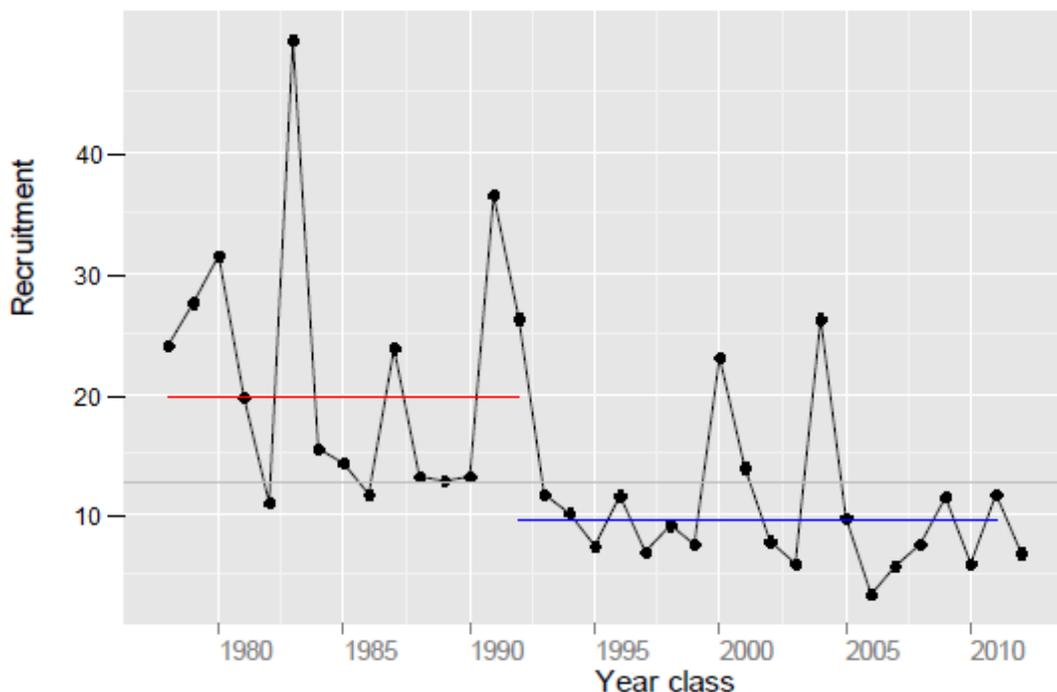


Figura 3 Série de recrutamento estimado (mil milhões de indivíduos) para o stock ibérico de sardinha, entre 1978 e 2012, onde se observa um período de maior produtividade média (linha vermelha) e um período de menor produtividade média (linha azul) (ICES, 2013).

Organizações como ICES (*International Council for the Exploration of the Sea*), através de grupos como SGHIST (*Study Group on the History of Fish and Fisheries*) e variados estudos académicos têm procurado identificar e compreender estas alterações e relacioná-las com os diferentes tipos de pressões nas comunidades marinhas (e.g. Borges *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2004; ICES, 2009; FAO, 2010; ICES, 2011b; Santos *et al.*, 2012; ICES, 2013).

Relatórios recentes, do ICES, de avaliação do *stock* Ibérico de sardinha estimaram, com dados a partir de 1978, uma série de recrutamento onde se pode observar um período inicial de alta produtividade e seguido de um período de menor produtividade nos anos mais recentes (figura 3).

Estimativas da mortalidade por pesca, biomassa do *stock* desovante, recrutamento e desembarques totais foram igualmente obtidas numa avaliação de 2012, para o *stock* Ibérico (figura 4).

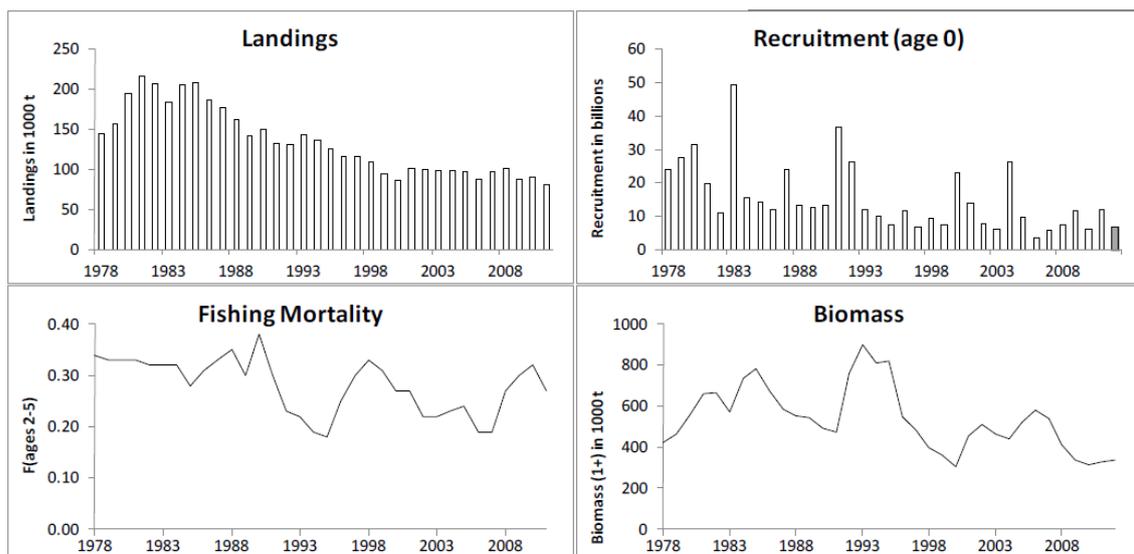


Figura 4 Estimativas, para o *stock* Ibérico, dos desembarques anuais na Península Ibérica, do recrutamento, da mortalidade por pescas e da biomassa de indivíduos com idade 1 ou superior. No gráfico do recrutamento biliões são mil milhões de indivíduos (ICES, 2012c).

2. Objectivos

As séries de recrutamento de sardinha estimadas pelo ICES são relativamente curtas para uma análise sólida dos efeitos ambientais e climáticos de longo termo no recrutamento da mesma. Torna-se, desta maneira, necessário a criação de uma série de valores de recrutamento, fiável e mais longa, utilizando para tal dados de desembarques da frota de cerco nacional, no período o mais longo possível.

A partir da série criada pretende-se desenvolver um índice de recrutamento histórico e efectuar uma análise, com o objectivo de investigar a relação entre a variabilidade do recrutamento da sardinha e as condições oceanográficas, na procura de tendências, variações cíclicas e relações interanuais.

Finalmente, e dependendo dos dados e dos resultados obtidos, pretende-se analisar a relação entre a variabilidade do recrutamento e a exploração do recurso no sentido de se avaliar se a pesca acentua a variabilidade do recrutamento.

3. Material e métodos

A ferramenta utilizada ao longo deste trabalho, nas diferentes análises matemáticas e estatísticas, foi o *software* livre R versão 2.15.2 (R Development Core Team, 2012).

3.1. Dados

Os dados de base para análise são descritos mais abaixo e constam de:

- a) Séries temporais de dados sobre a pesca:
 - a. Desembarques mensais de sardinha desagregados por porto, de 1947 a 2012
 - b. Distribuição dos indivíduos por classe de comprimento recolhida de amostragens regulares dos desembarques, de 1947 a 2012
- b) Séries temporais de índices ambientais e climáticos:
 - a. Índice de afloramento costeiro mensal, de 1949 a 2006
 - b. Temperaturas superficiais da água do mar (SST), de 1949 a 2007
 - c. Índice NAO de Inverno, de 1950 a 2011
 - d. Índice AMO mensal, de 1940 a 2007
 - e. Índice EA mensal, de 1950 a 2011

No presente trabalho foi assumido que as amostras de pesca dão informação sobre a abundância de recrutas na população, ou seja, que o recrutamento à população pode ser descrito com dados do recrutamento à pesca.

3.2. Séries temporais de dados sobre a pesca

Os dados de desembarque da sardinha são constituídos pelos totais desembarcados de sardinha pela frota de cerco nos principais portos do país, por mês. Os desembarques até 1985 foram compilados por Pestana (1989) e os desembarques de 1986 a 2012 correspondem aos dados estatísticos oficiais disponibilizados anualmente ao IPMA pela Direcção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM) e armazenados na base de dados do Programa Nacional de Amostragem Biológica (PNAB-DCF, s/data).

A informação, até 1978, sobre a distribuição dos indivíduos amostrados por classe de comprimento foi compilada de registos em papel dos relatórios de amostragem efectuada nos diferentes portos de desembarque. Os dados dessa mesma distribuição, a partir de 1979, foram retirados da base de dados do PNAB acima referida. Estas amostras foram recolhidas por técnicos do IPMA (e das entidades antecessoras deste instituto com a responsabilidade de recolha de dados biológicos sobre a pesca), directamente de traineiras de cerco, podendo raramente ser, nos anos anteriores a 1979, provenientes do mercado de

primeira venda ou mercados municipais (registos dos dados de amostragem do IPMA; Jorge, 1972). Desde 1986, a recolha de dados biológicos sobre a pesca é realizada no âmbito do programa europeu de recolha de dados, actualmente designado *Data Collection Framework* (DCF). Os indivíduos eram medidos e alocados às respectivas classes de comprimento e, de seguida, era pesado o conjunto de indivíduos de cada uma dessas classes não havendo nos dados recolhidos dessas amostras informação sobre o peso e comprimento individual (segundo registo dos dados de amostras do IPMA), a não ser quando essas eram seleccionadas para amostragem biológica, onde eram efectuadas medições e pesagens individuais, e recolhidos dados adicionais como o peso das gónadas, o índice de gordura visceral e extraídos os otólitos para determinação da idade. Actualmente, em Portugal, o plano de amostragem segue um esquema de amostragem aleatória estratificada por arte de pesca, zona, porto e mês, sendo a unidade de amostragem a embarcação de pesca (Jardim *et al.*, 2004). A intensidade, regularidade e cobertura espacial da amostragem melhorou de forma consistente ao longo dos anos (Silva, 2007). Nos anos anteriores a 1980 não existia um plano de monitorização nacional implementado, o que levava a uma maior irregularidade na amostragem tanto em termos de intensidade como em cobertura espacial, estando esta muito dependente da disponibilidade de técnicos e/ou existência da necessidade de dados para investigação.

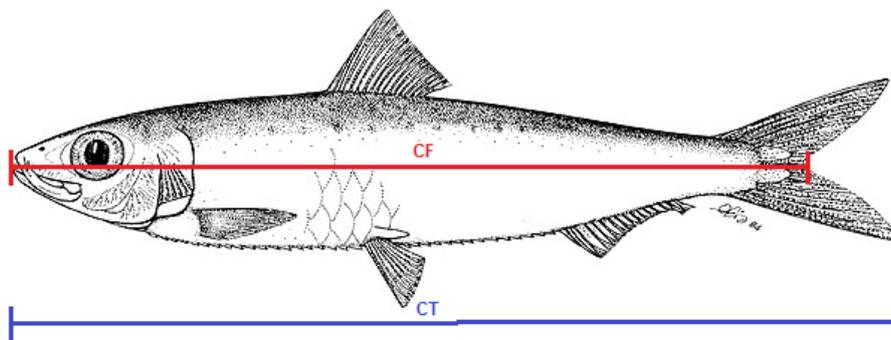


Figura 5 Diferentes medidas biométricas. CF é o comprimento à furca e CT comprimento total. Adaptado de FAO (2013).

Devido a diferenças encontradas na amostragem e registo da informação recolhida, os dados foram separados em dois grandes conjuntos: amostras de 1947 a 1978 e amostras de 1979 a 2012. Como principais diferenças entre os dois conjuntos de dados apresenta-se a regularidade e a intensidade da amostragem, com a existência de uma maior regularidade e intensidade nos anos após 1979. Outras grandes diferenças entre os dois conjuntos de dados são o comprimento individual dos peixes medido até à furca, comprimento este que equivale aproximadamente a 90% do comprimento total (figura 5), e a agregação desses

comprimentos à classe do meio centímetro mais próximo até 1978 (e.g. indivíduos entre os 14,25 e 14,75 cm eram agregados na classe 14,5; Cruz, 1957; Pinto & Barraca, 1958; Barraca & Ferreira, 1965; Vilela *et al.*, 1966; Jorge, 1972; Barraca *et al.*, 1977), enquanto a partir de 1979 passou-se a amostrar o comprimento total individual e a agregar os comprimentos à classe de meio centímetro inferior (e.g. indivíduos entre os 14 e 14,49 cm são agregados na classe 14; Monteiro & Jorge, 1982; Barraca & Pestana, 1985).

Em Portugal são consideradas três zonas distintas: zona Norte, zona Centro e zona Sul, tendo cada zona um conjunto de portos principais para desembarque de sardinha (figura 6).

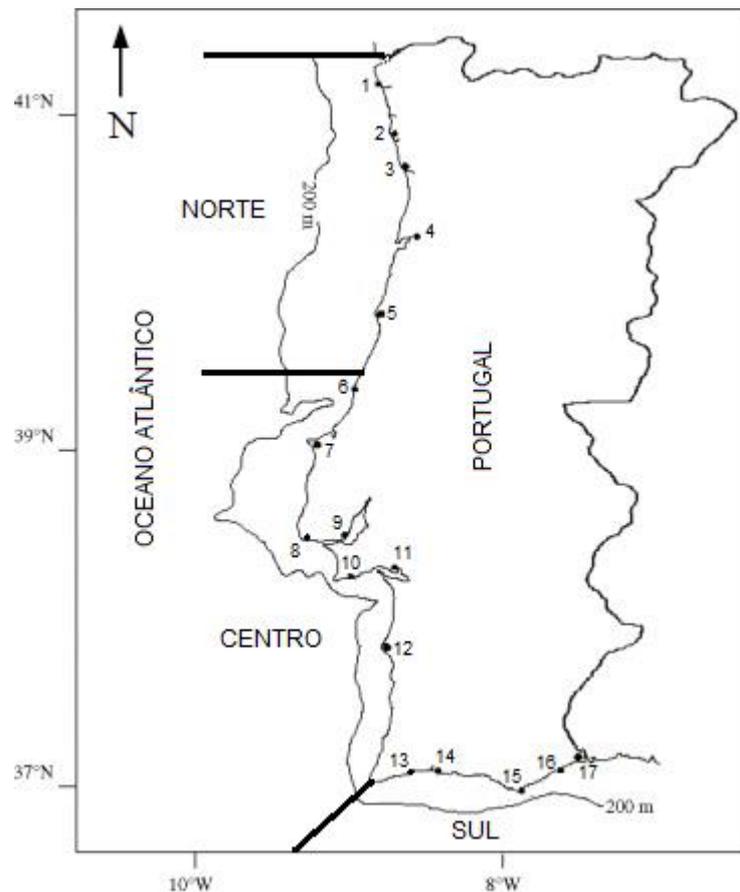


Figura 6 Delimitação das diferentes zonas consideradas para a costa Portuguesa. Linha externa representa a linha batimétrica de 200 metros. Os diferentes pontos assinalados são os principais portos para sardinha em cada zona: 1) Viana do Castelo; 2) Póvoa do Varzim; 3) Matosinhos (Leixões); 4) Aveiro; 5) Figueira da Foz; 6) Nazaré; 7) Peniche; 8) Cascais; 9) Lisboa; 10) Sesimbra; 11) Setúbal; 12) Sines; 13) Lagos; 14) Portimão; 15) Olhão; 16) Tavira; 17) Vila Real de Santo António (mapa modificado de Teixeira & Cabral, 2009).

Na tabela 1 estão resumidas algumas características dos dados da distribuição por classe de comprimento. É importante destacar a diferença no número de amostras entre as décadas, com as décadas de 80 até à actualidade a terem um maior número de amostras nas diferentes zonas. Os principais portos amostrados também variaram ao longo do tempo, com a zona Norte a ser a mais constante, tendo o porto de Matosinhos (Leixões)

Varição de longo-termo na dinâmica populacional da sardinha em relação às condições oceanográficas e à pesca

Tabela 1 Resumo dos dados de amostragem de desembarques mensais de sardinha desagregados por porto. Cobertura anual classificada como: I. Incompleta II. Parcialmente completa III. Completa. Períodos completos – sequência de anos completos trimestralmente. Comprimento à furca (F) ou total (T). Peso: E- Estimado, R- Registado. Classe de comprimento : cmp- meio centímetro mais próximo, ci- meio centímetro inferior. * - nas datas significa que não está representada toda a década. s/d – não existem dados.

Zona	Década	Amostragem							Dados recolhidos		
		Cobertura anual	Períodos completos	Nº total de amostras	Nº de indivíduos amostrados	Nº min/médio/máx de indivíduos por amostra	peso (kg) min/médio/ máx das amostras	Principal porto amostrado (% total de amostras)	Comprimento	Peso	Classes de comprimento
NORTE	1940*	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	1950	II	57-59	151	15200	100/100,7/200	1,6/4,8/7,9	MAT (100%)	F	E	cmp
	1960	II	não existem	71	7736	40/109/203	2/5,9/13,7	MAT (62%)	F	E/R	cmp
	1970	II	não existem	55	14301	100/260/630	6,5/12,9/24,9	MAT (69%)	F/T	E/R	cmp/ci
	1980	II	82-87	1064	145173	42/136,4/477	1/5,7/13,5	MAT (58%)	T	R	ci
	1990	III	90-99	1005	139004	38/138,3/388	0,7/ 7,1/20	MAT (86%)	T	R	ci
	2000	III	00-09	1401	273715	64/195,4/897	0,6/9,2/36,1	MAT (61%)	T	R	ci
2010*	III	10-12	173	25140	54/145,3/416	1,5/7,8/30,5	MAT (75%)	T	R	ci	
CENTRO	1940*	II	não existem	40	4758	33/119/233	1,2/4,2/8,7	LIS (88%)	F	E/R	cmp
	1950	II	52-59	337	53706	15/159,4/432	0,5/5/16,8	LIS (94%)	F	E	cmp
	1960	II	60-62	107	11745	50/109,8/122	1,8/5,7/9,3	LIS (95%)	F	E/R	cmp
	1970	II	70-71 e 75-77	397	58217	28/146,6/1510	0,8/7,2/28,7	PEN (58%)	F/T	E/R	cmp/ci
	1980	III	80-89	1642	161909	24/98,6/318	0,3/5/24,1	PEN (68%)	T	R	ci
	1990	III	90-99	1011	103751	28/102,6/306	0,6/5,9/20,8	PEN (100%)	T	R	ci
	2000	III	00-09	1219	164378	68/134,8/406	1,6/8,7/26,7	PEN (86%)	T	R	ci
2010*	III	10-12	138	18274	50/132,4/414	3/9,5/23,1	PEN (53%)	T	R	ci	
SUL	1940*	I	não existem	16	1752	59/109,5/150	1,3/3,8/6,2	POR (75%)	F	E/R	cmp
	1950	I	não existem	2	315	115/157,5/200	4,6/5,2/5,7	VSA (100%)	F	R	cmp
	1960	I	não existem	24	2814	84/117,3/230	1,8/3,4/6,2	OLH (100%)	F	R	cmp
	1970	II	76-79	249	106851	133/429,1/709	3,5/13,8/29,4	OLH (82%)	F/T	R	cmp/ci
	1980	III	80-89	910	169495	45/186,3/440	1/7,6/16,1	POR (71%)	T	R	ci
	1990	II	90-95 e 97-99	514	59136	67/115,1/252	2/6,5/14,9	POR (99%)	T	R	ci
	2000	III	00-09	769	139653	88/181,6/330	0,5/11,1/23,3	POR (99%)	T	R	ci
2010*	III	10-12	60	7394	54/123,2/316	1,7/7,5/20,5	POR (100%)	T	R	ci	

como o principal ponto de amostragem ao longo das décadas, apesar da origem das restantes amostras variar. Na década de 60, apesar do principal porto amostrado ser Matosinhos, a partir de 1964 até 1967 apenas existem amostras provenientes do porto de Aveiro. Em 1970 existe aproximadamente igual número de amostras de Figueira da Foz e Matosinhos, e em 1977 há dados originários de quatro portos diferentes, com Aveiro como principal porto de amostragem nesse ano. De 1980 até à actualidade, os dois principais portos de amostragem são Matosinhos e a Figueira da Foz, repartindo a importância ao longo dos anos, apesar que de 1994 a 1999 não estão registadas amostras provenientes da Figueira da Foz. Entre 1997 e 2008 surgem também algumas amostras da Póvoa do Varzim.

Na zona Centro, o principal porto de amostragem é Lisboa, até que em 1974 deixam de ser recolhidas amostras neste porto (tabela 1). Setúbal tem um período muito constante de amostragem de 1970 a 1989. A partir de 1977 Peniche passa a ser o principal porto amostrado na zona Centro, mantendo-se uma amostragem constante e regular até à actualidade, sendo de 1990 a 2000 o único porto amostrado para esta zona do país. Entre 1971 e 1980 surgem amostras dispersas ao longo deste período provenientes de Sines, até que, em 2001, este porto passa a ser regularmente amostrado e juntamente com Peniche passam a completar a totalidade das amostras da zona Centro até à actualidade.

No Sul os dois principais portos de amostragem são Portimão e Olhão (tabela 1). Entre 1964 e 1979, Olhão é o principal porto até que, em 1990, deixa de se amostrar. Portimão passa a ser regularmente amostrado a partir de 1979 e desde 1990 todas as amostras passam a ser recolhidas neste porto, excepto três amostras, do primeiro e segundo trimestre de 2009, feitas no porto de Olhão.

3.3. Séries temporais de índices ambientais e climáticos

A informação climática e ambiental foi obtida a partir de bases de dados internacionais (NOAA-*National Oceanic and Atmospheric Administration* e CRU-*Climatic Research Unit* da Universidade de *East Anglia*), os quais se descrevem em seguida.

A série temporal de dados de SST é composta pela média mensal das temperaturas superficiais, em °C, num quadrante, na costa Norte de Portugal, com as coordenadas geográficas latitude 41N e longitude 9W, correspondendo ao período Dezembro de 1949 a Dezembro de 2007. Esta informação foi extraída da base de dados ICOADS-*International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (<http://icoads.noaa.gov/>), a qual se baseia em dados meteorológicos da superfície do mar obtidos por vários sistemas de observação (e.g., navios voluntários de observação e bóias (e.g., Woodruff *et al.*, 2011).

O índice de afloramento costeiro foi calculado a partir de dados do vento na costa Norte Portuguesa (latitude entre 38 e 42 N e longitude 9W), extraídos da base de dados ICOADS, para o período Dezembro de 1949 a Dezembro de 2006. Este índice corresponde ao transporte de Ekman, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ por 1 km da linha da costa, calculado de acordo com Bakun (1973). Valores positivos do índice correspondem a condições de afloramento, enquanto valores negativos indicam condições de convergência costeira.

Os valores mensais do índice da Oscilação Multidecenal do Atlântico (AMO), para o período 1940-2007, foram obtidos na *Physical Sciences Division-Earth System Research Laboratory* da NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO>). A AMO é uma oscilação de longo período da temperatura da superfície do mar no Atlântico Norte, apresentando fases quentes e frias com ciclos de 20-40 anos (e.g., Enfield *et al.*, 2001). Estas flutuações são naturais e têm ocorrido, pelo menos, nos últimos 500-1000 anos (e.g., Delworth *et al.*, 1993; Knight *et al.*, 2006).

Os valores do índice da Oscilação do Atlântico Norte (NAO), para o período 1950-2011, foram obtidos na *Climatic Research Unit* da Universidade de *East Anglia* (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/>). O índice de Inverno da NAO é composto por valores anuais calculados a partir da média dos valores mensais dos meses de Dezembro (ano-1) a Março (ano). A NAO é o principal modo de variabilidade, de baixa frequência, da circulação atmosférica no Hemisfério Norte, em particular do Atlântico Norte, durante o Inverno (e.g., Hurrell *et al.*, 2003).

Os valores mensais do padrão do Leste Atlântico (EA), para o período 1950-2011, foram obtidos no *Climate Prediction Center-National Weather Service* da NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/ea.shtml>). O EA é um dos principais modos de variabilidade, de baixa frequência, do Atlântico Norte, em todos os meses, sendo estruturalmente similar à NAO, mas em que o dipolo das anomalias entre os centros atmosféricos se localiza mais para sul (e.g., Barnston & Livezey, 1987).

3.4. Verificação, validação e exploração dos dados de pesca

3.4.1. Verificação e validação

Após compilados todos os dados, foi necessário proceder à sua verificação e validação. Para tal foram procuradas discrepâncias nos dados, tais como: i) registo do peso amostrado maior que o peso do desembarque de onde a amostra foi proveniente; ii) número total registado de indivíduos diferente da soma do número total de indivíduos por classe de comprimento numa dada amostra; iii) amostras duplicadas na base de dados. Nos casos em que foram detectados erros, procedeu-se à comparação dos mesmos com os registo em papel dessas amostras e corrigiram-se os erros nos dados e, quando não foi possível

verificar os dados por não se encontrar o registo original da amostra, essa amostra foi descartada. Esta tarefa, muito morosa, envolveu programação específica em R (anexo I) e implicou mais de um mês de trabalho.

Algumas amostras, todas anteriores a 1978, não tinham os pesos totais por classe de comprimento ou o peso total amostrado registados, como foi o caso das amostras da zona Norte do período entre 1956 e 1960 e uma em Maio de 1970. O mesmo se verificou nas amostras da zona Centro entre 1947 e 1949, em duas amostras de Dezembro de 1960, uma de Fevereiro de 1961 e uma de Maio de 1972 e, nas amostras da zona Sul, de 1947 a 1948. Nesses casos foi necessário estimar o peso individual nas amostras utilizando para tal dados completos com os comprimentos e pesos médios das amostras de períodos próximos ou mesmo coincidentes às épocas acima assinaladas. No caso da zona Sul, devido à falta de dados até 1978, optou-se por utilizar na estimativa dos parâmetros todos os dados de 1947 a 1978. O procedimento seguido implicou o ajuste de regressões lineares *log-log* (transformação do modelo potência) aos dados de comprimento-peso para cada mês, tendo em conta a variabilidade mensal da relação comprimento-peso da sardinha. Depois de estimados os parâmetros das equações das regressões foi calculado o peso médio para cada classe de comprimento e multiplicado esse valor pelo número de indivíduos amostrados para cada classe. Finalmente somaram-se os pesos totais de cada classe de comprimento, obtendo-se assim o valor estimado para o peso total das amostras.

3.4.2. Estimativa do número total de indivíduos desembarcados

De forma a se poder comparar as diferentes zonas quanto ao número total de indivíduos capturados, procedeu-se ao cálculo da estimativa do número total de indivíduos desembarcados. De modo a facilitar a compreensão das anotações em baixo assinaladas, os índices *i* e *l* são referentes, respectivamente, à amostra *i* e à classe de comprimento *l* do estrato, sendo o estrato definido como o conjunto de amostras de cada Ano-Trimestre-Zona. O número de amostras existentes em cada estrato é representado por *n*.

O estimador do número total de indivíduos para cada classe de comprimento do estrato ($\hat{Y}_{.i}$) utilizado é dado por (Cochran, 1977):

$$\hat{Y}_{.i} = PTD_N \times \hat{R}$$

onde PTD_N é o total desembarcado (em peso) por estrato e \hat{R} representa o estimador amostral da razão (i.e. proporção de indivíduos da classe de comprimento *l*), calculado pela seguinte fórmula:

$$\hat{R} = \frac{\bar{y}_l}{\bar{w}}$$

onde \bar{y}_l representa o número médio ponderado de indivíduos amostrados por cada classe de comprimento por estrato e \bar{w} o peso médio das amostras por estrato,

$$\bar{y}_l = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_{il}}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

e

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i$$

$p_i = \frac{y_{i\cdot}}{y_{\cdot\cdot}}$ é a proporção de indivíduos amostrados de cada amostra no total de indivíduos por estrato.

A variância de $\hat{Y}_{\cdot j}$ é calculada pela seguinte fórmula,

$$V\hat{Y}_{\cdot j} = V\hat{R} \times (PTD_N)^2$$

onde $V\hat{R}$ representa o estimador da variância de \hat{R} e é obtido através de:

$$V\hat{R} = \frac{1-f}{n\bar{w}^2} \times (s_{y_l}^2 + \hat{R}^2 \times s_w^2 - 2\hat{R} \times s_{y_l w}) \quad (\text{Cochran, 1977})$$

f foi considerado igual a 0, dado ser a fracção de amostragem (i.e. número de desembarques amostrados no total de desembarques do estrato) e como o número de desembarques amostrados é muito inferior ao total de desembarques, esse valor é desprezável. $s_{y_l}^2$ é a variância do número de indivíduos amostrados na classe l por estrato,

$$s_{y_l}^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n p_i^2}{(\sum_{i=1}^n p_i)^2} \right) \times \frac{\sum_{i=1}^n (y_{il} - \bar{y}_l)^2}{n-1} \quad (\text{Yates, 1981})$$

s_w^2 é a variância do peso amostrado por estrato,

$$s_w^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}{n-1}$$

e $s_{y_l w}$ é a covariância entre o número de indivíduos e o peso amostrado por estrato.

$$s_{y_l w} = \frac{\sum_{i=1}^n [(y_{il} - \bar{y}_l) \times (w_i - \bar{w})]}{n-1}$$

A tarefa de informatizar todo este formulário, morosa, envolveu programação específica em R (anexo II).

3.5. Índice de recrutamento histórico

Com os valores estimados para o número total de indivíduos desembarcados por classe de comprimento por Ano-Trimestre-Zona, procedeu-se ao desenvolvimento do índice do recrutamento histórico (IRH). Os passos seguidos no desenvolvimento do índice implicaram a identificação dos comprimentos dos recruta, a selecção da época de recrutamento e a selecção da(s) zona(s) de recrutamento mais representativas.

3.5.1. Comprimento dos recrutas

De forma a se encontrar a melhor estimativa para o tamanho dos recrutas foram calculadas proporções de recrutas (indivíduos com idade inferior a um ano, idade 0) por estrato a partir de chaves comprimento-idade, calculadas para cada estrato (trimestre, ano e zona) com dados de amostras biológicas recolhidas entre 1947 e 2012, onde a idade e o comprimento de cada indivíduo foram registados. A essas proporções foi multiplicado o total de indivíduos estimado para cada estrato.

Devido à falta de dados de chaves comprimento-idade nos anos anteriores a 1978 (apenas foi possível estimar o número de recrutas para 12 estratos), foram somadas as estimativas do número de recrutas, acima calculadas, das diferentes zonas por ano e trimestre. Obteve-se, assim, uma série de dados com número de recrutas estimados para toda a costa Portuguesa a partir das chaves de comprimento-idade (*rec_cci*) para os diferentes trimestres dos anos de 1947 a 1978.

O mesmo procedimento foi aplicado aos anos de 1979 a 2012, de modo a serem comparáveis os resultados.

De modo complementar, foram obtidas estimativas de recrutas através da soma do número total de indivíduos por estrato até determinada classe de comprimento, cujo valor depende dos critérios abaixo referidos.

Para os anos até 1978, inclusive, foram escolhidas diferentes somas de indivíduos das classes de comprimento ≤ 13 (*rec_130*), $\leq 13,5$ (*rec_135*), ≤ 14 (*rec_140*), $\leq 14,5$ (*rec_145*) e ≤ 15 (*rec_150*) cm, e para os anos de 1979 e seguintes foram escolhidos as classes de $\leq 14,5$ (*rec_145*), ≤ 15 (*rec_150*), $\leq 15,5$ (*rec_155*), ≤ 16 (*rec_160*) e $\leq 16,5$ (*rec_165*), tendo em conta a diferença nos comprimentos medidos nos dois períodos (comprimento à furca até 1978 e comprimento total nos anos seguintes).

Estes valores de “corte” foram escolhidos de acordo com a informação recolhida da literatura disponível (Marques, 2005; Silva *et al.*, 2006, Silva *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2012) e a informação obtida da análise das classes modais da distribuição de comprimentos. A análise das classes modais foi baseada no método estatístico de separação de componentes normais da distribuição de frequência por classes de comprimento (pacote estatístico de R “*MIXDIST*”, MacDonald & Green, 1988; anexo III).

Os valores das estimativas de recrutas obtidos pelo método de chaves comprimento-idade foram emparelhados com os valores de recrutas obtidos pelas diferentes estimativas dos diferentes “cortes” nas classes de comprimento máximas, um a um, criando gráficos de dispersão. A cada conjunto de pontos desses gráficos foi aplicado um modelo de regressão linear e extraído desse modelo o valor de r^2 (coeficiente de correlação de Pearson).

Os valores finais de “corte” para a estimativa do número de recrutas, foram escolhidos atendendo a toda a informação adquirida nos diferentes passos.

3.5.2. Zona de recrutamento

A definição das zonas de recrutamento à pesca (zonas ao longo da costa onde se captura uma grande maioria dos recrutas) foi baseada na literatura consultada (Silva *et al.*, 2009; Petitgas, 2010), e afinada com os resultados obtidos da análise dos IRH para as diferentes zonas, em busca de padrões de variação e de quebras abruptas de recrutamento.

3.5.3. Época de recrutamento

Com os comprimentos de “corte” para os recrutas e as zonas de recrutamento definidos, elaborou-se uma análise da sazonalidade da proporção de recrutas por trimestre, através do uso de *Generalized Additive Mixed Model* (GAMM), aplicado a cada um dos “cortes”. Para esta análise foi usado um modelo com uma estrutura de variância do tipo AR1 adequada para análise de sazonalidade em séries temporais (Wood, 2006).

A informação obtida neste procedimento e a informação da literatura disponível (Pestana, 1989; Silva *et al.*, 2006; Stratoudakis *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2012), permitiu seleccionar os trimestres que melhor representariam as épocas de recrutamento anual para as respectivas zonas, isto é, o período no ano onde é possível capturar a maioria dos indivíduos com idade inferior a um ano.

3.5.4. Definição do índice de recrutamento histórico

O IRH foi definido como a proporção normalizada (i.e., subtraída da média das proporções dessa zona) do número estimado de recrutas no total de indivíduos para cada zona no período de recrutamento de um dado ano:

$$IRH = Precrutas_{ano|zona} - \overline{Precrutas}_{zona}$$

O valor de recrutas estimado foi calculado combinando a informação acima obtida do comprimento dos recrutas e época de recrutamento, e foi assim somado o número de recrutas para os trimestres considerados como época de recrutamento. Esse valor foi dividido pelo número total de indivíduos estimados para essa época, resultando num valor anual de proporção de recrutas. A cada proporção calculada foi subtraída a média de todas as proporções anuais da respectiva zona.

Assim, a partir de uma série temporal de proporção de indivíduos de idade 0 nas descargas, por ano e zona e trimestre, criou-se uma série temporal de valores anuais do IRH para cada zona, onde os valores desse índice estão distribuídos à volta do valor zero e

onde valores positivos representam recrutamentos acima da média e valores negativos recrutamentos abaixo da média. De forma a minimizar os erros apenas foram usados na construção do índice dados com n igual ou superior a 3 amostras de cada estrato.

3.5.5. Escolha final do(s) índice(s) de recrutamento histórico

Após análise cuidada da informação acima obtida, o(s) índice(s) de recrutamento histórico (IRH) foram seleccionado(s). As séries escolhidas foram utilizadas nas análises que seguem.

3.5.6. Validação do índice de recrutamento histórico

Seleccionada a série final do IRH, foi feita uma análise aos dados mais recentes provenientes de campanhas anuais de investigação acústica (cruzeiros) dirigidas à sardinha, na zona Norte e Centro (Marques, 2005; ICES, 2012a). Esses valores foram correlacionados com a série final de IRH por nós obtida, como forma de a validar.

Os dados de cruzeiro foram adquiridos durante os 1.º e 2.º trimestres dos anos de 1986, 1988 e de 1995 a 2011, onde apenas foram capturados indivíduos com idade 1 ou superior. Devido a este facto, foram utilizados na análise contra o IRH os indivíduos de idade 1 de um dado ano, capturados pelos cruzeiros, alocados ao ano anterior. Desta forma, assume-se que o número de indivíduos de idade 1 dos dois primeiros trimestres é representativo do número de indivíduos de idade 0 do ano anterior.

Foi então calculado o valor do coeficiente da correlação de Pearson (r^2) entre as duas séries de dados.

3.6. Análise da relação do IRH com os dados ambientais e climáticos

Tanto o IRH como os restantes dados ambientais e climáticos foram explorados segundo o protocolo proposto por Zuur *et al.* (2010), com o objectivo de minimizar os erros estatísticos de tipo I e tipo II.

O primeiro passo foi a procura de *outliers* através da análise visual de gráficos *box and whisker plot*, e, caso detectada a sua existência, a sua identificação foi feita através de gráficos de dispersão dos pontos, permitindo a sua eliminação na série de dados.

De seguida, através da utilização de *Generalized Additive Mixed Models* (GAMM) com uma estrutura de variância do tipo AR1 (Wood, 2006), foram analisadas a tendência e sazonalidade da séries temporais das diferentes variáveis ambientais e climáticas. Com base nos resultados obtidos as séries foram divididas em séries de valores médios de Verão e Inverno ou em séries com médias anuais, sendo o principal factor de decisão a existência ou não de uma sazonalidade acentuada nas séries de dados.

Após seleccionadas as diferentes séries anuais das variáveis explicativas, o passo seguinte foi a procura de colinearidade entre essas mesmas variáveis, utilizando para o efeito a análise dos factores de inflação da variância (*Variance Inflation Factors* – VIF; Zuur *et al.*, 2010). Como proposto por Zuur *et al.* (2010) o valor máximo do VIF, decidido *a priori*, para descartar uma variável foi 3. Valores da correlação de Pearson foram também obtidos para as relações entre as diferentes covariáveis.

A correlação cruzada entre a série temporal do IRH e as restantes séries temporais das variáveis explicativas foi testada, de forma a procurar correlações significativas entre a variável de resposta e as diferentes covariáveis nos diferentes desfasamentos temporais das mesmas.

3.6.1. Construção do modelo

Escolhidas as séries temporais tanto para a variável de resposta, índice histórico de recrutamento, como para as variáveis explicativas, índices ambientais e climáticos, procedeu-se à análise do efeito das variáveis explicativas no IRH.

Santos *et al.* (2012) descrevem as séries temporais como sendo constituídas por uma tendência, um ciclo, uma componente de autocorrelação (AC) e a variação dos seus resíduos, onde se inclui o ruído. No presente trabalho foi adaptado o mesmo conceito.

GAM's foram então utilizados para produzir um modelo que relacionasse o índice histórico de recrutamento com as diferentes variáveis ambientais. Não foram aplicados desfasamentos (*lag*) às diferentes séries. Apenas foi permitido um máximo de 3 graus de liberdade ($k=4$) no modelo de forma a evitar ajuste exagerado do modelo (*overfitting*) (Santos *et al.*, 2012), excepto para a variável média anual do índice de AMO, onde os graus de liberdade foram ajustados para um máximo de 4, seguindo um critério de escolha de k apresentado por Wood (2006). O método usado para a estimativa das curvas *smooth* foi o método da máxima verosimilhança restrita (*restricted maximum likelihood*, REML), apontado por Marra & Wood (2011) como método mais indicado quando se trabalha com conjunto de dados finito.

Os modelos aditivos generalizados (*generalized additive model*, GAM), propostos por Hastie & Tibshirani (1986), são, de uma forma resumida, modelos lineares generalizados (*generalized linear models*, GLM) com um preditor linear no qual é incluída a soma das funções *smooth* das diferentes covariáveis (Wood, 2006). Os GAM são apontados como tendo uma maior flexibilidade na previsão da relação entre a variável de resposta e o conjunto das diferentes covariáveis (Wood, 2006). Outra característica importante dos GAM é que a variável de resposta pode assumir qualquer distribuição da família exponencial (e.g. Normal, Binomial, Poisson, etc; Hastie & Tibshirani, 1986; Wood, 2006).

As funções *smooth* são funções, ajustadas por métodos não paramétricos, que representam a variabilidade da resposta em função de uma ou mais covariáveis (Hastie & Tibshirani, 1986; Wood, 2006). A sua utilização no GAM não é obrigatória para todas as covariáveis, podendo o GAM incluir estimativas paramétricas e não paramétricas para as diferentes covariáveis (covariáveis com relações estritamente lineares e covariáveis com relações não lineares; Wood, 2006; Costa, 2008).

Na escolha das covariáveis utilizadas no modelo final foi aplicado o método da dupla penalidade (*double penalty approach*) para selecção das covariáveis proposto por Marra & Wood (2011). A escolha de covariáveis é importante, pois permite ao investigador obter um equilíbrio entre uma boa estimativa (*goodness of fit*) e parcimónia (Wood, 2006; Marra & Wood, 2011).

O método da dupla penalidade permite seleccionar de um conjunto de covariáveis existente para análise, um subconjunto de covariáveis com as covariáveis mais influentes apenas num único passo (Marra & Wood, 2011). Na prática, segundo este método, todas as covariáveis para as quais a estimativa da função de *smooth* tenha tendência para zero, ou seja que a sua função de *smooth* final fique uma linha com o valor de zero, devem ser retiradas do modelo final (Marra & Wood, 2011).

No modelo final foram incluídas as covariáveis sugeridas pelo método acima descrito e foi novamente usado método de REML para o cálculo das funções de *smooth*. Às covariáveis que o modelo apontava como tendo uma relação linear com a variável de resposta não foi aplicada uma função de *smooth*. Este último passo não afectou o resultado do modelo final.

Sendo o índice IRH uma série temporal é expectável que seja encontrada autocorrelação (AC) na variável de resposta. Optou-se, então, por seguir a explicação proposta por Santos *et al.* (2012) em que a AC na variável de resposta é explicada pela AC nas variáveis explicativas e portanto a componente AC deve ser analisada apenas nos resíduos do modelo.

A normalidade da distribuição e a homogeneidade da variância da variável de resposta foram testadas analisando os resíduos produzidos pelo modelo final (Zuur *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2012).

4. Resultados

Em seguida apresentam-se os resultados, divididos em secções de acordo com os passos de análise acima enunciados.

4.1. Índice de recrutamento histórico

4.1.1. Comprimento dos recrutas

Da análise das regressões lineares dos diferentes gráficos de dispersão de pontos de rec_cci com as restantes estimativas de recrutas obtiveram-se as tabelas dos r^2 extraídos dessas regressões (tabelas 2 e 3). As melhores estimativas de recrutas para o período até 1978 foram para os “cortes” nas classes de comprimento de 14,5 e 15 cm. E os valores mais altos de r^2 nos anos mais recentes são para os “cortes” nas classes de comprimento de 15,0 e 15,5.

Tabela 2 Valores do coeficiente da correlação de Pearson entre as diferentes séries das diferentes estimativas. rec_cci é a estimativa de recrutas através de chaves comprimento idade, e rec_xxx são as estimativas de recrutas através de “corte” para o período de 1947 a 1978, onde xxx é o comprimento de “corte” em milímetros.

	rec_cci	rec_130	rec_135	rec_140	rec_145	rec_150
rec_cci	1	0,48	0,54	0,59	0,61	0,62
rec_130		1	0,98	0,94	0,90	0,87
rec_135			1	0,99	0,96	0,94
rec_140				1	0,99	0,98
rec_145					1	0,99
rec_150						1

Tabela 3 Valores do coeficiente da correlação de Pearson entre as diferentes séries das diferentes estimativas. rec_cci é a estimativa de recrutas através de chaves comprimento idade, e rec_xxx são as estimativas de recrutas através de “corte” para o período de 1979 a 2012, onde xxx é o comprimento de “corte” em milímetros.

	rec_cci	rec_145	rec_150	rec_155	rec_160	rec_165
rec_cci	1	0,86	0,89	0,89	0,84	0,75
rec_145		1	0,99	0,98	0,93	0,86
rec_150			1	0,99	0,95	0,89
rec_155				1	0,98	0,93
rec_160					1	0,98
rec_165						1

Foi decidido utilizar, como “corte” para a estimativa de recrutas, a soma de indivíduos pertencentes às classes de comprimento inferiores ou iguais a:

- 16,0 cm para os anos 1979-2012
- 14,5 cm para os anos 1947-1978.

4.1.2. Zona de recrutamento

A análise dos gráficos obtidos para as diferentes séries de IRH (figura 7) permitiu observar quebras abruptas no recrutamento nos índices da zona Centro e zona Sul, a partir de 1980 e 1990, respectivamente. As duas datas coincidem com os anos de mudança do porto de amostragem, mencionado anteriormente, nas diferentes zonas referidas.

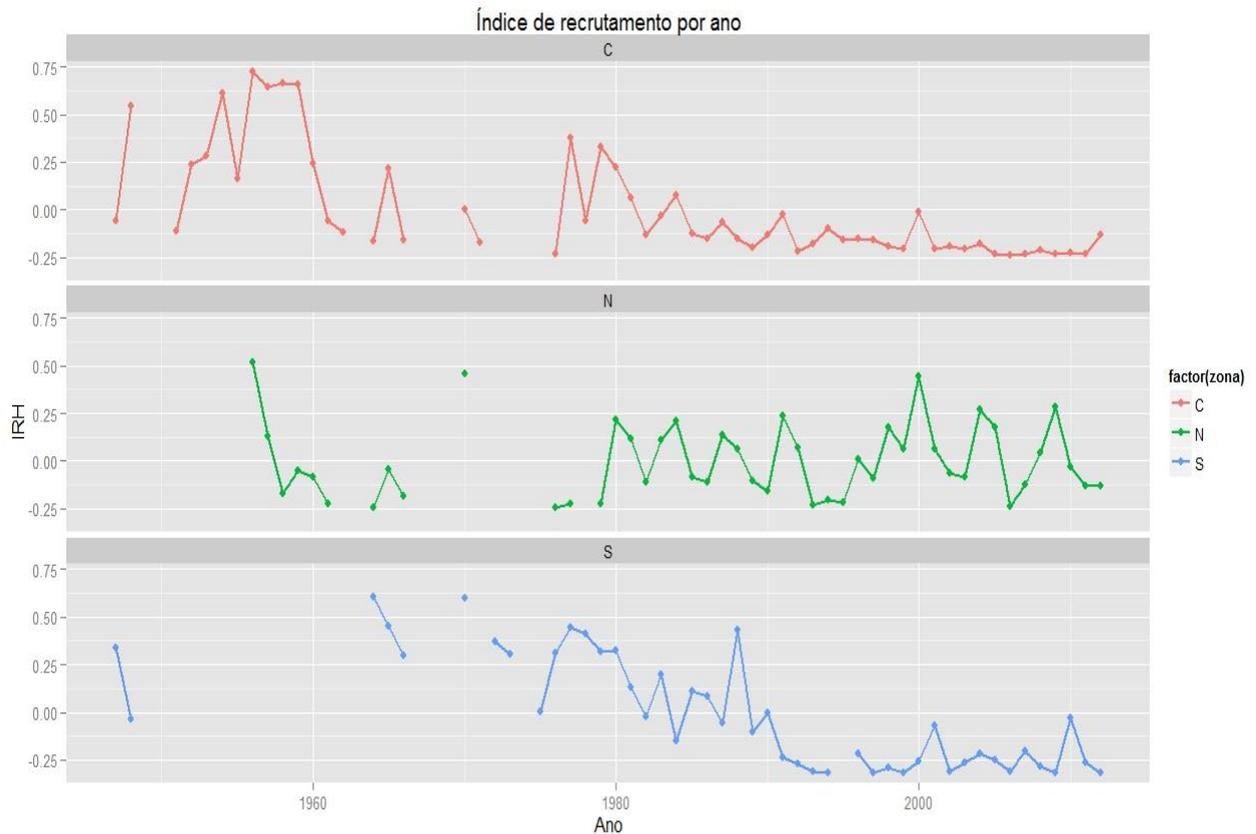


Figura 7 Séries dos índices de recrutamento histórico para as Zona Centro, Norte e Sul, com dados dos todos os principais portos.

Decidiu-se utilizar apenas os dados dos portos das zonas na costa Portuguesa assinaladas como locais de recrutamento ou próximas das mesmas (figuras 1 e 6), utilizando-se nos índices de recrutamento histórico os dados para a zona Norte de todos os principais portos, para a zona centro apenas dos portos de Lisboa, Setúbal, Cascais, Sesimbra e Ericeira, e para a zona Sul dos portos de Olhão, Vila Real de Santo António e Tavira.

4.1.3. Época de recrutamento

Com os “cortes” para a estimativa de recrutas decididos e as zonas de recrutamento definidos, a análise (GAMM) da sazonalidade da proporção de recrutas por trimestre produziu os resultados visíveis nas figuras 8, 9 e 10. Na tabela 4 pode-se observar o resumo dos parâmetros estimados nas diferentes análises efectuadas nesta secção.

Na zona Norte (figura 8) a proporção de recrutas ao longo do ano varia, sendo que nos 1.º e 4.º trimestres foi capturado uma maior proporção de recrutas (indivíduos pertencentes às classes $\leq 14,5$ e ≤ 16 cm para anos até 1978 e após 1978, respectivamente) ao longo dos anos ($p=0,002$). Não foi encontrada uma tendência significativa ao longo dos anos na proporção de recrutas para a zona Norte ($p=0,792$).

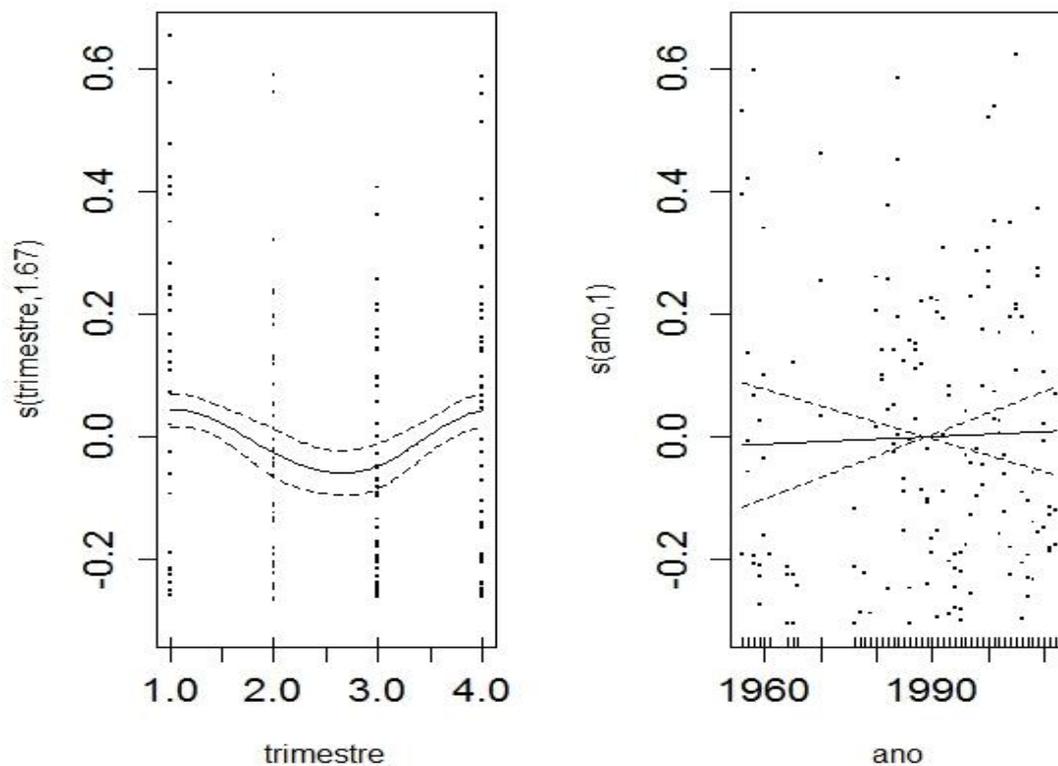


Figura 8 Sazonalidade e tendência, da zona Norte, na proporção de indivíduos menores ou iguais que 14,5 cm até 1978 e inferiores ou iguais a 16 cm de 1979 até 2012. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

Para a zona Centro (figura 9) não foi possível encontrar uma sazonalidade na proporção de recrutas ($p=0,403$), mas uma tendência decrescente entre 1947 e 1990, com oscilações entre períodos com uma maior proporção de recrutas e períodos com uma menor proporção de recrutas, foi encontrada para esta zona ($p=0,001$).

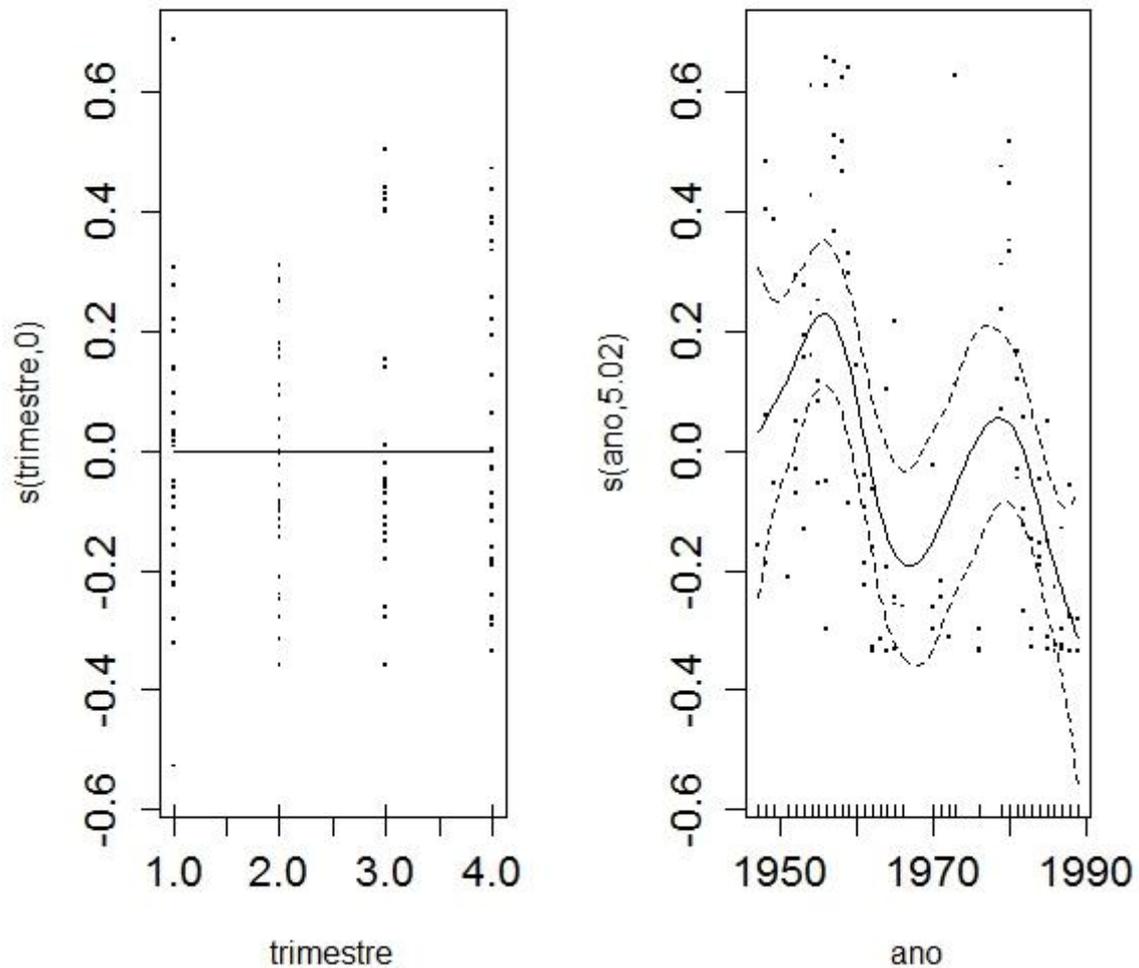


Figura 9 Sazonalidade e tendência, da zona Centro, na proporção de indivíduos menores ou iguais que 14,5 cm até 1978 e inferiores ou iguais a 16 cm de 1979 até 2012. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

No Sul (figura 10) a proporção de recrutas apresenta sazonalidade, com a proporção de recrutas a ser máxima no 3.º trimestre ($p=1,38e^{-07}$). Também pode-se observar um decréscimo acentuado da proporção de recrutas ao longo dos anos ($p=5,08e^{-07}$).

Desta maneira, foi verificado que a época de recrutamento à pesca (maior proporção de indivíduos mais pequenos) ocorre nos 3.º e 4.º trimestres de cada ano. Quanto à tendência geral do recrutamento para a costa Portuguesa, tendo em conta os diferentes resultados verifica-se um declínio.

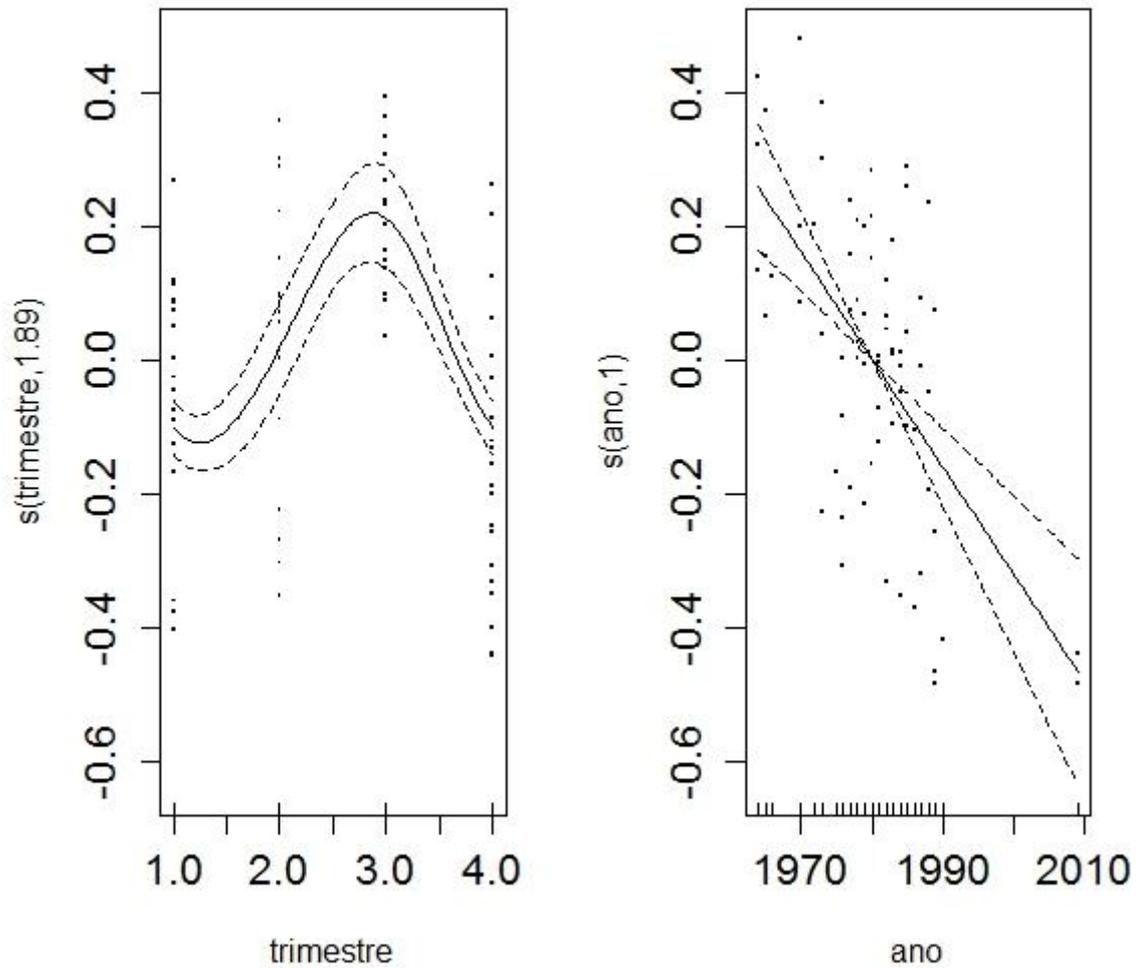


Figura 10 Sazonalidade e tendência, da zona Sul, na proporção de indivíduos menores ou iguais que 14,5 cm até 1978 e inferiores ou iguais a 16 cm de 1979 até 2012. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

Tabela 4 Parâmetros das funções *smooth* da análise de sazonalidade e tendência para as diferentes zonas. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$.

Zonas	fun. <i>smooth</i>	edf	F	p
Norte	s(trimestre)	1,673	5,316	0,002
	s(ano)	1,000	0,070	0,792
Centro	s(trimestre)	0,000	0,000	0,403
	s(ano)	5,020	4,598	0,001
Sul	s(trimestre)	1,894	18,470	<0,001
	s(ano)	1,000	30,270	<0,001

4.1.4. Escolha final do(s) índice(s) de recrutamento histórico

Escolhidos os dados a serem contabilizados na escolha do IRH, foram obtidas novas séries de IRH para as diferentes zonas da costa Portuguesa (figura 11).

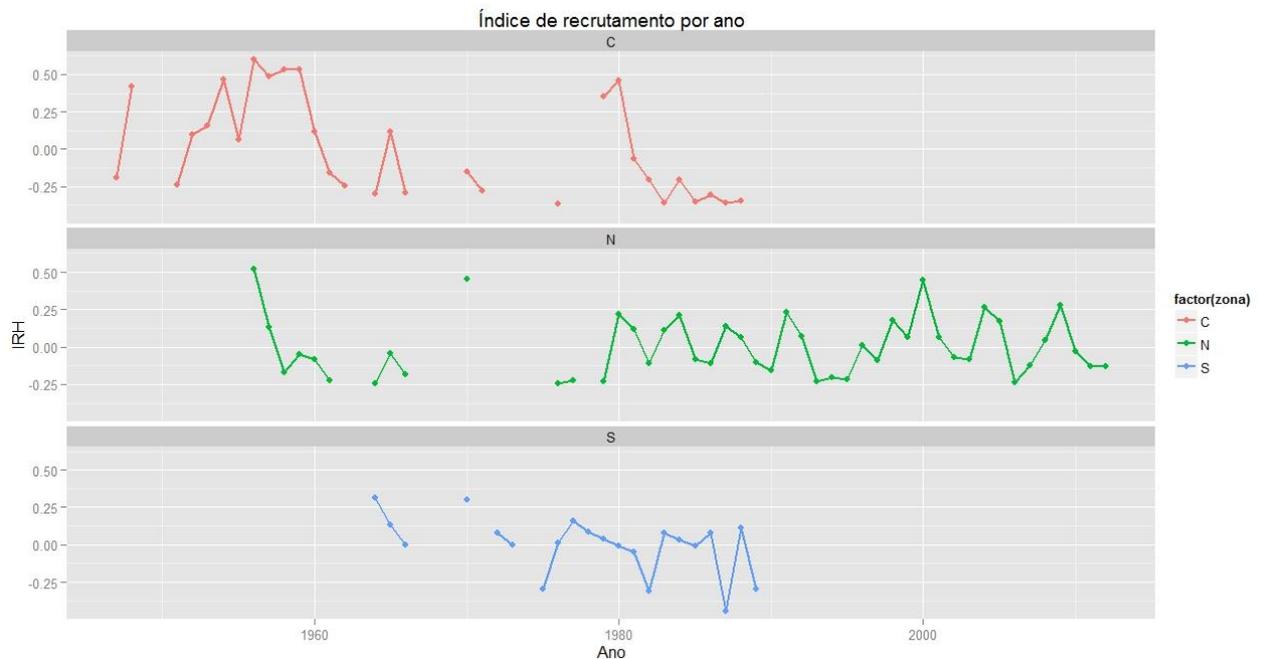


Figura 11 Séries dos índices de recrutamento histórico para as Zona Centro, Norte e Sul utilizando apenas os dados dos portos das zonas de recrutamento. Norte – Todos os dados dos principais portos foram utilizados; Centro – Apenas dados de Lisboa, Setúbal, Cascais, Sesimbra e Ericeira; Sul - Olhão, Vila Real de Santo António e Tavira.

Não foi possível obter nenhuma série de dados de IRH completa para os 66 anos da análise (1947 a 2012), com as séries de IRH para as zonas Centro e Sul, obtidas a partir dos dados dos portos das zonas de recrutamento, a mostrarem-se muito incompletas.

O IRH para a zona Norte encontra-se muito incompleto até 1979, sendo que a partir desta data foi possível calcular valores de IRH para todos os anos até 2012.

Na Zona Centro, a série de IRH mostra-se completa entre 1951 e 1962, tendo outro período de completo de dados entre 1979 e 1987. Entre 1980 e 1982 observa-se uma quebra abrupta no recrutamento. É também possível verificar, no final dos anos 50, uma diminuição abrupta, e essa mesma diminuição pode ser observada, para o mesmo período, no IRH da zona Norte.

Para o Sul, apenas foi possível criar uma série completa de dados entre 1975 e 1989. Observa-se também alguns pontos na década de 60 e início de 70.

Deste modo, foi decidido criar uma série de IRH para toda a costa Oeste Portuguesa (zonas Norte e Centro), obtendo-se um IRH mais completo do que o IRH da zona Norte ou

o IRH da zona Centro. Foi também decidido não continuar com a análise do IRH da zona Sul dado este se encontrar muito incompleto.

4.1.5. Índice de recrutamento histórico final

O IRH final para a costa Oeste de Portugal (figura 12) apresenta alguns anos para os quais não foi possível calcular o valor do IRH, devido a falta de dados. Os dados no período entre 1960 e 1978 encontram-se bastante incompletos, mas de 1979 a 2012 foi possível calcular o IRH para a costa Oeste sem falhas de valores.

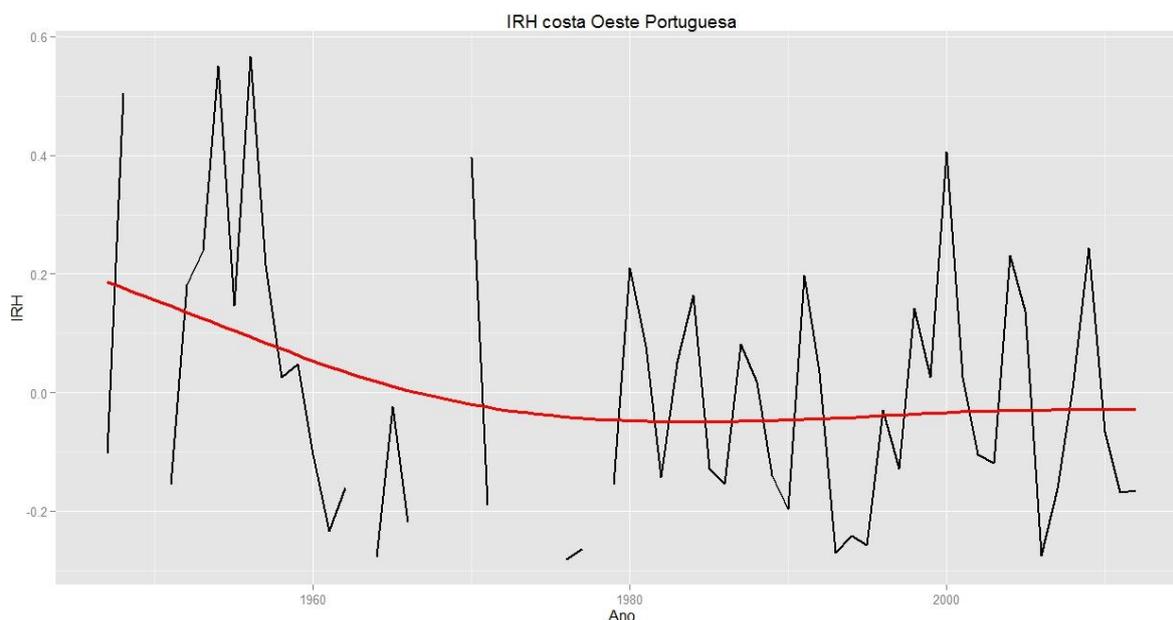


Figura 12 Série do índice de recrutamento histórico desde 1947 a 2012. Linha vermelha representa um *smoothing* aplicado aos dados.

Uma tendência decrescente no IRH até finais dos anos 70 pode ser observada e a partir de 1979/80 essa tendência estabiliza, com um muito ligeiro aumento ao longo dos restantes anos. Os dados mostram picos de recrutamento para os anos 1947, 1954, 1956, 1970, 1980, 1984, 1987, 1991, 1998, 2000, 2004 e 2009. Por seu lado, os anos de 1964, 1976, 1977, 1993, 1994, 1995 e 2006 mostraram recrutamentos particularmente baixos.

4.1.6. Validação do índice de recrutamento histórico

Estimativas de número de indivíduos com idade 0 para as zonas Norte e Centro Portuguesas, calculadas a partir de dados provenientes de cruzeiros de investigação foram comparadas com a série de IRH, para o mesmo período (figura 13). Foi, então, calculado um valor de r^2 (coeficiente de correlação de Pearson) de forma a quantificar a correlação existente e o valor obtido foi $r^2 = 0,52$ ($p=0,00046$). Um segundo valor de r^2 foi calculado não

contabilizando o ponto correspondente ao ano de 2004, valor esse claramente desviado da tendência e, provavelmente, um valor atípico. Obteve-se, desta forma, um r^2 de 0,60 ($p=0,00016$).

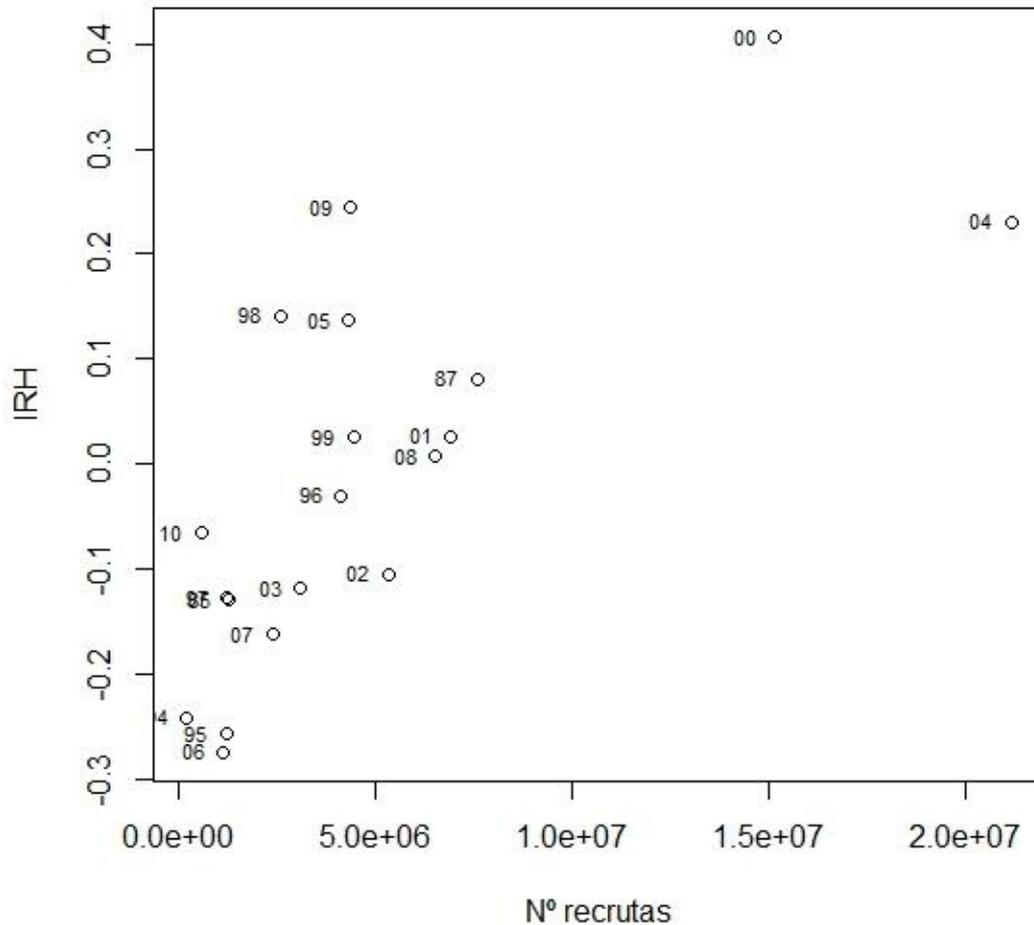


Figura 13 Relação entre o número de recrutadas estimados a partir de dados de cruzeiros para a costa Oeste Portuguesa e o IRH.

Numa segunda abordagem, onde apenas se utilizaram estimativas de número de indivíduos com idade 0 para a zona Norte, dado que para o mesmo período apenas foram utilizados no cálculo do IRH dados da zona Norte, foi igualmente quantificada a correlação, tendo-se obtido a figura 14. Os novos valores de r^2 obtidos foram de 0,59 ($p=0,00013$) e 0,70 ($p=1,672e^{-05}$) para todos os dados e sem o ponto de 2004, respectivamente.

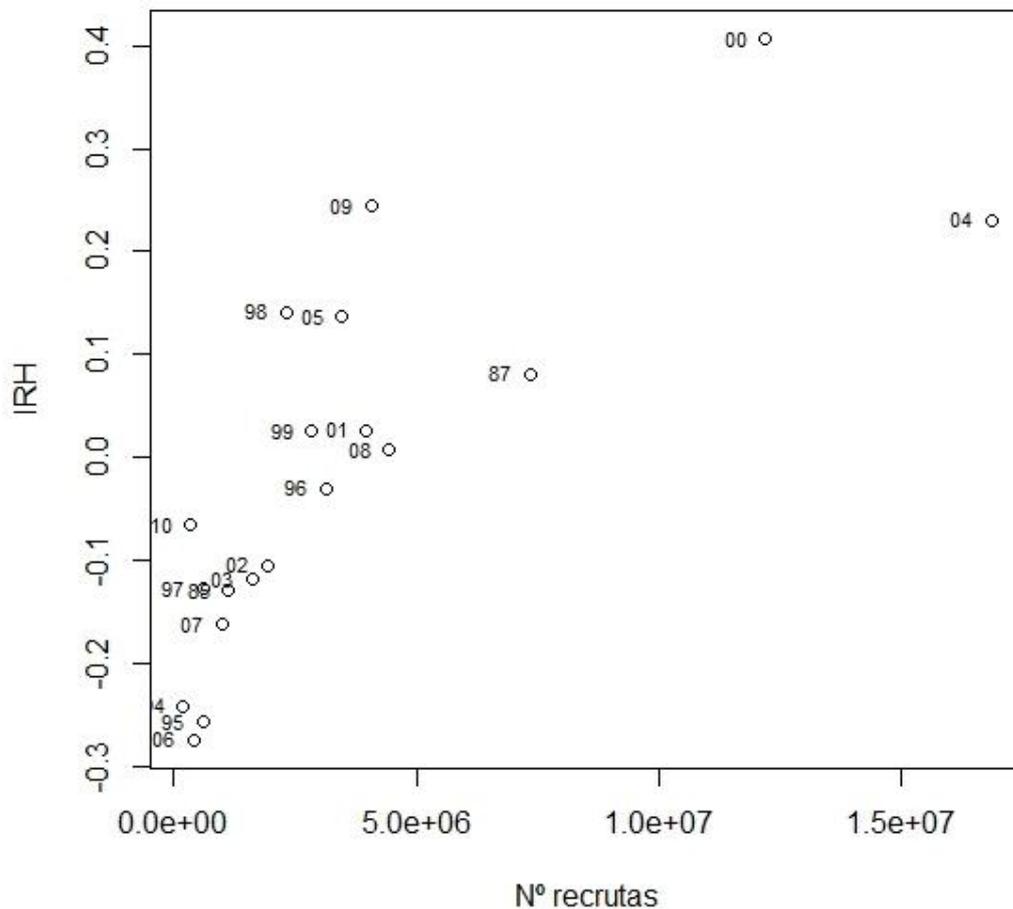


Figura 14 Relação entre o número de recrutas estimados a partir de dados de cruzeiros para a costa Norte Portuguesa e o IRH.

4.2. Análise da relação do IRH com os dados ambientais e climáticos

As séries de variáveis ambientais e climáticas foram analisadas e os gráficos “*box and whisker plot*” obtidos, com vista a analisar a existência ou não de *outliers* (figura 15), não mostraram *outliers* nas diferentes séries de dados, excepto nos do índice de afloramento.

Assim, um gráfico de dispersão de pontos foi criado para o índice de afloramento em função da sua ordem temporal desde Dezembro de 1949 a Dezembro de 2006 (figura 16). Pode-se observar uma grande concentração de valores positivos para o índice de afloramento.

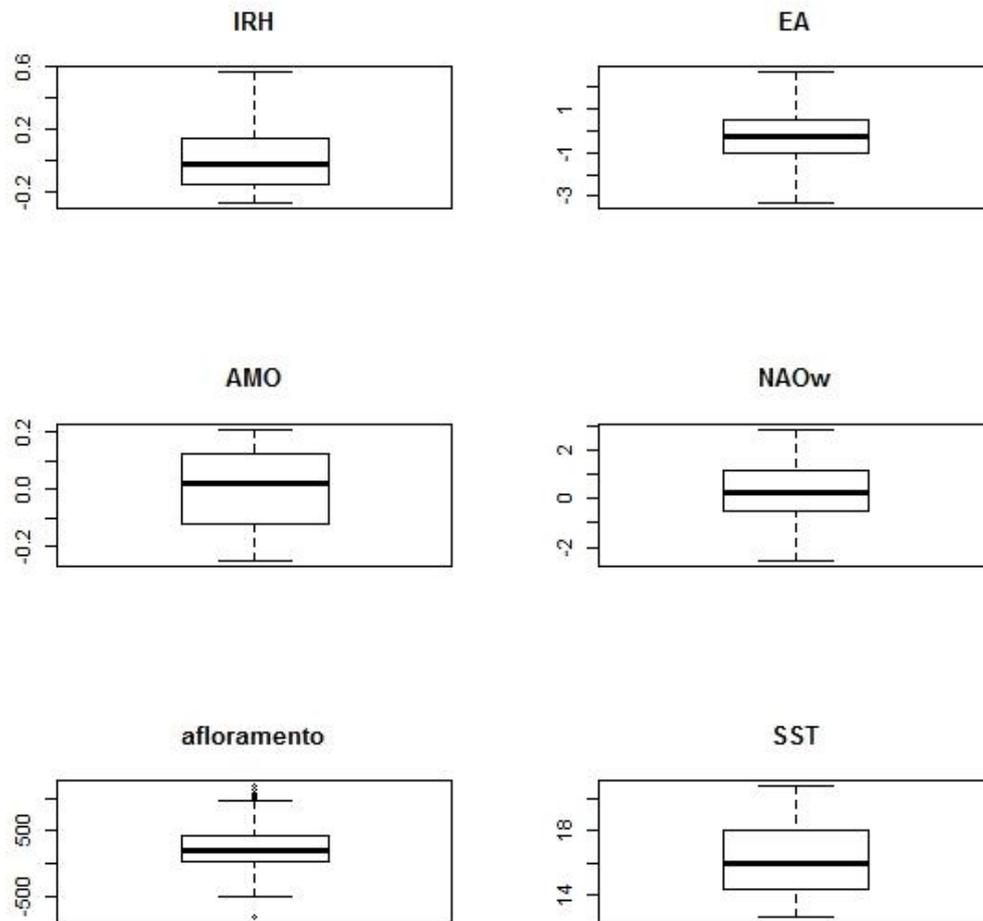


Figura 15 Gráficos “Box and Whisker” das diferentes séries de dados.

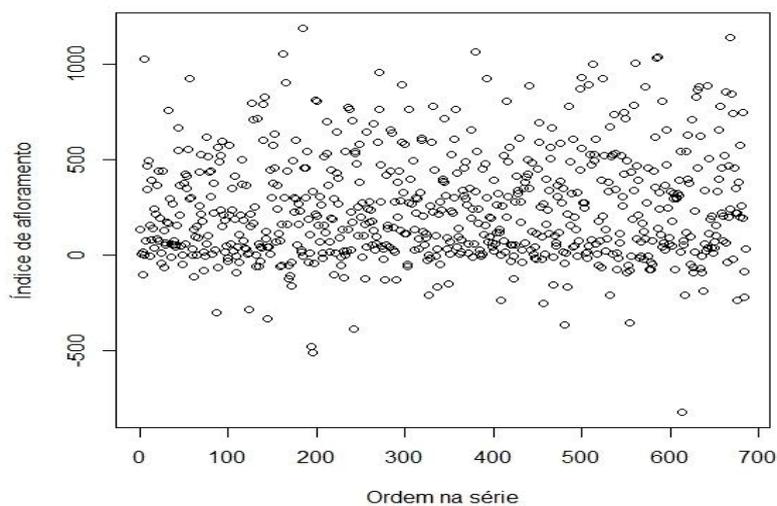


Figura 16 Gráfico de dispersão de pontos da série de dados do índice de afloramento. Os dados estão ordenados de Dezembro de 1949 a Dezembro de 2006.

4.2.1. Escolha das covariáveis

Utilizando modelos GAMM, com estrutura de variância do tipo AR1 foram observadas tendências e sazonalidades nas diferentes séries de dados ambientais e climáticos. O resumo do *output* dos diferentes modelos pode ser observado na tabela 5.

Nas séries de dados de temperatura superficial (SST, $F=387,60$ e $p<2e^{-16}$) e do índice de afloramento ($F=46,539$ e $p<2e^{-16}$) foi observado uma sazonalidade acentuada, com as SST mais altas a surgirem nos meses de Junho a Setembro e os valores mais altos do índice de afloramento a ocorrerem de Abril a Agosto (figura 17). Pode-se, também, observar uma tendência linear crescente nos dados de afloramento ($F=5,749$ e $p=0,0168$) e uma tendência crescente com um aumento do declive ao longo dos anos para os valores de SST ($F=20,16$ e $p=9,58e^{-10}$).

A mesma análise aplicada aos índices climáticos do padrão do Leste Atlântico (EA) e da Oscilação Multidecenal do Atlântico AMO não mostra sazonalidade significativa para ambas as séries de dados ($F=0,679$ e $p=0,41$, e $F=0,018$ e $p=0,895$, respectivamente; figura 18). Uma tendência linear crescente e acentuada pode ser observada nos dados EA, enquanto nos dados de AMO foi encontrada uma curva de tendência com períodos crescentes e decrescentes ($F=56,519$ e $p=1,51e^{-13}$, e $F=5447,400$ e $p<2e^{-16}$, respectivamente). Nos anos 40 a 60 o índice AMO apresenta valores positivos, e em meados dos anos 70 esses valores atingem os mínimos históricos. Desde os finais dos anos 70 até 2007 a tendência dos valores é crescente.

Tabela 5 Parâmetros das funções *smooth* da análise de sazonalidade e tendência das diferentes variáveis ambientais e climáticas. Parâmetros significativos para valores de $p<0,05$.

	fun. <i>smooth</i>	edf	F	p	r^2 ajust.
SST	s(mês)	8,586	387,600	<0,001	0,897
	s(ano)	2,240	20,160	<0,001	
Afloramento	s(mês)	7,385	46,539	<0,001	0,339
	s(ano)	1,000	5,749	0,017	
EA	s(mês)	1,000	0,679	0,41	0,078
	s(ano)	1,000	56,519	<0,001	
AMO	s(mês)	1	0,018	0,895	0,99
	s(ano)	8,998	5447,4	<0,001	
NAOw	s(ano)	3,195	1,864	0,129	0,0971

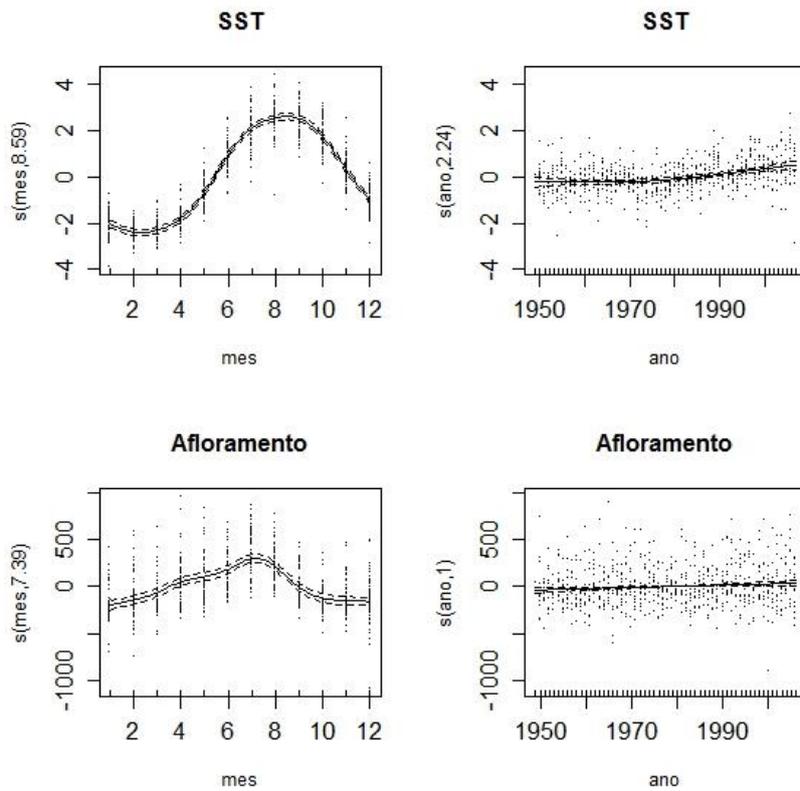


Figura 17 Sazonalidade e tendências nas séries de dados de SST e afloramento, obtidas de funções *smooth*. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

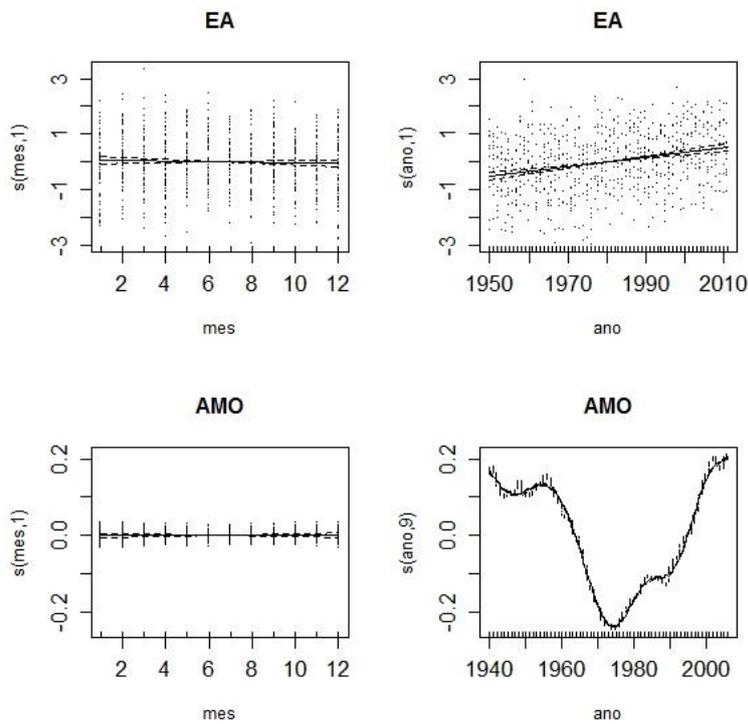


Figura 18 Sazonalidade e tendências nas séries de dados dos EA e AMO, obtidas de funções *smooth*. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

Para a série de dados do índice da Oscilação do Atlântico Norte de Inverno (NAOw) não foi possível a análise de sazonalidade, dado ser uma série de médias de Inverno.

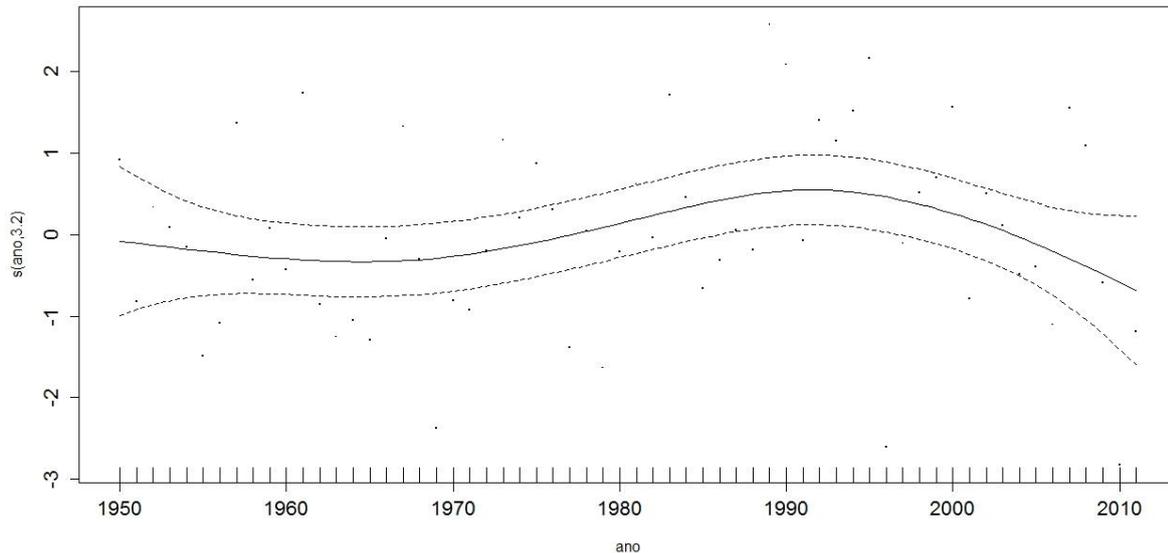


Figura 19 Tendência a longo termo do índice de NAOw, obtida de funções *smooth*. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

A análise da tendência (figura 19) mostra um padrão de oscilação ao longo dos anos, apesar de esta não ser significativa ($F=1,864$ e $p=0,129$), com o período entre os anos de 1980 e 2000 a apresentar tendências para valores positivos do índice NAOw, enquanto nos períodos entre 1950 e finais dos anos 70 e de início dos anos 2000 até 2011, o índice apresenta uma tendência para valores negativos.

Foi decidido utilizar na análise da relação do índice de recrutamento histórico com as variáveis ambientais e climáticas as séries das médias de Inverno e Verão para os dados de afloramento e SST (SSTw, SSTs, aflo.w e aflo.s), a série de média de Inverno da NAO (NAOw) e as séries de médias anuais de AMO e EA (AMO.anual e EA.anual). Na figura 20 pode-se observar as diferentes séries finais das variáveis utilizadas na análise das relações entre o recrutamento e as variáveis ambientais e climáticas.

4.2.2. Procura de colinearidade entre as diferentes covariáveis

Da análise dos factores de inflação da variância (VIF) obteve-se a tabela 6. Para nenhuma variável explicativa foi ultrapassado o valor de 3 para o VIF. Sendo o valor mais alto de VIF encontrado para a série de SSTw (1,47).

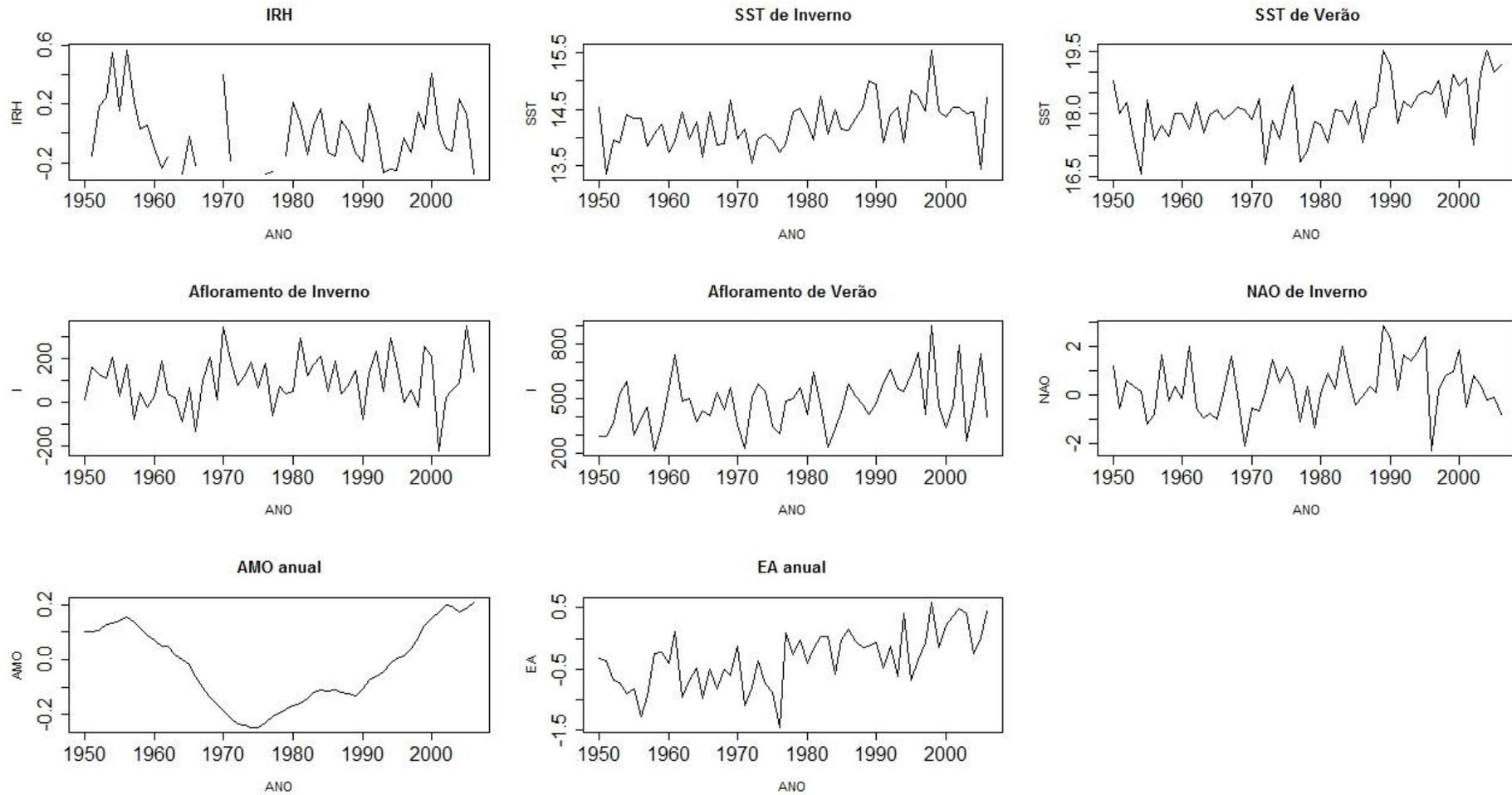


Figura 20 Séries temporais anuais das diferentes variáveis utilizadas na análise das relações entre o recrutamento e as variáveis ambientais e climáticas.

Tabela 6 Tabela com os valores de VIF para as diferentes covariáveis.

	NAOw	SSTw	SSTs	aflo.w	aflo.s	AMO.anual	EA.anual
VIF	1,187	1,473	1,310	1,277	1,312	1,090	1,231

Foi igualmente testada a correlação entre as covariáveis com a utilização do coeficiente de Pearson (r^2 , tabela 7). A maior correlação encontrada foi entre a série SSTw e a série EA.anual, com o valor de 0,344 ($p=0,009$).

Tabela 7 Tabela com os valores dos coeficientes da correlação de Pearson entre as diferentes séries explicativas. Valores com * são correlações significativas ($p<0,05$).

	NAOw	SSTw	SSTs	aflo.w	aflo.s	AMO.anual	EA.anual
NAOw	1,000*	0,110	0,187	0,239	0,067	-0,053	0,148
SSTw		1,000*	0,318*	-0,308*	0,198	0,123	0,344*
SSTs			1,000*	0,010	-0,215	0,269*	0,227
aflo.w				1,000*	0,049	-0,119	-0,035
aflo.s					1,000*	0,043	0,272*
AMO.anual						1,000*	0,224
EA.anual							1,000*

4.2.3. Correlações cruzadas entre as diferentes variáveis e a variável de resposta

A análise de correlações cruzadas, com a série IRH fixa como variável de resposta, apresentou uma correlação significativa sem desfasamento (figura 21) para a série de afloramento de Inverno (aflo.w). Enquanto que para a série de afloramento de Verão (aflo.s) é possível observar uma correlação para um desfasamento de 3 anos (figura 21).

Não foi encontrado nenhum desfasamento com uma correlação significativa para NAOw ou SSTs, apesar de uma correlação marginalmente significativa tenha sido encontrada para a SSTs sem desfasamento (figura 22). SSTw apresenta correlações marginalmente significativas para desfasamento de 3 e 5 anos (figura 22).

AMO.anual apresenta correlações significativas para desfasamento de 2 anos, 1 ano e sem desfasamento, sendo que a maior correlação é para o desfasamento de 1 ano (figura 23). Para série de médias anuais do índice EA (EA.anual) não foi encontrada nenhuma correlação significativa (figura 23). Não foi aplicado nenhum desfasamento às covariáveis em análises posteriores.

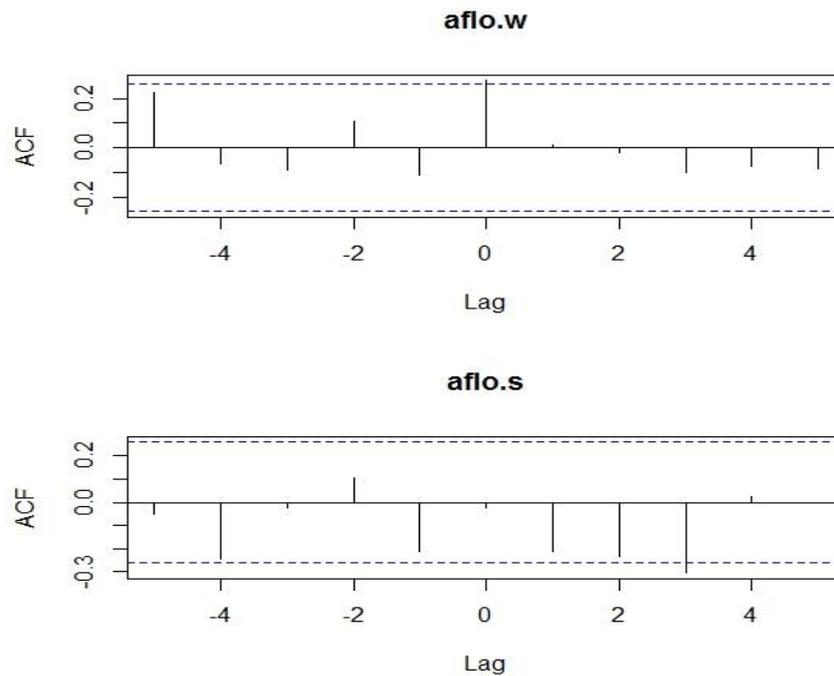


Figura 21 Análise de correlações cruzadas entre IRH e as covariáveis *aflo.w* e *aflo.s*. *Lag* representa o desfasamento em anos. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas.

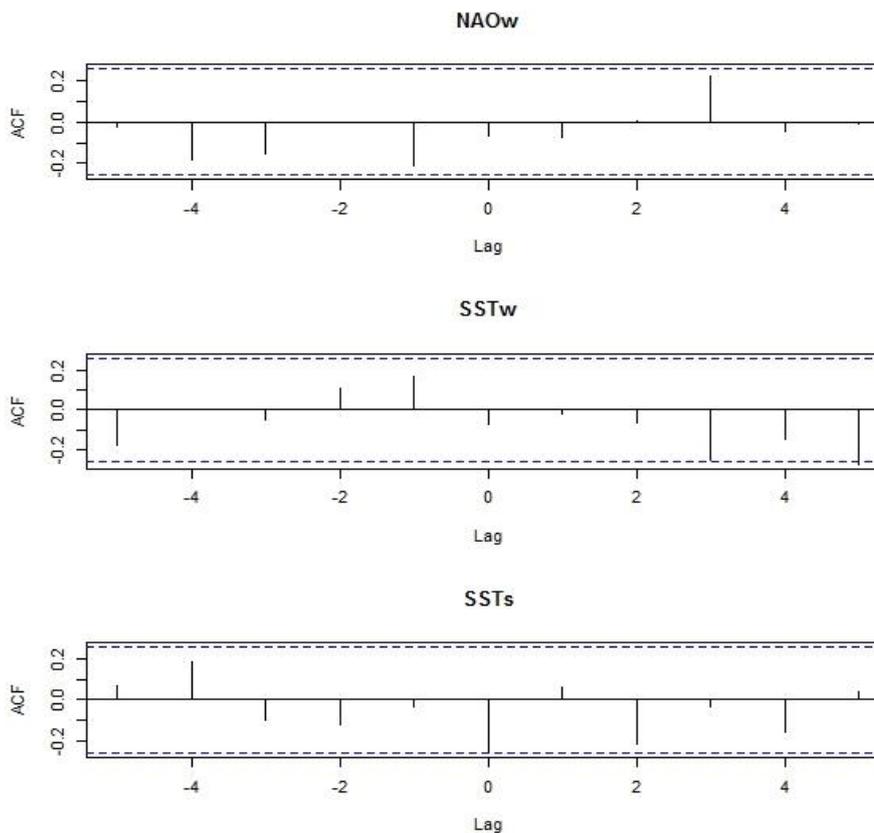


Figura 22 Análise de correlações cruzadas entre IRH e as covariáveis *NAOw*, *SSTw* e *SSTs*. *Lag* representa o desfasamento em anos. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas.

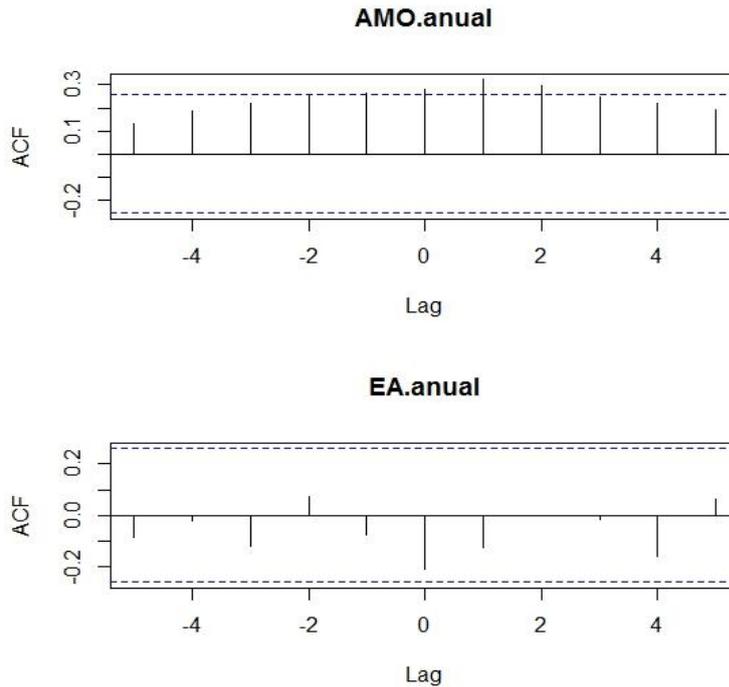


Figura 23 Análise de correlações cruzadas entre IRH e as covariáveis AMO.annual e EA.annual. *Lag* representa o desfasamento em anos. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas.

4.2.4. Construção do modelo

O modelo GAM inicial incluía todas as covariáveis escolhidas anteriormente:

$$\text{Modelo Inicial: } IRH = s(NAOw) + s(SSTw) + s(SSTs) + s(aflo.w) + s(aflo.s) + s(AMO.annual) + s(EA.annual)$$

Inicialmente foi atribuída a todas as covariáveis uma função de *smoothing* com um $k=4$, excepto para a covariável AMO.annual onde foi utilizado um $k=5$.

Aplicando o método de “*double penalty approach*”, ao modelo inicial, para selecção de variáveis obteve-se a figura 24, onde se pode observar que segundo este método as variáveis NAOw ($p=0,56$), SSTw ($p=0,39$) e aflo.s ($p=0,48$) não são significativas e foram por isso excluídas do modelo. O resumo do *output* do modelo inicial pode ser observado na tabela 8.

Assim, foi actualizado o modelo, no qual não foram incluídas as covariáveis sugeridas pelo passo anterior:

$$\text{Modelo 1: } IRH = s(SSTs) + s(aflo.w) + s(AMO.annual) + s(EA.annual)$$

Tabela 8 Parâmetros das funções *smooth* da análise do *output* do modelo inicial. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$.

	<i>edf</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>REML</i>	<i>AIC</i>	<i>Variância explicada</i>
s(NAOw)	4,78E-06	0,000	0,556	-8,436	-31,321	53,5%
s(SSTw)	8,60E-06	0,000	0,385			
s(SSTs)	6,95E-01	0,760	0,075			
s(EA.anual)	7,39E-01	0,944	0,052			
s(AMO.anual)	3,00E+00	7,597	1,98E-05			
s(aflo.s)	6,55E-06	0,000	0,485			
s(aflo.w)	1,02E+00	1,537	0,027			

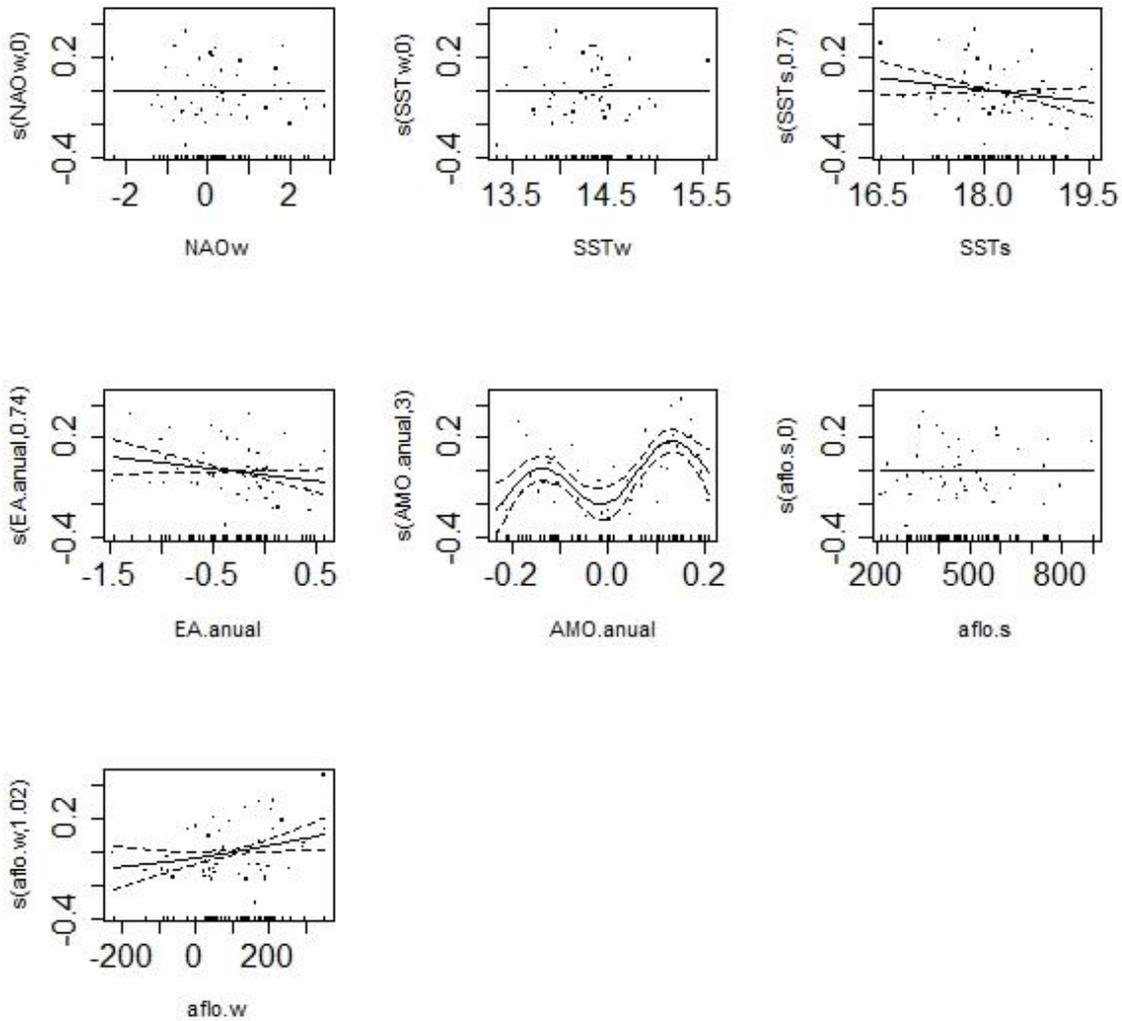


Figura 24 Gráficos das diferentes funções *smooth* obtidas do modelo GAM utilizando o método de “*double penalty*”. Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%. Pontos visíveis são os resíduos obtidos da função *smooth*.

Neste modelo 1 foram aplicadas funções *smooth* a todas as covariáveis. Os valores de *k* mantiveram-se do modelo inicial. O resumo do *output* do modelo 1 pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9 Parâmetros das funções *smooth* da análise do *output* do modelo 1. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$.

	<i>edf</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>REML</i>	<i>AIC</i>	<i>Variância explicada</i>
s(SSTs)	1,000	3,875	0,056	-3,520	-31,476	57,4%
s(EA.anual)	1,000	5,484	0,024			
s(AMO.anual)	3,775	8,960	2,38E-05			
s(aflo.w)	1,679	3,271	0,047			

As relações entre IRH e as covariáveis SSTs e EA.anual são lineares (figura 25), sendo que a influência de EA.anual na variação de IRH é significativa ($p=0,024$), enquanto que a influência da série de SSTs é apenas marginalmente significativa ($p=0,056$). AMO.anual e aflo.w têm relações não lineares com o IRH e a influência de ambas é significativa, $p=2,38e^{-05}$ e $p=0,047$, respectivamente).

No modelo final foram utilizadas as covariáveis SSTs, EA.anual, AMO.anual e aflo.w, sendo que às duas primeiras não foi aplicada uma função de *smooth* devido ao facto das relações entre IRH e SSTs e EA.anual serem lineares (não necessitando de funções *smooth*). Às restantes covariáveis foi aplicada uma função de *smooth* com $k=5$ e $k=4$, respectivamente. Os valores de p não se alteraram no modelo final em relação ao modelo 1 (acima descrito) excepto para o AMO.anual ($p=9,48e^{-05}$), com o modelo final a explicar 57,4% da variação de IRH. Um resumo do *output* do modelo final pode ser observado mais abaixo na tabela 10.

$$\text{Modelo final: IRH} = \text{SSTs} + \text{s(aflo.w)} + \text{s(AMO.anual)} + \text{EA.anual}$$

As relações lineares do modelo final (SSTs e EA.anual) são inversas (os valores mais baixos em ambas as séries correspondem valores maiores na série de IRH) e similares em declive (figura 25). As séries AMO.anual e aflo.w têm relações não-lineares com o IRH. O índice AMO.anual apresenta oscilações, sendo que a valores intermédios, tanto em fase positiva como em fase negativa, correspondem valores superiores de recrutamento, enquanto que a valores extremos de ambas as fases e os períodos de transição entre fases correspondem valores menores de recrutamento de sardinha.

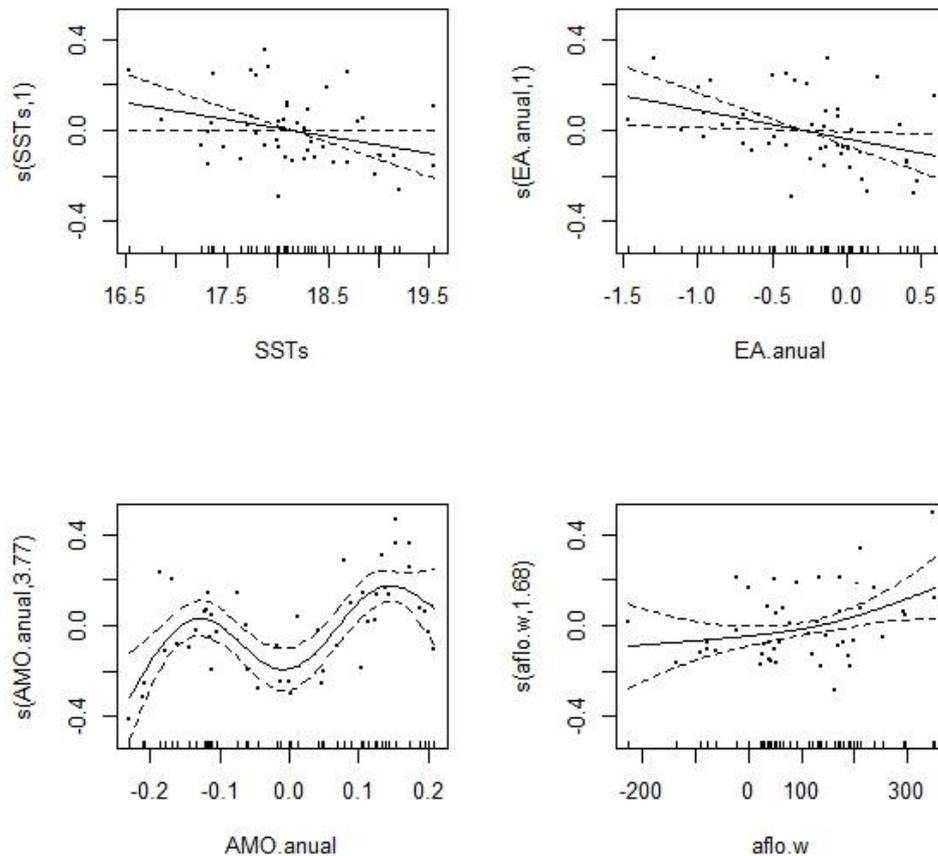


Figura 25 Gráficos das diferentes funções *smooth* do modelo 1 (GAM). Linhas a tracejado representam o intervalo de confiança de 95%.

Finalmente, analisando a relação não linear entre o IRH e o valor de *aflo.w* (figura 25) verifica-se que aos valores superiores do índice de afloramento de inverno correspondem valores mais elevados de recrutamento, sendo que esta relação aparenta um efeito acrescido para os valores no limite superior de afloramento.

A série de IRH prevista pelo modelo final entre 1950 e 2006 pode ser observada na figura 26. Em alguns anos, os picos de recrutamento previstos pelo modelo e os picos do IRH coincidem (e.g. 1954, 1956, 1984, 1991, etc), enquanto noutros os picos aparecem desfasados em, mais ou menos, um ano (e.g. 1980-81, 1986-87, 1998-99, 2004-05). Pode-se ainda observar que o modelo previu um período de baixo recrutamento para o período da década de 1970, embora a incerteza seja muito elevada. A correlação entre estas variáveis foi de 0,734.

Uma análise de autocorrelação nos resíduos do modelo final foi efectuada (figura 27). Nenhuma autocorrelação foi encontrada nos diferentes desfasamentos temporais.

A normalidade da distribuição e a homogeneidade da variância da variável de resposta (IRH), foram testadas na análise dos resíduos do modelo final (figura 28). Essa análise comprovou que a variável de resposta tem uma distribuição normal e que a homogeneidade da variância também pode ser assumida.

Tabela 10 Parâmetros das funções *smooth* da análise do *output* do modelo final. Parâmetros significativos para valores de $p < 0,05$.

	<i>edf</i>	<i>F</i>	t-student	<i>p</i>	<i>REML</i>	<i>AIC</i>	<i>Variância explicada</i>
SSTs			-1,969	0,056	-4,693	-31,476	57,4%
EA.anual			-2,342	0,024			
s(AMO.anual)	3,775	8,960		9,48E-05			
s(aflo.w)	1,679	3,271		0,047			

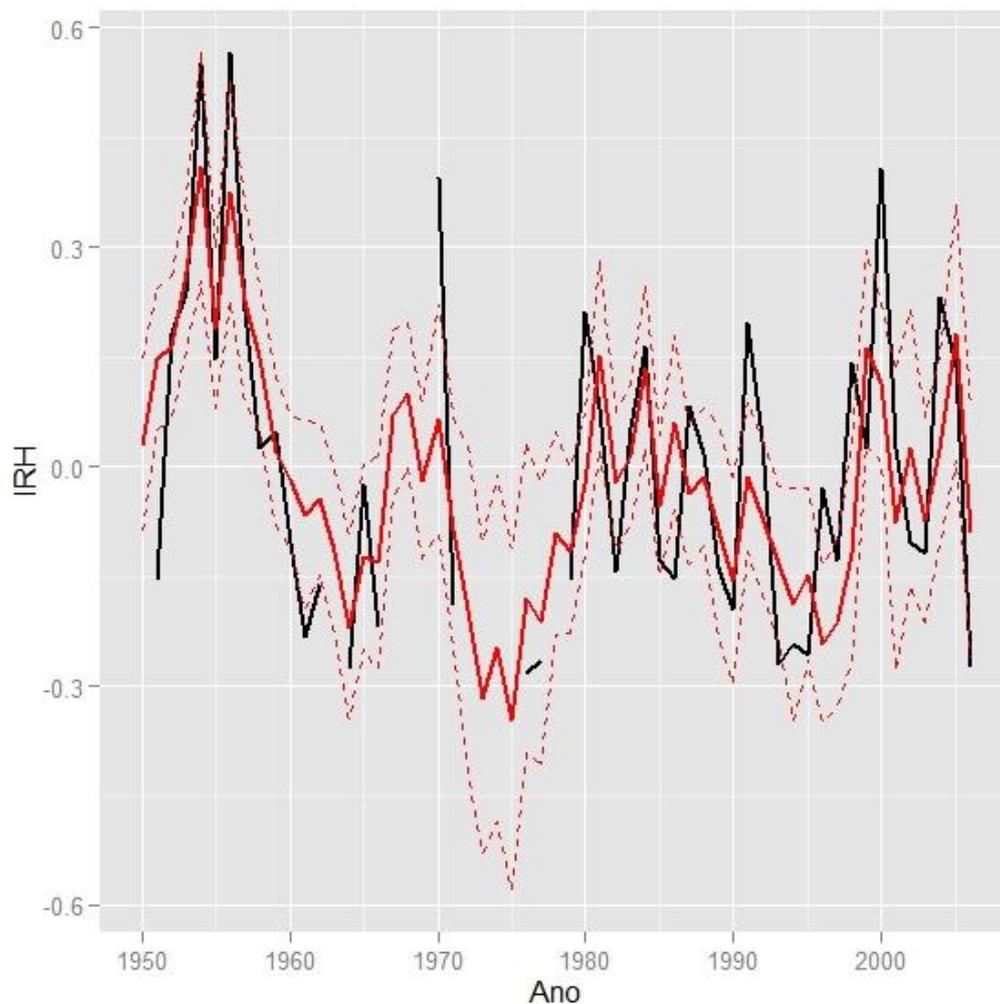


Figura 26 IRH para os anos de 1950 a 2006 (linha preta). Linha vermelha representa os valores previstos pelo modelo GAM final. Linhas tracejadas representam o intervalo de confiança de dois desvio padrão.

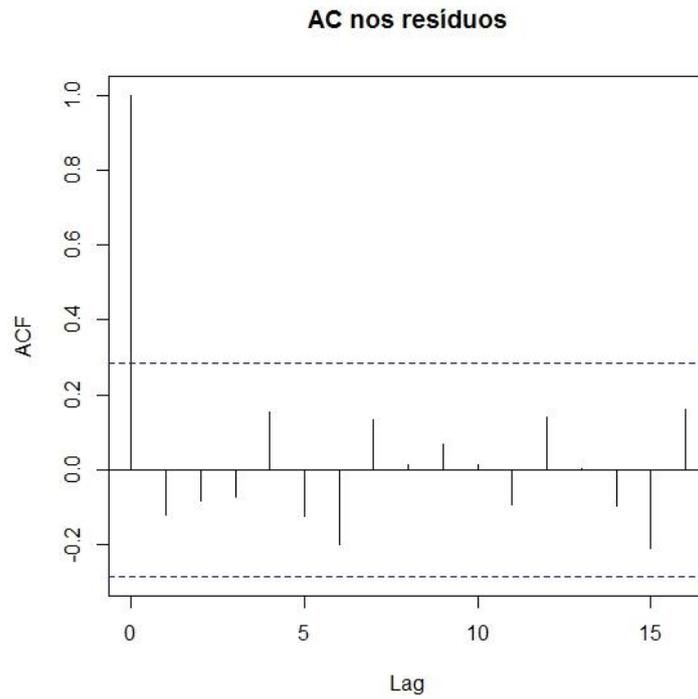


Figura 27 Análise de autocorrelação nos resíduos do modelo final. A linha tracejada representa o valor para o qual correlações que ultrapassem esse valor sejam significativas.

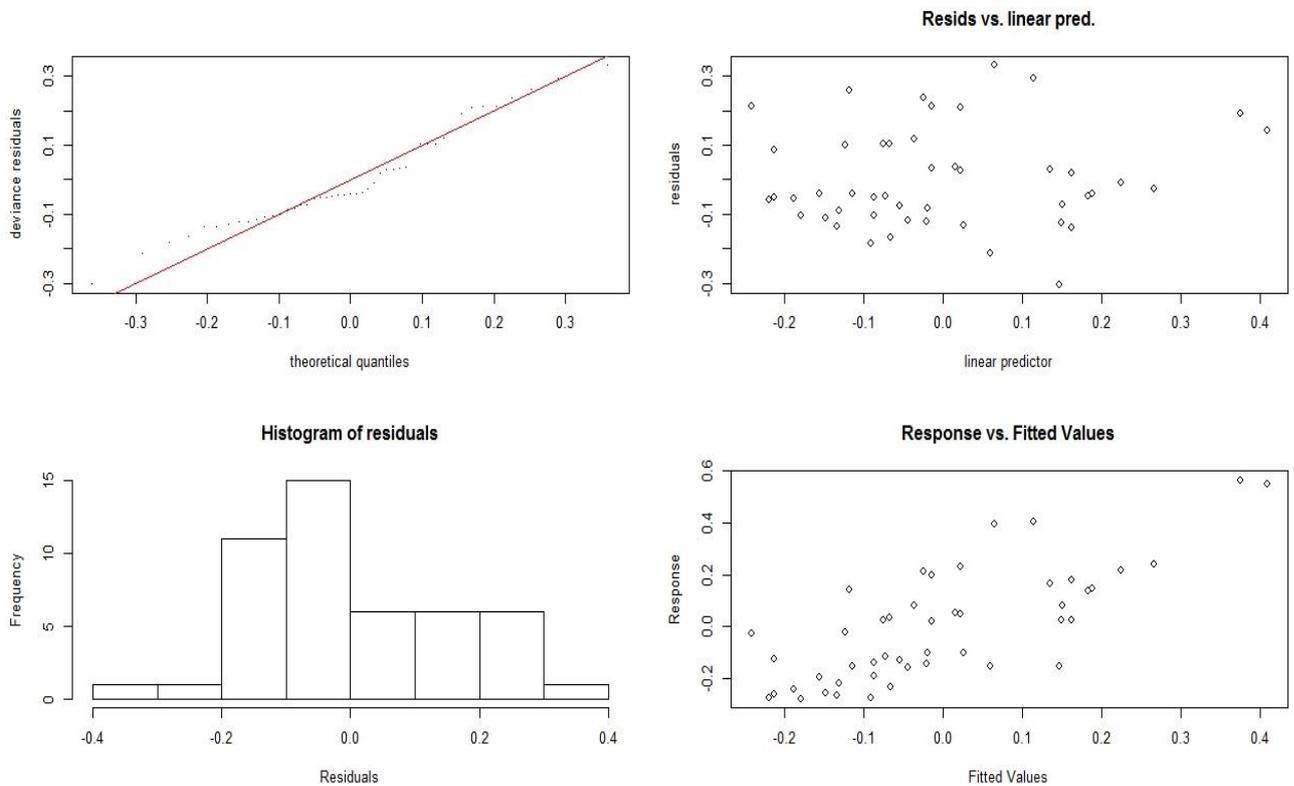


Figura 28 Gráficos resultantes da análise dos resíduos do modelo final (GAM).

5. Discussão

Neste trabalho desenvolveu-se um índice de recrutamento para a sardinha da costa Oeste de Portugal. Este foi definido como a proporção normalizada de indivíduos com comprimento menor ou igual a 14,5 cm para os anos até 1978, e 16 cm para os anos após 1978, nos 3.º e 4.º trimestres dos dados de desembarques de sardinha da frota de cerco nas zonas Norte e Centro de Portugal.

O recurso a “cortes”, ou limite máximo, em determinados comprimentos na tentativa de identificar e estimar a classe dos recrutas não é novidade na biologia pesqueira. Guisande *et al.* (2001), utilizaram este método na estimativa de recrutas capturados nos portos da Galiza, afirmando também que esta opção era válida, pois a frota pesqueira de sardinha nesses portos manteve-se relativamente constante durante o período analisado. Em Portugal, a frota de cerco variou muito ao longo do período analisado, tanto quantitativamente como qualitativamente (Mendes & Borges, 2006). Por outro lado, a diminuição do total desembarcado de sardinha ao longo do tempo (Mendes & Borges, 2006; ICES, 2011b; ICES, 2012b) também influencia os valores das estimativas de totais de indivíduos capturados calculados através do método descrito. Uma alternativa possível seria a utilização de dados com o esforço de captura incluído (dados captura por unidade de esforço – CPUE), mas a informação necessária para esse tipo de avaliação não está disponível para muitos dos dados anteriores a 1978. Desta forma, com o objectivo de mitigar essas diferenças ao longo do tempo, foi utilizada a proporção de recrutas no total capturado e não a estimativa do seu número total. Considera-se que esta definição torna o índice independente das variações anuais dos desembarques, mas não de alterações marcadas na selectividade da pescaria.

Alguma variação, ao longo do período aqui estudado, na selectividade da pesca poderá ter ocorrido, dado a frota de cerco ter sofrido alterações qualitativas ao longo do tempo (Mendes & Borges, 2006) o que poderá ter levado a que essas embarcações pescassem em zonas mais afastadas da costa (relativamente às embarcações menos modernas), onde se encontra uma maior percentagem de indivíduos adultos (Pestana, 1989), baixando a proporção de indivíduos de menor tamanho nos totais desembarcados. Tal acontecimento poderia explicar algumas das diferenças entre o recrutamento indicado pelo IRH para períodos mais antigos e mais recentes (figura 12).

No desenvolvimento do IRH, a escolha dos “cortes” por nós usada, 16 cm, e respectivos 14,5 cm para os comprimentos à furca, para a estimativa do IRH está de acordo com a escolha de Marques (2005), apesar dos resultados para a análise dos dados dos anos mais recentes (pós 1978) apontarem para uma melhor estimativa de recrutas no “corte” de 15,5 cm. Sendo a diferença entre o “corte” a 15,5 e a 16 cm pequena, a diferença

entre os coeficientes de correlação com a estimativa de recrutas a partir das chaves de comprimento-idade é também pequena, 0,89 e 0,84, respectivamente. Por outro lado, o “corte” a 16 cm poderia até ser considerado insuficiente, pois foram amostradas sardinhas com o comprimento máximo de 16,5 cm capturadas em Novembro de 2004 (Silva *et al.*, 2012) pertencendo a um conjunto de amostras mais vasto, no período entre Junho de 2004 e Janeiro de 2005, no Norte de Portugal, onde foram estimadas idades entre 103 e 269 dias (portanto indubitavelmente indivíduos de idade 0). A escolha dos “cortes” de 16 cm nos dados pós 1978 e o respectivo comprimento à furca (14,5 cm) para os anos de 1947 a 1978 demonstrou ser uma boa escolha para a estimativa do número de recrutas para os diferentes anos.

A opção de contabilizar o total de indivíduos até aos “cortes” decididos apenas nos 3.º e 4.º trimestres de cada ano também é apoiada pela literatura existente. Segundo Pestana (1989), o recrutamento à pesca inicia-se no 3.º trimestre e prolonga-se até ao 2.º trimestre do ano seguinte, com dois picos de recrutamento. O primeiro entre Agosto e Novembro e o segundo, bastante mais fraco, de Fevereiro a Abril. Essa informação não está de acordo com os resultados por nós obtidos da análise da proporção de recrutas nas zonas Norte e Sul (figuras 8 e 10) onde apenas se observa um pico de recrutamento, estando essa diferença, provavelmente, relacionada com a agregação dos dados por trimestres. Por seu lado, Guisande *et al.* (2001) confirmam que os primeiros recrutamentos à pesca, para o Norte da Galiza, ocorrem cerca de 5 a 6 meses depois da desova produzindo assim 2 picos de recrutamento, em Janeiro/Fevereiro e Junho/Julho. Para melhor compreender esta sequência, é relevante considerar que os indivíduos com idade 0 capturados na zona Norte, nos meses de Julho, Setembro e Novembro (3.º e 4.º trimestres) de 2004 nasceram entre Dezembro de 2003 e Abril de 2004 (Silva *et al.*, 2012).

Resultados de Silva *et al.* (2006) apontam para que em sardinhas capturadas de Novembro a Maio na costa Portuguesa, os indivíduos com idade 1 apresentavam comprimentos entre 14,2 cm (mínimo estimado para a zona Norte) e 16,4 cm (máximo estimado para a zona Sul). O que permite supor que esses indivíduos com idade 1 teriam nos 3.º e 4.º trimestres seguintes comprimento médio superior a 16 cm e, portanto, peixes com 16 cm ou menos nesses trimestres serão maioritariamente indivíduos com idade 0. Apesar de não ter sido possível obter resultados da análise de sazonalidade na zona Centro, uma correlação entre os picos de recrutamento da zona Centro e zona Norte foi descrita por Silva *et al.* (2009), o que permite supor que as épocas de recrutamento serão semelhantes em ambas as zonas.

As principais áreas de desova apontadas para a Península Ibérica são a costa Norte de Espanha (Golfo da Biscaia), costa Noroeste da Península Ibérica (Galiza e Norte de

Portugal) e Golfo de Cádiz no Sul de Espanha (Bernal *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2012). Pestana (1989) descreve que na costa Oeste de Portugal os recrutas (idade 0 e 1) se distribuem preferencialmente entre Caminha e Nazaré. E Silva *et al.* (2009) apontam para o Sul da Galiza, Norte de Portugal e o Golfo de Cádiz como sendo as principais áreas de recrutamento à pesca (maior percentagem de indivíduos jovens, idade 1 e 2), com a zona do estuário do Tejo e Sado a mostrar também uma grande concentração de juvenis. As diferentes séries de IRH da figura 7 não são contraditórias com a informação sobre as áreas recrutamento mencionadas na bibliografia. De facto, analisando os anos a partir de 1989 e 1990 (quando se verificou a deslocação da amostragem dos portos de Lisboa/Cascais/Sesimbra para Peniche e de Olhão para Portimão), nas zonas Centro e Sul respectivamente, é possível observar uma diminuição no IRH e uma atenuação dos picos de recrutamento, o que aponta para que nos portos amostrados no período mais recente a captura de recrutas seja em menor proporção. Isto torna difícil a comparação da proporção de recrutas entre zonas e/ou entre diferentes períodos da mesma zona, dado a origem das amostras utilizadas no cálculo do IRH ser de portos de áreas com possibilidade de serem ecologicamente diferentes. Portanto, seleccionar os portos que espacialmente coincidem ou estão próximos das zonas de recrutamento foi uma decisão correcta.

O índice de recrutamento desenvolvido neste trabalho parece ser um bom indicador do recrutamento histórico da sardinha (figura 12). Quando comparado com dados independentes de cruzeiros de investigação num período recente (1995-2011), mostra uma correlação moderada, 0,60 ($p=0,00016$, $n=18$), com a abundância de recrutas estimada para as zonas Norte e Centro, e mais elevada, 0,70 ($p=1,672e^{-05}$, $n=18$) com a abundância de recrutas estimada para a zona Norte. O recrutamento de 2004, estimado como muito elevado nos cruzeiros não foi incluído nesta relação, dado não ser captado com a magnitude comparável nos dados da pescaria. Existem algumas explicações possíveis para esta situação: a pescaria tende a evitar o desembarque de indivíduos pequenos em grande quantidade, por questões legais (tamanho mínimo de desembarque) e comerciais (preferência por tamanhos intermédios que preservam mais facilmente a qualidade), entre outras.

Marques (2005) obteve uma correlação de 0,96 quando comparou o número de indivíduos de idade 0 estimados pelos cruzeiros de investigação, na zona Norte em Novembro, com o total de indivíduos com comprimento igual ou inferior a 16 cm, para cada ano das mesmas campanhas. É importante referir que nessa comparação, quer as estimativas do número de indivíduos menores que 16 cm quer as estimativas do número de indivíduos com idade 0 são oriundas apenas da informação recolhida nesses cruzeiros, enquanto na comparação por nós efectuada entre o IRH e os dados de cruzeiros, os dados

têm origem em fontes independentes. Sendo assim, é normal a existência de uma maior discrepância nos dados.

O IRH quando comparado com as séries de recrutamento estimadas pelo ICES (figuras 3 e 4; ICES, 2012c; ICES, 2013) para o mesmo período de 1978 a 2012, apresenta uma similaridade muito positiva, com os picos de recrutamento nos anos de 1980, 1987, 1991, 1996, 1998, 2000, 2004 e 2009 a serem coincidentes, entre as diferentes séries. Um pico de recrutamento em 1983 é apontado pelas séries estimadas pelo ICES, enquanto o IRH aponta para um bom recrutamento em 1983, mas com o pico a ser em 1984. O único pico de recrutamento apontado pelas séries do ICES e que não foi observado no IRH foi o recrutamento de 2011. Considerando que nas estimativas de recrutamento do ICES todo o *stock* Ibérico foi considerado, enquanto o IRH apenas considera a Costa Oeste Portuguesa, diferenças na intensidade dos picos são de esperar, apesar que de uma forma geral recrutamentos fortes são apontados como tal tanto no IRH como no ICES, incluindo o recrutamento de 2004, que sendo apontado pelas estimativas do ICES como o último grande recrutamento, no IRH está apontado como estando ao nível do recrutamento de 2009 e inferior ao de 2000. Recrutamentos particularmente fortes ou fracos nas zonas de Golfo de Cádiz e Sul de Portugal e Golfo de Biscaia poderão estar na origem da diferença entre as séries de recrutamentos, dado que em anos de recrutamento forte na costa Oeste Portuguesa e recrutamento baixo nas restantes zonas deverá aparecer na análise do *stock* Ibérico como um recrutamento intermédio.

Assim sendo, o IRH demonstra ser um bom indicador de picos de recrutamento e da sua intensidade ao longo dos anos para a costa Oeste de Portugal ao longo do período (1947-2012) estudado no presente trabalho.

De uma forma semelhante, as tendências decrescentes na intensidade média dos recrutamentos apontados nos diferentes estudos (e.g. Santos *et al.*, 2012; ICES, 2013), será uma consequência da combinação do total de recrutamento nas diferentes zonas de desova para o *stock* Ibérico. O que aponta, segundo o IRH, para que na costa Oeste Portuguesa a intensidade média do recrutamento se tenha mantido constante, enquanto nas restantes zonas esta apresenta uma tendência decrescente.

A sazonalidade e a tendência encontradas para a série de temperaturas superficiais (SST) estão concordantes com os resultados apontados para a sazonalidade das SST nas zonas Norte de Portugal e Sul da Galiza (figura 17; Santos *et al.*, 2001; Coombs *et al.*, 2006) e a mesma tendência crescente da SST ao longo dos anos foi observada, para a mesma área, por Lemos & Pires (2004), Santos *et al.* (2007) e Relvas *et al.* (2009). Resultados semelhantes, no que refere à tendência geral das SST, foram obtidos para as

águas na costa do Sul da Galiza (Bode *et al.*, 2006), no Golfo de Biscaia (Huret *et al.*, 2013), e mais a norte na costa Atlântica Irlandesa (Cannaby & Hüsrevoğlu, 2009).

O padrão da sazonalidade intra-anual do índice de afloramento obtido (figura 17) é muito semelhante ao padrão descrito para a costa Noroeste da Península Ibérica por outros autores (Fiúza *et al.*, 1982; Alvarez *et al.*, 2011). Uma tendência positiva na intensidade media anual dos fenómenos de afloramento para os meses de Abril e Setembro, na costa Noroeste da Península Ibérica, foi encontrada (Alvarez *et al.*, 2011). De forma semelhante, tendências positivas nos fenómenos de afloramento nos meses de Inverno são também apontadas para a costa Noroeste da Península Ibérica (Santos *et al.*, 2001). Estes resultados vão de encontro à tendência positiva na intensidade do índice de afloramento, ao longo dos anos, obtida no presente estudo (figura 17). Numa análise semelhante, nenhuma tendência foi encontrada para o índice de afloramento por Santos *et al.* (2012). Por seu lado, de forma contraditória, uma tendência negativa na intensidade dos fenómenos de afloramento, principalmente entre os meses de Abril a Setembro, foi indicada para a costa Noroeste de Portugal (Lemos & Pires, 2004; Lemos & Sansó, 2006).

EA e AMO são índices de variabilidade climática de larga escala e baixa frequência (Barnston & Livezey, 1987; Enfield *et al.*, 2001), sendo, por isso, normal a não existência de uma sazonalidade intra-anual marcada nesses mesmos índices (figura 18) tal como foi verificado neste trabalho.

Uma tendência linear positiva, ao longo dos anos, no índice de EA de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) foi observada por Salmaso & Cerasino (2012), e estes reportam que em estudos anteriores tendências semelhantes foram observadas por diferentes autores para o mesmo índice ([Woolf *et al.*, 2002; Conrad *et al.*, 2003; Josey & Marsh, 2005] in: Salmaso & Cerasino, 2012). Também Borja *et al.* (2008) indicam uma tendência positiva para o índice de EA de Primavera-Verão (Março a Julho). Portanto, não é de estranhar que uma tendência positiva nos valores médios anuais de EA tenha sido encontrada no presente estudo (figura 18).

O padrão de variação ao longo dos anos obtido para o índice de AMO (figura 18) é muito semelhante ao descrito por outros autores (e.g. Enfield *et al.*, 2001; Sutton & Hodson, 2005), onde se mostra que entre finais dos anos 30 até meados dos anos 60 do século passado o índice de AMO se encontrava numa fase quente, passando para uma fase fria entre meados dos anos 60 até finais dos anos 90, e voltando a uma fase quente desde finais dos anos 90.

O padrão de oscilação obtido para a variação do índice NAO de Inverno (Dezembro a Março) (figura 19), apesar de não mostrar diferenças interanuais significativas, está concordante com os resultados obtidos em diferentes estudos, onde os períodos das fases

descritas coincidem com as fases por nós observadas (Hurrell *et al.*, 2003; Stenseth *et al.*, 2003; Bode *et al.*, 2006; Hurrell & Deser, 2010; Hughes *et al.*, 2012).

A decisão de separar as séries de dados do índice de afloramento e SST em duas séries, Inverno e Verão, permitiu procurar efeitos diferenciais destas duas variáveis no recrutamento de sardinha, pois, dada a clara sazonalidade existente nas duas séries, tendências positivas em diferentes períodos do ano poderão ter consequências muito diferentes no recrutamento, seja por afectarem (no crescimento e/ou na mortalidade) as populações de sardinha ainda em ovos ou no estado larvar, ou já como juvenis, seja por afectar as relações tróficas.

Pela razão inversa, não havendo sazonalidade naqueles índices, qualquer escolha de séries mensais para o cálculo das médias anuais para os índices de EA e AMO aparenta ser igualmente razoável.

Os baixos valores de VIF (tabela 6) obtidos para as diferentes variáveis ambientais e climáticas permitem uma maior confiança nos resultados dos modelos onde foram utilizadas como variáveis explicativas, pois apontam para a quase independência total das covariáveis, já que valores de VIF=1 significam correlações zero entre cada uma das covariáveis e o conjunto das restantes covariáveis, garantindo assim uma não inflação da estimativa da variância obtida.

De uma forma complementar, os valores de coeficientes de correlação de Pearson obtidos para as relações entre cada uma das covariáveis consideradas (tabela 7), são relativamente baixos, o que vai de encontro aos valores de VIF observados. As correlações negativas entre os índices de afloramento de Inverno e SST de Inverno e os índices de afloramento de Verão e SST de Verão, vão de encontro aos resultados sugeridos em diferentes estudos (e.g. Fiúza *et al.*, 1982 e Peliz & Fiúza, 1999), onde as águas mais frias provenientes dos fundos oceânicos são apontadas como a cauda da diminuição da temperatura das águas.

Correlações significativas, entre o índice de recrutamento e variáveis ambientais e climáticas, com desfasamentos superiores ou iguais a 2 anos terão pouca ou nenhuma influência no recrutamento de espécies como a sardinha (pequenos pelágicos) com estratégias tipo R, dado a sobrevivência dos ovos e larvas destas espécies estar intrinsecamente ligada com o sucesso do recrutamento e esta estar igualmente muito dependente das condições ambientais encontradas nos períodos de desova e desenvolvimento larvar dos respectivos anos (Cury & Roy, 1989; Santos *et al.*, 2005a, Lehodey *et al.*, 2006; Baumann *et al.*, 2008; Alheit *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2012). Tendo em conta esse facto, apenas as correlações significativas com um desfasamento de 1 ano terão possível significado biológico na análise da relação do recrutamento com factores

ambientais e climáticos. Assim sendo, nas análises abaixo, foi usado esse critério para selecção da relevância das relações.

As correlações positivas obtidas para as relações sem desfasamento e com desfasamento de 1 e 2 anos, entre a série do índice de recrutamento histórico e a série de médias anuais do índice de AMO (figura 23) foram significativas, podendo ainda ser possível observar um padrão nas correlações com diferentes desfasamentos. Uma possível explicação para este padrão obtido na análise das correlações cruzadas entre as séries de IRH e AMO.anual poderá advir do método utilizado para calcular o índice de AMO (Enfield *et al.*, 2001), onde a utilização de valores de médias móveis (“*running mean*”) de períodos de 10 anos foi o método optado. Assim sendo, os valores médios para o índice de AMO entre os diferentes anos consecutivos terão pequenas diferenças. Implica, também, que numa análise de correlação cruzada criará um padrão semelhante ao por nós encontrado, onde nos desfasamentos imediatamente anteriores e posteriores ao valor máximo obtido para a correlação se seguem valores progressivamente mais baixos para essa correlação.

Tendo em conta a influência da condição física dos adultos na qualidade dos ovos (Stratoudakis *et al.*, 2007; Gantias *et al.*, 2009; Nunes *et al.*, 2011), correlações significativas com um ano de desfasamento entre as séries de SST e afloramento de Verão também seriam de esperar, dado estes factores ambientais estarem relacionados com a disponibilidade de alimento (Peliz & Fiúza, 1999). Contudo, os dados aqui revelados não apresentam correlações significativas (figuras 21 e 22).

Na análise final da relação entre os factores ambientais e climáticos e o índice de IRH, não foi aplicado nenhum desfasamento temporal às séries de dados das covariáveis, apesar do desfasamento com 1 ano para AMO.anual mostrar correlação mais elevada que sem desfasamento. Sendo ambas as correlações significativas decidiu-se não aplicar um desfasamento neste índice, harmonizando a metodologia com as restantes covariáveis.

Numa primeira abordagem foram usadas como covariáveis no modelo GAM três variáveis de larga escala (AMO, EA e NAO) e duas locais (SST e afloramento, divididas em séries de Verão e Inverno).

A esse modelo foi aplicado um método para selecção de covariáveis (“*double penalty approach*”, proposto por Marra & Wood (2011), apontado como eficaz quando comparado com outros métodos anteriormente propostos, mais complexos. Não tendo sido aplicado outro método complementar de selecção de covariáveis, não é possível julgar a qualidade dos resultados do método utilizado. Contudo, das sete covariáveis apenas quatro resistiram à análise, e todas estas últimas são apontadas pelo procedimento como importantes para o modelo, o que parece apoiar o método “*double penalty approach*” na escolha de covariáveis mais importantes de um conjunto inicial mais numeroso.

As quatro covariáveis contempladas no modelo final foram as médias anuais para os índices de AMO e EA, a média de temperaturas superficiais do oceano no Verão e a média do índice de afloramento de Inverno. Para todas foi obtido um efeito significativo na variação do índice de IRH. Nesse modelo final, com as quatro covariáveis, são explicados 57,4% da variação da série de IRH, que é um valor relativamente alto. Apesar deste valor representar uma estimativa da qualidade do ajuste e não uma medida de poder de previsão do recrutamento (Santos *et al.*, 2012).

O AMO é apontado no modelo final como o factor com maior influência na variação do IRH ($p=2,38e^{-05}$), e sendo o AMO um padrão de variabilidade natural da temperatura da superfície do mar (SST) à escala do Atlântico Norte (entre as latitudes 0° e 70° N) com um período de várias décadas (Enfield *et al.*, 2001; McCabe *et al.*, 2004), não é de todo improvável que este fenómeno tenha influência no recrutamento de sardinha. De facto, o AMO está associado ao aumento da SST e diminuição da precipitação na zona Atlântica e, conseqüentemente, ao caudal dos rios e conseqüentes descargas para o oceano (Sutton & Hodson, 2005; Knight *et al.*, 2006; Zhang & Delworth, 2006). Ora, estes fenómenos podem ser relacionados com a dinâmica populacional dos pequenos pelágicos, como mostram Peliz & Fiúza, 1999, Lloret *et al.* (2004), Ramos *et al.* (2009) e Martín *et al.* (2012).

A relação entre AMO e IRH obtida pelo modelo final tem um formato muito particular (figura 25), onde valores intermédios tanto da fase fria como da fase quente de AMO aparentam favorecer o recrutamento na sardinha. Fases com médias de temperatura mais elevadas ou mais baixas e os anos de transição entre fases são apontados como sendo prejudiciais ao recrutamento. Este fenómeno poderá estar relacionado com os limites de tolerância da sardinha à temperatura e com a possibilidade de existência de diferentes intervalos ambientais óptimos resultantes de diferentes interacções entre a AMO e outras variáveis ambientais e climáticas. Martinez *et al.* (2009) descrevem como a concentração de clorofila no Atlântico Norte está correlacionada com a variação da AMO, afirmando que a correlação entre as SST e concentração de clorofila varia entre as fases quentes (correlação negativa) e frias (correlação positiva) da AMO. Assim, a janela entre temperatura óptima e alimento disponível pode ocorrer em diferentes intervalos nas fases quentes e frias do AMO. De forma semelhante, os diferentes efeitos da AMO, descritos anteriormente, tais como aumento de períodos de secas e SST, também poderão interagir com outros factores ambientais e climáticos, podendo os seus efeitos no recrutamento da sardinha serem mitigados ou ampliados consoante as diferentes interacções consideradas.

O índice de EA é igualmente apontado pelo modelo final como sendo um factor a considerar na avaliação do recrutamento, onde a valores superiores de EA correspondem a valores inferiores de IRH (figura 25). Uma relação semelhante foi encontrada para o

recrutamento na população de biqueirão (*Engraulis encrasicolus*) no Golfo de Biscaia (Borja *et al.*, 2008). Poucos estudos foram realizados sobre o efeito do EA nas diferentes comunidades marinhas, comparando com estudos de outros índices climáticos como NAO, (Borja *et al.*, 2008). Uma explicação possível para os efeitos do EA no recrutamento de sardinha, poderá vir dos efeitos desta variável nas condições ambientais locais. Borja *et al.* (2008) descrevem que para períodos negativos do EA estão associados ventos de nordeste e processos de afloramentos fracos para a costa Norte da Península Ibérica e a períodos positivos estão associados ventos de sudoeste e *downwelling*, o que poderá condicionar a abundância de alimento disponível em períodos positivos do índice.

O índice de afloramento de Inverno a influenciar positivamente o recrutamento de sardinha (figura 25) está concordante com os resultados de outros estudos onde esta relação foi analisada (Santos *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2012). Apesar de episódios de afloramento no Inverno, em plena época de desova (Stratoudakis *et al.*, 2007), terem sido anteriormente referenciados como tendo efeitos negativos no recrutamento (Bakun, 1996) devido ao transporte para águas abertas dos ovos e larvas e consequente desfasamento espacial com o alimento, Santos *et al.* (2004) defendem que apesar desse transporte para mar aberto dos ovos de sardinha, a interacção com outras correntes existentes ao longo da costa da Península Ibérica poderá criar zonas de convergência ao longo da costa onde uma alta concentração de ovos e larvas de sardinha e fitoplâncton e zooplâncton (alimento das larvas, Garrido *et al.*, 2007) pode ser encontrada, originando desta forma zonas ao longo da costa onde o alimento está disponível para as larvas permitindo o seu crescimento saudável.

A correlação negativa encontrada entre IRH e as SST (figura 25) de Verão poderá estar relacionada com o efeito positivo da temperatura mais elevada em predadores de sardinha, tanto de indivíduos no estado larvar como de adultos e juvenis, ou com o favorecimento de competidores directos da sardinha (e.g. outros pequenos pelágicos). Cury *et al.* (2000) relatam que quando compararam quatro espécies de pequenos pelágicos em diferentes pontos do globo, observaram que cerca de 73% da mortalidade por predação nestas era devida a predação natural (grandes pelágicos, mamíferos marinhos, aves marinhas, etc.) e apenas os restantes 27% da mortalidade por predação eram devidos às pescas. O robalo (*Dicentrarchus labrax*) um dos maiores pelágicos na costa Europeia, tem como principais presas pequenos peixes pelágicos, incluindo a sardinha (Spitz *et al.*, 2013). E sendo as temperaturas óptimas de crescimento do robalo entre 22 e 25°C (Dülger *et al.*, 2012), um aumento de temperatura parece favorecer um dos possíveis principais predadores de sardinha. Isto permite supor que qualquer alteração ambiental que favoreça o predadores de sardinha, poderá ter efeitos negativos na dinâmica populacional da mesma.

Num estudo recente, uma correlação negativa entre desembarques totais nacionais de sardinha e de cavala (*Scomber colias*) foi descrita para os últimos 25 anos (Martins *et al.*, submetido a publicação), com os totais capturados de cavala a aumentarem de forma acentuada desde 2001. Sendo que a distribuição geográfica de ambas as espécies aparenta ser complementar, com a sardinha a surgir com maior abundância na zona Norte da costa Portuguesa (águas mais frias) e com menor abundância na zona Sul da costa Portuguesa (águas mais quentes), sendo o inverso descrito para a cavala (Martins *et al.*, submetido a publicação). Nesse estudo foi igualmente encontrada uma correlação inversa entre os índices de recrutamento de ambas as espécies. Possíveis explicações para essa relação são apontadas, tais como a competição directa por alimento entre as larvas das duas espécies, a predação tanto de ovos por ambas as espécies como de juvenis de sardinha por parte de indivíduos adultos de cavala, incidindo mais numa das espécies em épocas de maior abundância da outra espécie e ainda diferentes condições ambientais que favoreçam de forma inversa o recrutamento de ambas as espécies (Martins *et al.*, submetido a publicação).

De uma forma semelhante, um aumento dos desembarques totais nacionais de carapau negrão (*Trachurus picturatus*) nos últimos anos (desde 1999) foi reportado por Cardador *et al.* (2008). O aquecimento global, é apontado neste estudo como uma possível causa da expansão desta espécie, encontrada maioritariamente em águas mais quentes (Mediterrâneo, Norte de África e Sul da Península Ibérica) para águas mais frias da costa Norte Portuguesa. Sendo que neste caso, uma competição directa por alimento pareça ser a principal razão, dado o carapau negrão alimentar-se maioritariamente de zooplâncton e pequenos crustáceos (Deudero & Morales-Nin, 2001).

Interações com outras espécies foram também documentadas noutras regiões. Takasuka *et al.* (2008) apontam para a variação da temperatura com uma das principais causas das mudanças de regime entre biqueirão e sardinha no Pacífico Norte, onde períodos de temperaturas médias mais baixas (16-17°C) parecem favorecer a abundância de sardinha do Pacífico em detrimento de biqueirão, enquanto em períodos de temperaturas médias mais elevadas (22°C) o contrário aparenta acontecer. Katara *et al.* (2011) também encontraram uma relação semelhante entre a sardinha e o biqueirão no Mediterrâneo. Uma situação semelhante, mas mais complexa, poderá estar a acontecer na costa Noroeste da Península Ibérica entre a sardinha Ibérica e um conjunto de outras espécies de pequenos pelágicos, e não apenas uma espécie como noutros locais.

Outra explicação possível para a relação negativa entre as SST de Verão e o IRH poderá vir da relação entre as SST e o afloramento (Peliz & Fiúza, 1999), onde valores de SST mais baixos no Verão estão associados a fenómenos de afloramento mais intensos.

Zwolinski *et al.* (2010) encontraram uma relação entre captura de sardinha e temperatura, onde sardinhas eram encontradas, maioritariamente, em águas com temperaturas mais baixas (<16°C). No entanto, essa distribuição preferencial da sardinha por águas mais frias, poderá não estar relacionada com uma preferência ou necessidade fisiológica, mas sim com a disponibilidade de mais ou menos alimento. Esta disponibilidade de alimento está relacionada com a intensidade dos fenómenos de afloramento, onde águas frias e ricas em nutrientes provenientes do fundo oceânico são transportadas para a superfície, favorecendo o aparecimento de fitoplâncton e zooplâncton (Peliz & Fiúza, 1999). Portanto, períodos de temperaturas à superfície mais elevadas poderão ser um indicativo de escassez de alimento para a sardinha.

Deve ainda dizer-se que considerar isoladamente os efeitos dos diferentes factores no recrutamento da sardinha pode induzir em erro, pois estes não actuam de forma isolada, e diferentes combinações destes factores darão certamente origem a diferentes efeitos nas populações de sardinha.

Finalmente, é relevante abordar a utilidade do modelo como instrumento de previsão de recrutamento da sardinha. Os resultados obtidos (figura 26), ao mostrarem uma correlação elevada entre os valores previstos pelo modelo e os valores indicados pelo IRH, asseguram confiança elevada na utilização deste instrumento.

6. Conclusões

O índice de recrutamento histórico (IRH) por nós utilizado aparenta ser um bom indicador de recrutamentos passados para a costa Oeste Portuguesa, utilizando dados de captura da frota de cerco.

O IRH parte do pressuposto que a época de desova na costa Oeste Portuguesa ocorre maioritariamente entre Novembro e Maio e que os indivíduos provenientes dessas desovas seriam, maioritariamente, recrutados à pesca nos 3.º e 4.º trimestres dos diferentes anos. Tal poderá levar a que anos com épocas de desova anormais e de onde poderiam provir recrutamentos elevados, não serão apresentados como tal pelo IRH. Igualmente, um IRH mais finamente trabalhado, onde a escolha de “cortes” mensais em determinados comprimentos máximos de valores específicos para cada mês, poderia permitir a obtenção de resultados com um maior detalhe.

Uma análise global aos resultados, permitiu obter os principais padrões de variação do recrutamento ao longo de um período de 66 anos, que mostrou como anos mais importantes 1947, 1954, 1956, 1970, 1980, 1984, 1987, 1991, 1998, 2000, 2004 e 2009, e como anos piores 1964, 1976, 1977, 1993, 1994, 1995 e 2006.

O método final agora proposto, utilizando um modelo aditivo generalizado (GAM), foi o resultado de um conjunto de triagens no sentido de identificar quais as variáveis que melhor contribuem para a compreensão dos fenómenos de recrutamento. Desta triagem, foram identificadas como mais relevantes as médias anuais dos índices da Oscilação Multidecenal do Atlântico Norte (AMO) e do Padrão do Este Atlântico (EA), a média de Verão das temperaturas superficiais marinhas (SST) e a média de Inverno do índice de afloramento, com o conjunto destas covariáveis a explicar 57,4% da variação do IRH.

Relações lineares negativas foram encontradas para os efeitos de EA e SST de Verão no recrutamento.

Uma relação positiva entre o afloramento de Inverno e o IRH com um efeito acrescido para os valores no limite superior de afloramento foi também encontrada.

Uma relação complexa entre o AMO e o recrutamento foi apontada pelo modelo final, pelo que deverão ser efectuados esforços para realizar estudos mais detalhados desta relação.

É ainda relevante salientar a utilidade do modelo como instrumento de previsão de recrutamento da sardinha, como um dos principais resultados obtidos.

Outros aspectos a estudar serão os efeitos de predação natural na sardinha e o seu impacto no recrutamento da mesma. Investigar os efeitos antropogénicos na dinâmica da

sardinha é igualmente importante, dado, actualmente não se saber ainda qual a influência real da exploração do recurso na sua dinâmica populacional.

Não foi possível atingir o objectivo de análise dos efeitos da exploração do recurso na sua dinâmica populacional devido, principalmente, à elevada complexidade do assunto que implica a necessidade de recolher mais informação e à sua análise, necessariamente morosa.

Apesar do programa estatístico R ser uma potente ferramenta estatística, a sua aprendizagem e utilização não são triviais, o que levou a algumas dificuldades ao longo deste estudo e à conseqüente morosidade de algumas análises. A informatização dos dados antigos foi igualmente uma tarefa bastante morosa, mas imprescindível para este trabalho.

7. Referências

- Alheit J, Roy C, Kifani S. (2009). Decadal scale variability in populations. In Checkley D, Alheit J, Oozeki Y, Roy C., *Climate Change and Small Pelagic Fish*, pp. 64-87. New York: Cambridge University Press
- Alheit, J., Pohlmann, T., Casini, M., Greve, W., Hinrichs, R., Mathis, M., O'Driscoll, K., *et al.* (2012). Climate variability drives anchovies and sardines into the North and Baltic Seas. *Progress in Oceanography*, 96(1), 128-139. doi:10.1016/j.pocean.2011.11.015
- Alvarez, I., Gomez-Gesteira, M., deCastro, M., Lorenzo, M. N., Crespo, A. J. C., & Dias, J. M. (2011). Comparative analysis of upwelling influence between the western and northern coast of the Iberian Peninsula. *Continental Shelf Research*, 31(5), 388–399. doi:10.1016/j.csr.2010.07.009
- APA (2010). Stocks pesqueiros abaixo dos limites biológicos de segurança. <http://sniamb.apambiente.pt/portalids/Indicadores/FichaIndicador.aspx?IndID=7>, consultado em Junho de 2013
- Bakun, A. (1973). Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1946-71. *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep., NMFS SSRF-671*, 103 p.
- Bakun, A., (1996). Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. *California Sea Grant College System*, La Jolla.
- Barnston, A.G. & R.E. Livezey, (1987). Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083–1126.
- Barraca I. F. & Ferreira, P. S. (1965). Études déchantillonnage simultanée de la pêche de la sardine de la côte portugaise en 1964 et 1965. *instituto de biologia marítima*, 32/2
- Barraca I. F. & Pestana, G. (1985). Growth studies, using scales of *Sardina pilchardus* (Walb.) in portuguese waters (1979-1984). *ICES c.m. 1985/h:22 pelagic fish committee*
- Barraca, I. F., Jorge, I. M. & Monteiro, C. C. (1977). La sardine (*Sardina pilchardus* (Walb.)) de la côte continentale portugaise, pendant 1976. *ICES c.m. 1977/j:15 comité des poissons pélagiques*
- Basilone, G., Bonanno, a., Patti, B., Mazzola, S., Barra, M., Cuttitta, a., & McBride, R. (2013). Spawning site selection by European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in

relation to oceanographic conditions in the Strait of Sicily. *Fisheries Oceanography*, 22(4), 309–323. doi:10.1111/fog.12024

- Baumann, H., Voss, R., Hinrichsen, H. H., Mohrholz, V., Schmidt, J.O., Temming, A. (2008). Investigating the selective survival of summer- over spring-born sprat, *Sprattus sprattus*, in the Baltic Sea. *Fisheries Research*, 91: 1-14.
- Baumgartner, T. R., Soutar, A. & Ferreira-Bartrina, V. (1992). Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the last two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. *CalCOFI Rep.* 33, 24–40
- Beaugrand, G. (2004). The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Progress in Oceanography*, 60(2-4), 245-262. doi:10.1016/j.pocean.2004.02.018
- Beaugrand, G., & Reid, P. C. (2003). Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Global Change Biology*, 9(6), 801-817. doi:10.1046/j.1365-2486.2003.00632.x
- Beaugrand, G., Reid, P. C., Ibanez, F., Lindley, J. A., & Edwards, M. (2002). Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science*, 296(5573), 1692-1694. doi:10.1126/science.1071329
- Bernal, M., Stratoudakis, Y., Coombs, S., Angelico, M. M., de Lanzós, a. L., Porteiro, C., Sagarminaga, Y., *et al.* (2007). Sardine spawning off the European Atlantic coast: Characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. *Progress in Oceanography*, 74(2-3), 210–227. doi:10.1016/j.pocean.2007.04.018
- Bode, A., Alvarez-Ossorio, M., & Cabanas, J. (2006). Recent changes in the pelagic ecosystem of the Iberian Atlantic in the context of multidecadal variability. *ICES CM 2006/ Theme Session C:07*, 1–20.
- Borges, M. F., Santos, A. M. P., Crato, N., Mendes H. & Mota B. (2003). Sardine regime shifts off Portugal: a time series analysis of catches and wind conditions. *Scientia Marina*, 67(Suppl.1): 235-244
- Borja, A., Fontán, A., Sáenz, J., & Valencia, V. (2008). Climate, oceanography, and recruitment: the case of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Oceanography*, 17(6), 477–493. doi:10.1111/j.1365-2419.2008.00494.x
- Butler, I. L. (1991). Mortality and recruitment of Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*, larvae in the California Current. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 1713-1723.

- Caley, M. J., Carr, M. H., Hixon, M. A., Hughes, T. P., & Menge, B. A. (1996). Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Population Dynamics. Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27:477–500
- Cannaby, H., and Hüsrevoğlu, Y. S. (2009). The influence of low-frequency variability and long-term trends in North Atlantic sea surface temperature on Irish waters. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 1480–1489.
- Cardador, F., Chaves, C., & Morgado, C. (2008). Changes in Blue Jack Mackerel (*Trachurus picturatus*) abundance and distribution in Portuguese continental waters (ICES Div . IXa). *Working Document to be presented to the ICES IBTSWG , 31 March-04 April 2008 , Vigo*
- Cardinale, M., Hagberg, J., Svedäng, H., Bartolino, V., Gedamke, T., Hjelm, J., Börjesson, P., et al. (2009). Fishing through time: population dynamics of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the Kattegat–Skagerrak over a century. *Population Ecology*, 52(2), 251–262. doi:10.1007/s10144-009-0177-x
- Carrera, P., & Porteiro, C. (2003). Stock dynamic of the Iberian sardine (*Sardina pilchardus*, W.) and its implication on the fishery off Galicia (NW Spain). *Scientia Marina*, 67, 245–258.
- Cochran, W. G. (1977). Sampling Techniques. *John Wiley & Sons*
- Coombs, S. H., Smyth, T. J., Conway, D. V. P., Halliday, N. C., Bernal, M., Stratoudakis, Y., & Alvarez, P. (2006). Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 86(05), 1245. doi:10.1017/S0025315406014251
- Costa, M. J. (2008). Penalized Spline Models and Applications. *Tese para a obtenção do grau de doutoramento*. 187 p.
- Cruz, J. A. M. (1957). A sardinha do norte de portugal (*Sardina pilchardus* Walb.). Características etárias e de reprodução. *Instituto de biologia marítima*, nº 14
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R. J. M., Jarre, A., Quinones, R. A., Shannon, L. J., & Verheye, H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 603-618. doi:10.1006/jmsc.2000.0712
- Cury, P., Roy, C., (1989). Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46, 670–680.

- Delworth, T., Manabe, S., & Stouffer, R. J. (1993). Interdecadal variations of the thermohaline circulation in a coupled ocean-atmosphere model. *Journal of Climate*, 6(11), 1993-2011.
- Deudero, S., & Morales-Nin, B. (2001). Prey selectivity in planktivorous juvenile fishes associated with floating objects in the western Mediterranean. *Aquaculture Research*, 32, 481-490.
- DGRM (2012). Recursos da Pesca. Direcção-geral de recursos naturais, segurança e serviços marítimos – *Série Estatística*. Volume 24A-B
- DGRM (2013). Informação Geral-CERCO. <http://www.dgrm.min-agricultura.pt/xportal/xmain?xpid=dgrm&xpgid=genericPage&conteudoDetalhe=172823>, consultado em Março de 2013
- Dippner, J. W. (1997). Recruitment success of different fish stocks in the North Sea in relation to climate variability. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 49(2-3), 277–293. doi:10.1007/BF02764039
- Drago, T., Ferreira-Bartrina, V., Santos, A. M. P., & Pinheiro, J. (2009). The use of fish remains in sediments for the reconstruction of paleoproductivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 5, 012012. doi:10.1088/1755-1307/5/1/012012
- Dülger, N., Kumlu, M., Türkmen, S., Öçülü, A., Tufan Eroldoğan, O., Asuman Yılmaz, H., & Öçal, N. (2012). Thermal tolerance of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles acclimated to three temperature levels. *Journal of Thermal Biology*, 37(1), 79–82. doi:10.1016/j.jtherbio.2011.11.003
- Emeis, K.-C., Finney, B. P., Ganeshram, R., Gutierrez, D., Poulsen, B., & Struck, U. (2010). Impacts of past climate variability on marine ecosystems: Lessons from sediment records. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), 333-342. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.012
- Enfield, D. B., Mestas-Nunez, A. M., & Trimble, P. J. (2001). The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophysical Research Letters*, 28(10), 2077-2080. doi:10.1029/2000gl012745
- FAO (2010). The State of World Fisheries and Aquaculture: 2010. *FAO Fisheries and Aquaculture Department*. Rome, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 197p.
- FAO (2013). Species Fact Sheets – *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792). <http://www.fao.org/fishery/species/2910/en>, consultado em Maio de 2013
- Finney, B. P., Alheit, J., Emeis, K.-C., Field, D. B., Gutierrez, D., & Struck, U. (2010). Paleoecological studies on variability in marine fish populations: A long-term

- perspective on the impacts of climatic change on marine ecosystems. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), 316-326. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.010
- Fiúza, A.F.G., Macedo, M.E. & Guerreiro, M.R., (1982). Climatological space and time variation of the Portugal coastal upwelling. *Oceanologica Acta* 5 (1), 31–40.
 - Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., & Roy, C. (2005). Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: A review. *Bulletin of Marine Science*, 76(2), 385-462.
 - Ganas, K. (2009). Linking sardine spawning dynamics to environmental variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84(3), 402–408. doi:10.1016/j.ecss.2009.07.004
 - Garrido, S., Ben-Hamadou, R., Oliveira, P., Cunha, M., Chícharo, M., & van der Lingen, C. (2008). Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Marine Ecology Progress Series*, 354, 245–256. doi:10.3354/meps07201
 - Garrido, S., Marçalo A., Zwolinski J., Van der Lingen, C. (2007). Laboratory investigations on the effect of prey size and concentration on the feeding behavior of *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series*, 330:189-199.
 - Guisande, C., Cabanas, J., Vergara, A., & Riveiro, I. (2001). Effect of climate on recruitment success of Atlantic Iberian sardine *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series*, 223, 243–250. doi:10.3354/meps223243
 - Guisande, C., Vergara, A. R., Riveiro, I., & Cabanas, J. M. (2004). Climate change and abundance of the Atlantic-Iberian sardine (*Sardina pilchardus*). *Fisheries Oceanography*, 13(2), 91-101. doi:10.1046/j.1365-2419.2003.00276.x
 - Hastie, T. & Tibshirani (1986). Generalized additive models (with discussion). *Statistical Science* 1, 297–318.
 - Herrick, Jr, S.F., J.G. Norton, R. Hannesson, U.R. Sumaila, M. Ahmed and J.Pena-Torres. (2009). Global production and economics of small pelagic fish. In Checkley, D., Alheit J, Oozeki Y and Roy C., *Climate Change and Small Pelagic Fish*, pp. 256-274. New York: Cambridge University Press.
 - Hughes, S. L., Holliday, N. P., & Gaillard, F. (2012). Variability in the ICES/NAFO region between 1950 and 2009: observations from the ICES Report on Ocean Climate. *ICES Journal of Marine Science*, 69(5), 706–719. doi:10.1093/icesjms/fss044
 - Huret, M., Sourisseau, M., Petitgas, P., Struski, C., Léger, F., & Lazure, P. (2013). A multi-decadal hindcast of a physical–biogeochemical model and derived

oceanographic indices in the Bay of Biscay. *Journal of Marine Systems*, 109-110, S77–S94. doi:10.1016/j.jmarsys.2012.02.009

- Hurrell, J W, & Dickson, R. R. (2004). Climate variability over the north Atlantic. *Marine Ecosystems and Climate Variation*, 15-+. Retrieved from <Go to ISI>://CCC:000227493400002
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., & Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 1-36.
- Hurrell, James W, & Deser, C. (2010). North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems*, 79, 231-244. doi:10.1016/j.jmarsys.2009.11.002
- ICES (2009). Report of the Study Group on the History of Fish and Fisheries (SGHIST), 26–29 October 2009, Vlaardingen, *The Netherlands*. ICES CM 2009/RMC:07. 26 pp.
- ICES (2011a). Report of the Working Group on Anchovy and Sardine (WGANSA), 24-28 June 2011, Vigo, Spain. ICES CM 2011/ACOM: 16. 470 p.
- ICES (2012a). Report of the Working Group on Acoustic and Egg Surveys for Sardine and Anchovy in ICES Areas VIII and IX (WGACEGG), 26-30 November 2012, Fuen-guirola, Spain. ICES CM 2012/SSGESST:16. 221 pp.
- ICES (2012b). Report of the Working Group on Southern Horse Mackerel, Anchovy and Sardine (WGHANSA), 23 - 28 June 2012, Azores (Horta), Portugal. ICES CM 2012/ACOM:16. 544pp.
- ICES (2012c). Bay of Biscay and Atlantic Iberian waters Sardine in Divisions VIIIc and IXa. <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Advice/2012/2012/sar-soth.pdf>, consultado em Junho de 2013
- ICES (2013). Report of the Workshop to Evaluate the Management Plan for Iberian Sardine (WKSardineMP), 4–7 June 2013, Lisbon, Portugal. ICES CM 2013/ACOM:62. 8468 pp.
- ICES. (2011b). Report of the Study Group on the History of Fish and Fisheries (SGHIST), 24-27 October 2011, Cefas, Lowestoft, UK. ICES CM 2011/SSGSUE:11. 36 pp.
- INE (2013), Base de Dados, www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_base_dados, consultado em Fevereiro de 2013

- Jardim, E., Trujillo, V., Sampedro, P. (2004). Uncertainty in sampling procedures for age composition of hake and sardine in Iberian Atlantic waters. *Sci. Mar.*, 68, 561-569.
- Jensen, O. P., Branch, T. A., & Hilborn, R. (2012). Marine fisheries as ecological experiments. *Theoretical Ecology*, 5(1), 3-22. doi:10.1007/s12080-011-0146-9
- Jewell, R., Thomas, L., Harris, C. M., Kaschner, K., Wiff, R., Hammond, P. S., & Quick, N. J. (2012). Global analysis of cetacean line-transect surveys: detecting trends in cetacean density. *Marine Ecology-Progress Series*, 453, 227-240. doi:10.3354/meps09636
- Johnston, D. W., Bowers, M. T., Friedlaender, A. S., & Lavigne, D. M. (2012). The effects of climate change on harp seals (*Pagophilus groenlandicus*). *PloS one*, 7(1), e29158.
- Jorge, I. M. (1972). Estudos sobre a biologia e pesca da sardinha da costa continental portuguesa. 1. estatísticas e taxas de mortalidade (1952-1971). *Relat. Cient. Téc. - Instituto de biologia marítima*, nº6
- Katara, I., Pierce, G. J., Illian, J., & Scott, B. E. (2011). Environmental drivers of the anchovy/sardine complex in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 670(1), 49-65. doi:10.1007/s10750-011-0693-5
- King, J. R., & McFarlane, G. A. (2003). Marine fish life history strategies: applications to fishery management. *Fisheries Management and Ecology*, 10(4), 249-264. doi:10.1046/j.1365-2400.2003.00359.x
- Knight, J. R., Folland, C. K., & Scaife, A. A. (2006). Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 33(17). doi:L17706 10.1029/2006gl026242
- Lehodey, P., Alheit, J., Barange, M., Baumgartner, T., Beaugrand, G., Drinkwater, K., Fromentin, J. M., et al. (2006). *Climate variability, fish, and fisheries*. *Journal of Climate*, 19(20), 5009-5030. doi:10.1175/jcli3898.1
- Lemos, R. T., & Pires, H. O. (2004). The upwelling regime off the West Portuguese Coast, 1941–2000. *International Journal of Climatology*, 24(4), 511–524. doi:10.1002/joc.1009
- Lemos, R. T., & Sansó, B. (2006). Spatio-temporal variability of ocean temperature in the Portugal Current System. *Journal of Geophysical Research*, 111(C4), C04010. doi:10.1029/2005JC003051
- Lloret, J., Palomera, I., Salat, J., & Sole, I. (2004). Impact of freshwater input and wind on landings of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf waters surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western

- Mediterranean). *Fisheries Oceanography*, 13(2), 102–110. doi:10.1046/j.1365-2419.2003.00279.x
- Macdonald, P.D.M. & Green, P.E.J. (1988). User's Guide to Program MIX: An interactive Program for Fitting Mixtures of Distributions. *Ichthus Data Systems*, Hamilton, Ontario.
 - Marçalo, A. (2009). Sardine (*Sardina pilchardus*) delayed mortality associated with purse seine slipping: contributing stressors and responses. *Tese para obtenção do grau de doutor no ramo das Ciências e Tecnologias das Pescas, Especialidade em Avaliação de Recursos*. 189 p.
 - Marques, V. (2005). Campanhas Acústicas Portuguesas Dirigidas a Sardinha (*Sardina pilchardus*, Walb.) (1984-2003). *Tese para obtenção do grau de Investigador Auxiliar na área científica de Dinâmica de Recursos Marinhos*. 262 p.
 - Marra, G., & Wood, S. N. (2011). Practical variable selection for generalized additive models. *Computational Statistics & Data Analysis*, 55(7), 2372–2387. doi:10.1016/j.csda.2011.02.004
 - Martín, P., Sabates, A., Lloret, J., & Martin-Vide, J. (2012). Climate modulation of fish populations: the role of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) in sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) production in the north-western Mediterranean. *Climatic Change*, 110(3-4), 925-939. doi:10.1007/s10584-011-0091-z
 - Martinez, E., Antoine, D., D'Ortenzio, F., & Gentili, B. (2009). Climate-driven basin-scale decadal oscillations of oceanic phytoplankton. *Science (New York, N.Y.)*, 326(5957), 1253–6. doi:10.1126/science.1177012
 - Martins, M. M., Skagen, D., Marques, V., Zwolinski, J. e Silva, A. (*submetido a publicação*). Changes in the importance of the Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*, Gmelin 1789) in the pelagic ecosystem and fisheries off Portugal.
 - McCabe, G. J., Palecki, M. A., & Betancourt, J. L. (2004). Pacific and Atlantic Ocean influences on multidecadal drought frequency in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(12), 4136-4141. doi:10.1073/pnas.0306738101
 - Mendes, H. V. & Borges, M. F., (2006). A sardinha no século XX: capturas e esforço de pesca. *Relat. Cient. Téc. IPIMAR, Série digital* (<http://ipimar-iniap.ipimar.pt>) nº 32, 20 p.
 - Monteiro, C. C. & Jorge, I. M. (1982). Age and growth of *Sardina pilchardus* (Walb.) from portuguese coast (ICES DIVISION IX a). *ICES c.m. 1982/h:19 pelagic fish committee*

- Myers, R. A. (2002). Recruitment: understanding density-dependence in fish populations. In: Hart P, Reynold J (eds) In *Handbook of Fish Biology and Fisheries Vol 1: Fish Biology Blackwell*, pp 123-48.
- NOAA (2013), Climate Prediction Center - East Atlantic (EA), <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/ea.shtml>, consultado em Maio de 2013
- Nunes, C., Silva, A., Soares, E., & Gantias, K. (2011). The Use of Hepatic and Somatic Indices and Histological Information to Characterize the Reproductive Dynamics of Atlantic Sardine *Sardina pilchardus* from the Portuguese Coast. *Marine and Coastal Fisheries*, 3(1), 127–144. doi:10.1080/19425120.2011.556911
- Ohshimo, S., Tanaka, H., & Hiyama, Y. (2009). Long-term stock assessment and growth changes of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Sea of Japan and East China Sea from 1953 to 2006. *Fisheries Oceanography*, 18(5), 346-358. doi:10.1111/j.1365-2419.2009.00516.x
- Oliveira, P. B., & Stratoudakis, Y. (2008). Satellite-derived conditions and advection patterns off Iberia and NW Africa: Potential implications to sardine recruitment dynamics and population structuring. *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3376–3387. doi:10.1016/j.rse.2007.09.018
- Overland, J. E., Alheit, J., Bakun, A., Hurrell, J. W., Mackas, D. L., & Miller, A. J. (2010). Climate controls on marine ecosystems and fish populations. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), 305-315. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.009
- Paiva V. H., Ramos J. A., Machado D., Penha-Lopes G., Bouslama M.F., Dias N., Nielsen S. (2006). Importance of marine prey to growth of estuarine tern chicks: evidence from an energetic balance model. *Ardea*, 94(2), 241–255.
- Palomera, I., Olivar, M. P., Salat, J., Sabates, A., Coll, M., Garcia, A., & Morales-Nin, B. (2007). Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography*, 74(2-3), 377-396. doi:10.1016/j.pocean.2007.04.012
- Peliz, A. J. & Fiuza, A. F. G. (1999). Temporal and spatial variability of CZCS-derived phytoplankton pigment concentrations off the western Iberian Peninsula. *International Journal of Remote Sensing*. 20(7), 1363-1403. doi:10.1080/014311699212786
- Pestana, G., (1989). Manancial Ibero-Atlântico de sardinha (*Sardina pilchardus*) sua avaliação e medidas de gestão. *Dissertação para provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar do Instituto Nacional de Investigação das Pescas*, 192 p.
- Petitgas, P. (Ed.) (2010). Life cycle spatial patterns of small pelagic fish in the Northeast Atlantic. *ICES Cooperative Research Report No. 306*. 93 pp.

- Pinto J. S. & Barraca, I. F. (1958). Aspects biologiques et biométriques de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.), des environs de lisbonne, pendant les années 1952-1957. *instituto de biologia marítima*, nº 19
- Pohlmann, H., Sienz, F., & Latif, M. (2006). Influence of the multidecadal Atlantic meridional overturning circulation variability on European climate. *Journal of Climate*, 19(23), 6062-6067. doi:10.1175/jcli3941.1
- Ramos, S., Ré, P., & Bordalo, A. A. (2009). New insights into the early life ecology of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the northern Iberian Atlantic. *Scientia Marina*, 73(3), 449–459. doi:10.3989/scimar.2009.73n3449
- Ré, P. & Meneses, I. (2009). Early stages of marine fishes occurring in the Iberian Peninsula. *IPIMAR/IMAR*: 283 p.
- Relvas, P., Luís, J., & Santos, a. M. P. (2009). Importance of the mesoscale in the decadal changes observed in the northern Canary upwelling system. *Geophysical Research Letters*, 36(22), L22601. doi:10.1029/2009GL040504
- Rothschild, B. J., & Jiao, Y. (2012). Characterizing variation in Northwest Atlantic fish-stock abundance. *ICES Journal of Marine Science*. doi:10.1093/icesjms/fsr196
- Salmaso, N., & Cerasino, L. (2012). Long-term trends and fine year-to-year tuning of phytoplankton in large lakes are ruled by eutrophication and atmospheric modes of variability. *Hydrobiologia*, 698(1), 17–28. doi:10.1007/s10750-012-1068-2
- Santos, a, Nogueira, J., & Martins, H. (2005a). Survival of sardine larvae off the Atlantic Portuguese coast: a preliminary numerical study. *ICES Journal of Marine Science*, 62(4), 634–644. doi:10.1016/j.icesjms.2005.02.007
- Santos, A. M. P., Borges, M. F. & Groom S. (2001). Sardine and horse mackerel recruitment and upwelling off Portugal. *ICES Journal of Marine Science*, 58(3), 589-596
- Santos, A. M. P., Chicharo, A., Dos Santos, A., Moita, T., Oliveira, P. B., Peliz, A., & Re, P. (2007). Physical-biological interactions in the life history of small pelagic fish in the Western Iberia Upwelling Ecosystem. *Progress in Oceanography*, 74(2-3), 192-209. doi:10.1016/j.pocean.2007.04.008
- Santos, A. M. P., Kazmin A. & Peliz A. (2005b). Decadal changes in the Canary upwelling system as revealed by satellite observations and their impact in the productivity. *J. Mar. Res*, 63(2), 359-379
- Santos, A. M. P., Peliz, a., Dubert, J., Oliveira, P. B., Angélico, M. M., & Ré, P. (2004). Impact of a winter upwelling event on the distribution and transport of sardine (*Sardina pilchardus*) eggs and larvae off western Iberia: a retention mechanism. *Continental Shelf Research*, 24(2), 149–165. doi:10.1016/j.csr.2003.10.004

- Santos, M. B., Gonzalez-Quiros, R., Riveiro, I., Cabanas, J. M., Porteiro, C., & Pierce, G. J. (2012). Cycles, trends, and residual variation in the Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) recruitment series and their relationship with the environment. *ICES Journal of Marine Science*, 69(5), 739-750. doi:10.1093/icesjms/fsr186
- Silva, A., Santos, M., Caneco, B., Pestana, G., Porteiro, C., Carrera, P., & Stratoudakis, Y. (2006). Temporal and geographic variability of sardine maturity at length in the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 63(4), 663-676. doi:10.1016/j.icesjms.2006.01.005
- Silva, A. (2007). Geographic variation in sardine population traits: implications for stock assessment. *Tese para a obtenção do grau de doutor no ramo de Ciências e Tecnologias das Pescas, especialidade Avaliação de Recursos*. 243 p.
- Silva, A., Carrera, P., Massé, J., Uriarte, A., Santos, M. B., Oliveira, P. B., Soares, E., et al. (2008). Geographic variability of sardine growth across the northeastern Atlantic and the Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 90(1-3), 56-69. doi:10.1016/j.fishres.2007.09.011
- Silva, A., Skagen, D. W., Uriarte, A., Massé, J., Santos, M. B., Marques, V., Carrera, P., Beillois, P., Pestana, G., Porteiro, C., and Stratoudakis, Y. (2009). Geographic variability of sardine dynamics in the Iberian Biscay region. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 495-508.
- Silva, A.V., Meneses, I. & Silva, A., (2012). Determinação da idade de juvenis de sardinha (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) a partir de características morfométricas dos indivíduos e dos otólitos. *Relat. Cient. Téc. Inst. Invest. Pescas Mar, Série Digital*, nº 53. 24p.
- Soutar, A. & Isaacs, J. D. (1969). History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *CalCOFI Reports* 13, 63-70
- Soutar, A. & Isaacs, J. D. (1974). Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment of the Californias. *Fish. Bull.* 72, 257-73
- Soutar, A. (1967). The accumulation of fish debris in certain California coastal sediments. *CalCOFI Reports* 11, 136-9
- Spitz, J., Chouvelon, T., Cardinaud, M., Kostecki, C., & Lorange, P. (2013). Prey preferences of adult sea bass *Dicentrarchus labrax* in the northeastern Atlantic: implications for bycatch of common dolphin *Delphinus delphis*. *ICES Journal of Marine Science*, 70(2), 452-461. doi:10.1093/icesjms/fss200
- Stenseth, N. C., Ottersen, G., Hurrell, J. W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K.-S., Yoccoz, N. G., et al. (2003). Review article. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern

Oscillation and beyond. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 270(1529), 2087–96. doi:10.1098/rspb.2003.2415

- Stratoudakis, Y., Coombs, S., Lanzós, A. L., Halliday, N., Costas, G., Caneco, B., Franco, C., *et al.* (2007). Sardine (*Sardina pilchardus*) spawning seasonality in European waters of the northeast Atlantic. *Marine Biology*, 152(1), 201–212. doi:10.1007/s00227-007-0674-4
- Sutton, R. T., & Hodson, D. L. R. (2005). Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science (New York, N.Y.)*, 309(5731), 115–8. doi:10.1126/science.1109496
- Takasuka, A., Oozeki, Y., Kubota, H., & Lluch-Cota, S. E. (2008). Contrasting spawning temperature optima: Why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? *Progress in Oceanography*, 77(2-3), 225–232. doi:10.1016/j.pocean.2008.03.008
- Tasker, M. L., Camphuysen, C. J., Cooper, J., Garthe, S., Montevecchi, W. A., & Blaber, S. J. M. (2000). The impacts of fishing on marine birds. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 531-547. doi:10.1006/jmsc.2000.0714
- Teixeira, C. M., & Cabral, H. N. (2009). Time series analysis of flatfish landings in the Portuguese coast. *Fisheries Research*, 96(2-3), 252–258. doi:10.1016/j.fishres.2008.12.004
- Vilela, H., Barraca, I., & Ferreira, P. (1966). "Études sur la biologie de la sardine des côtes portugaises, continental et insulaire". *ICES c.m 1966/j:5 comité de la sardine*
- Wise, L., Ferreira, M., Silva, A., 2005. Caracterização da Pesca de Cerco na Costa Oeste Portuguesa. *Relat. Cient. Téc. IPIMAR*, Série digital (<http://ipimar-iniap.ipimar.pt>), nº 24, 19 p.
- Wood, S.N. (2006). Generalized additive models. *Chapman & Hall/CRC*
- Woodruff, S. D., Worley, S. J., Lubker, S. J., Ji, Z., Eric Freeman, J., Berry, D. I., Brohan, P., Kent, E. C., Reynolds, R. W., Smith, S. R. and Wilkinson, C. (2011). ICOADS Release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive. *Int. J. Climatol.*, 31: 951–967.
- Wyatt, M. G., Kravtsov, S., & Tsonis, A. A. (2012). Atlantic Multidecadal Oscillation and Northern Hemisphere's climate variability. *Climate Dynamics*, 38(5-6), 929-949. doi:10.1007/s00382-011-1071-8
- Yáñez, E., Barbieri, M. A., Silva, C., Nieto, K., & Espindola, F. (2001). Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. *Progress in Oceanography*, 49(1-4), 581-596. doi:10.1016/s0079-6611(01)00042-8

- Yates, F. (1981). *Sampling Methods for Censuses and Surveys*. Charles Griffin & Company Ltd. London and High Wycombe
- Zhang, R., & Delworth, T. L. (2006). Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/Sahel rainfall and Atlantic hurricanes. *Geophysical Research Letters*, 33(17), L17712. doi:10.1029/2006GL026267
- Zuur, Alain F, Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3-14. doi:10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x
- Zwolinski, J. P., Oliveira, P. B., Quintino, V., & Stratoudakis, Y. (2010). Sardine potential habitat and environmental forcing off western Portugal. *ICES Journal of Marine Science*, 67(8), 1553–1564. doi:10.1093/icesjms/fsq068

8. Anexos

Anexo I – Rotina ERROS.

Comandos usados na rotina para verificação e localização de erros nos dados:

```
dados<-read.csv("pnabl.csv", dec="," , sep=";" , header=TRUE)
#Procedimento para localização de amostras duplicadas
duplicados<-dados[, c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO", "ARTE_EU", "DESEMBARQUE",
"PESO_AM", "N_IND", "CAT", "OBS")]
duplicados<-unique(duplicados)
duplicados<-duplicados[,c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO", "ARTE_EU")]
df <- duplicados
duplos<-duplicados[which(duplicated(df) | duplicated(df[nrow(df):1, ])[nrow(df):1]),]
#tabela final com a identificação das amostras possivelmente duplicadas, uma análise
#individual de cada amostra apontada foi efectuada
write.table(duplos, "pnabl_duplicadoss.csv", sep=";" , dec="," )
```

```
#Procura de discrepâncias entre total de indivíduos registado e total observado na amostra
sum.ind.real<-with(dados, aggregate(INDIF, list(PORTO_PNAB=PORTO_PNAB, REGIAO=REGIAO,
DATA=DATA, NAVIO=NAVIO), sum))
teste<-merge(dados, sum.ind.real, by=c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO"), all=TRUE)
dados1<-dados[, c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO", "DESEMBARQUE", "PESO_AM",
"N_IND")]
dados1<-unique(dados1)
sum.ind.reg<-with(dados1, aggregate(N_IND, list(PORTO_PNAB=PORTO_PNAB, REGIAO=REGIAO,
DATA=DATA, NAVIO=NAVIO), sum))
teste<-merge(teste, sum.ind.reg, by=c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO"), all=TRUE)
teste$teste<-teste$x.x-teste$x.y
t<-unique(subset(teste[,c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO", "teste")], teste!=0))
#tabela com a identificação das amostras com discrepâncias
write.table(t, "pnabl_erros.csv", sep=";" , dec="," )
```

```
#Procura de amostras onde peso do desembarque seja menor que o peso da amostra e sua
#identificação
trial<-dados$DESEMBARQUE>=dados$PESO_AM
summary(trial)
subset(dados, is.na(DESEMBARQUE>=dados$PESO_AM))
subset(dados, DESEMBARQUE<PESO_AM)
```

```
#procura de amostras com discrepâncias entre número total de indivíduos amostradas, peso
comprimento médio dos indivíduos na da amostra e peso da amostra
dados2<-dados[, c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO", "C_CLASSE", "N_IND", "INDIF")]
dados2<-with(dados2, aggregate(C_CLASSE*INDIF, list(PORTO_PNAB=PORTO_PNAB,
REGIAO=REGIAO, DATA=DATA, NAVIO=NAVIO, N_IND=N_IND), sum))
dados2$comp.med<-(dados2$x/dados2$N_IND)
dados_teste<-merge(dados, dados2, by=c("PORTO_PNAB", "REGIAO", "DATA", "NAVIO", "N_IND"),
all=TRUE)
dados_teste$teste<-(dados_teste$comp.med*dados_teste$PESO_AM)/dados_teste$N_IND
dadosC<-subset(dados_teste, REGIAO=="C")
dadosN<-subset(dados_teste, REGIAO=="N")
```

```
dadosS<-subset(dados_teste, REGIAO=="S")  
par(mfrow=c(1,3))  
boxplot(data=dadosC, x=dadosC$teste)  
boxplot(data=dadosN, x=dadosN$teste)  
boxplot(data=dadosS, x=dadosS$teste)
```

Anexo II – Rotina ESTIMATIVA.

```

require("plyr")
dist1978.2012<-read.csv("distfreq_por porto.csv", sep=";", dec=",", header=T)
dist1978<-subset(dist1978.2012, ano<=1978)
dist2012<-subset(dist1978.2012, ano>=1979)

classe<-seq(7,23.5,0.5)
classe<-as.data.frame(classe)
teste<- dplyr::ddply(dist1978, c("porto", "zona","ano", "trimestre", "mes", "data", "wi"), function(DF) {
  DF <- merge(classe, DF[,c("classe","noind")], all=TRUE)
  DF[is.na(DF$noind),"noind"] <- 0
  DF
})
dist1978<-teste

rm(teste)
rm(classe)
classe<-seq(5.5, 29, 0.5)
classe<-as.data.frame(classe)

teste<- dplyr::ddply(dist2012, c("porto", "zona","ano", "trimestre", "mes", "data", "wi"), function(DF) {
  DF <- merge(classe, DF[,c("classe","noind")], all=TRUE)
  DF[is.na(DF$noind),"noind"] <- 0
  DF
})

dist2012<-teste

rm(teste)
rm(classe)

dist<-rbind(dist1978, dist2012)

desembarques<-read.csv("desembarques_com porto.csv", header=T, sep=";", dec=",")
PTD<-with(desembarques, aggregate(desembarque, list(zona=zona, ano=ano,
trimestre=trimestre),sum))
colnames(PTD)[4]<-"tot_captura_kg"

#Cálculo de yi.
lixo<-with(dist, aggregate(noind, list(porto=porto, zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre,
data=data), sum))
colnames(lixo)[6]<-"yi."
dist<-merge(dist, lixo, by=c("porto", "zona", "ano", "trimestre", "data"), all=TRUE)
rm(lixo)

#Cálculo de y..
lixo<-with(dist, aggregate(noind, list(zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre), sum))
colnames(lixo)[4]<-"y.."
dist<-merge(dist, lixo, by=c("zona", "ano", "trimestre"), all=TRUE)
rm(lixo)
    
```

```

#Cálculo de pi
dist$pi<-dist$yi./dist$y..

#Cálculo de pi*yil
dist$pi.yil<-dist$pi*dist$noind

#Cálculo de Yl medio
ylmedio<-with(dist, aggregate(pi.yil, list(zona= zona, ano=ano, trimestre=trimestre, classe=classe),
sum))
colnames(ylmedio)[5]<-"ylmedio"
dist<-merge(dist, ylmedio, by=c("zona", "ano", "trimestre", "classe"), all=TRUE)
rm(ylmedio)

#Cálculo de n
lixo<-dist[,c("zona", "ano", "trimestre", "data")]
estrato1<-as.data.frame(with(lixo[!duplicated(lixo), ], table(list(zona=zona, ano=ano,
trimestre=trimestre))))
colnames(estrato1)[4]<-"n"
dist<-merge(dist, estrato1, by=c("zona", "ano", "trimestre"))
rm(lixo)
rm(estrato1)

#Cálculo de sum.wi
lixo<-dist[, c("porto", "zona", "ano", "trimestre", "data", "wi")]
lixo<-unique(lixo)
estrato2<-with(lixo, aggregate(wi, list(zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre), sum))
colnames(estrato2)[4]<-"sum.wi"
dist<-merge(dist, estrato2, by=c("zona", "ano", "trimestre"), all=TRUE)
rm(estrato2)
rm(lixo)

#Cálculo de wi.med
dist$wi.med<-dist$sum.wi/dist$n

#juntar o PTD ao dist
dist<-merge(dist, PTD, by=c("zona", "ano", "trimestre"))
rm(PTD)

#calcular sum.yil
lixo<-with(dist, aggregate(noind, list(zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre, classe=classe), sum))
colnames(lixo)[5]<-"sum.yil"
dist<-merge(dist, lixo, by=c("zona", "ano", "trimestre", "classe"), all=TRUE)
rm(lixo)

#Cálculo de (wi-w.med)^2 para cada amostra
lixo<-dist[,c("porto", "zona", "ano", "trimestre", "mes", "data", "n", "wi", "wi.med")]
lixo<-unique(lixo)
lixo$quad.dif<-(lixo$wi-lixo$wi.med)^2

#somatorio dos (wi-w.med)^2 para cada estrato
    
```

```

lixo1<-with(lixo, aggregate(quad.dif, list(zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre), sum))
colnames(lixo1)[4]<-"sum.quad.dif"
lixo<-merge(lixo, lixo1, by=c("zona", "ano", "trimestre"), all=TRUE)

#####Cálculo de Sw^2
lixo$sw2<-(lixo$sum.quad.dif)/(lixo$n-1)

#juntar estes resultados ao objecto dist
dist<-merge(dist, lixo, by=c("porto", "zona", "ano", "trimestre", "mes", "data", "n", "wi", "wi.med"),
all=TRUE)
rm(lixo)
rm(lixo1)

#####Cálculo de Sylw
lixo<-dist[,c("porto", "zona", "ano", "trimestre", "mes", "data", "classe", "n", "noind", "ylmedio",
"wi", "wi.med")]
lixo$cal.intermed<-((lixo$noind-lixo$ylmedio)*(lixo$wi-lixo$wi.med))
lixo<-with(lixo, aggregate(cal.intermed, list(zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre, classe=classe),
sum))
colnames(lixo)[5]<-"cal.intermed"
dist<-merge(dist, lixo, by=c("zona", "ano", "trimestre", "classe"), all=TRUE)
rm(lixo)
dist$sylw<-dist$cal.intermed/(dist$n-1)

#Cálculo de (Yil-Y.med)^2
dist$quad.dif.syl2<-(dist$noind-dist$ylmedio)^2

#Cálculo do somatorio de (Yil-Y.med)^2 (sum.quad.dif.syl2)
lixo<-with(dist, aggregate(quad.dif.syl2, list(zona=zona, ano=ano, trimestre=trimestre,
classe=classe), sum))
colnames(lixo)[5]<-"sum.quad.dif.syl2"
dist<-merge(dist, lixo, by=c("zona", "ano", "trimestre", "classe"), all=TRUE)
rm(lixo)

#Cálculo de syl^2
dist$syl2<-(dist$sum.quad.dif.syl2)/(dist$n-1)

#Cálculo de ^R
dist$R<-dist$ylmedio/dist$wi.med

#####Cálculo de V^R
dist$VR<-((dist$syl2)+((dist$R^2)*dist$sw2)-((2*dist$R)*dist$sylw))/(dist$n*(dist$wi.med)^2)

####Cálculo de Y.l
dist$Y.l<-dist$tot_captura_kg*dist$R

#####Cálculo de VY.l
dist$VY.l<-(dist$tot_captura_kg^2)*dist$VR

```

Anexo III – Exemplo de uma análise de separação de componentes normais da distribuição de frequência por classes de comprimento.

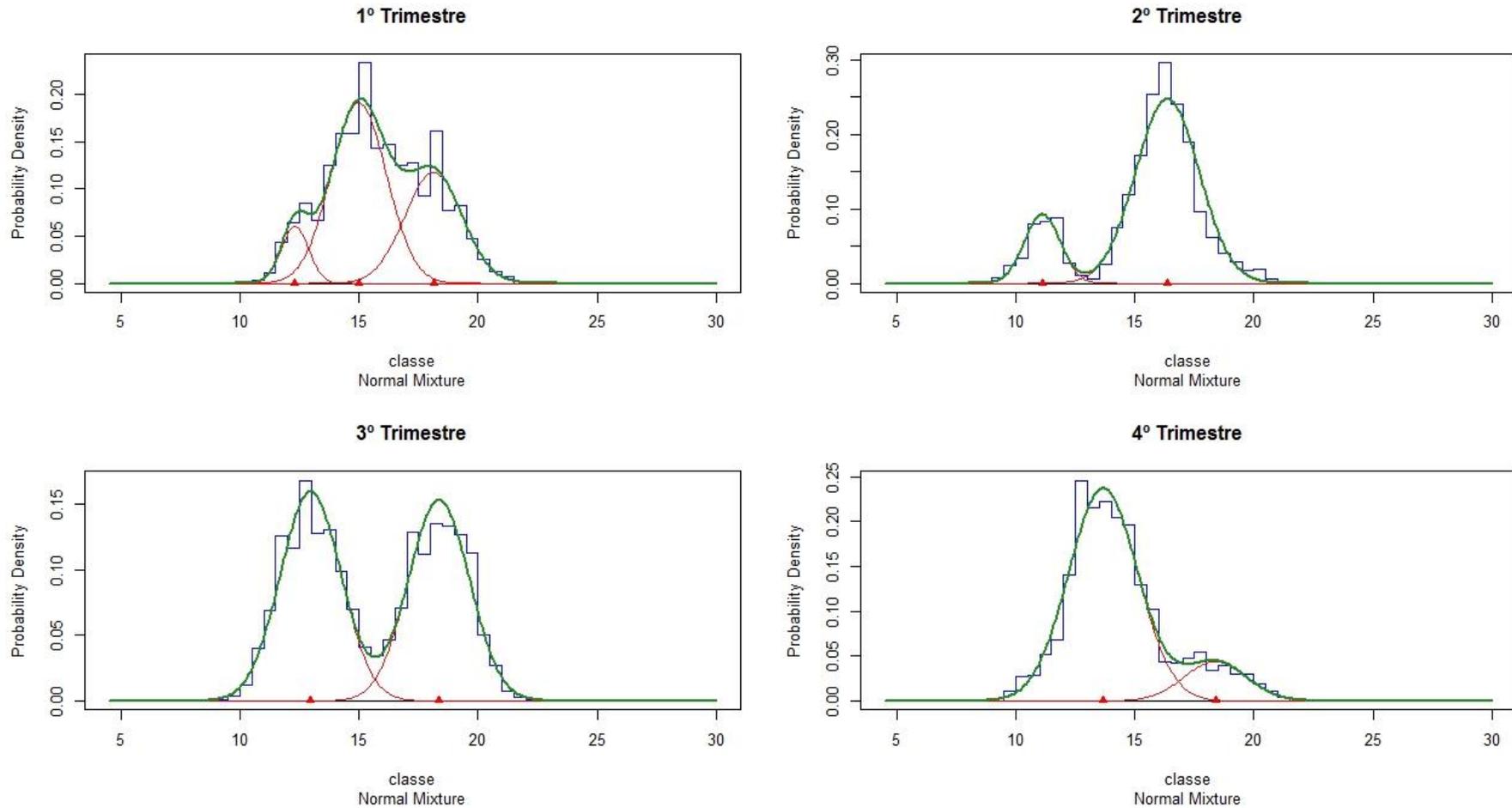


Figura 29 Análise de separação de componentes normais da distribuição de frequência por classes de comprimento dos dados de desembarques nos diferentes trimestres do ano 2000 da zona Norte, obtida através do pacote estatístico "MIXDIST" (MacDonald & Green, 1988).

Da análise de classes modais, da qual resultou a figura 29, obteve-se os seguintes parâmetros para os diferentes trimestres, onde pi é a proporção estimada de indivíduos da respectiva classe modal na amostra, mu é o comprimento médio da classe modal e $sigma$ é desvio padrão da mesma classe modal:

1.º trimestre:

Parameters:

	<i>pi</i>	<i>mu</i>	<i>sigma</i>
1	0.08693	12.31	0.571
2	0.55690	14.99	1.160
3	0.35617	18.13	1.206

Standard Errors:

	<i>pi.se</i>	<i>mu.se</i>	<i>sigma.se</i>
1	8.434e-05	0.0004939	0.0003227
2	2.697e-04	0.0004907	0.0005938
3	2.140e-04	0.0009061	0.0004421

Analysis of Variance Table

	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
Residuals	19	2629010	< 2.2e-16 ***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

2.º trimestre

Parameters:

	<i>pi</i>	<i>mu</i>	<i>sigma</i>
1	0.1732	11.11	0.7464
2	0.8268	16.37	1.3331

Standard Errors:

	<i>pi.se</i>	<i>mu.se</i>	<i>sigma.se</i>
1	3.188e-05	0.0001583	1.176e-04
2	3.188e-05	0.0001250	9.339e-05

Analysis of Variance Table

	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
Residuals	23	9358437	< 2.2e-16 ***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

3.º trimestre

Parameters:

	<i>pi</i>	<i>mu</i>	<i>sigma</i>
1	0.509	12.97	1.271
2	0.491	18.36	1.276

Standard Errors:

	<i>pi.se</i>	<i>mu.se</i>	<i>sigma.se</i>
1	3.286e-05	0.0001282	0.0001007
2	3.286e-05	0.0001316	0.0001035

Analysis of Variance Table

	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
Residuals	27	6591953	< 2.2e-16 ***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

4.º trimestre

Parameters:

	<i>pi</i>	<i>mu</i>	<i>sigma</i>
1	0.8554	13.67	1.441
2	0.1446	18.38	1.314

Standard Errors:

	<i>pi.se</i>	<i>mu.se</i>	<i>sigma.se</i>
1	2.9e-05	0.0001108	8.545e-05
2	2.9e-05	0.0003564	2.362e-04

Analysis of Variance Table

	<i>Df</i>	<i>Chisq</i>	<i>Pr(>Chisq)</i>
Residuals	28	10952840	< 2.2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1