



ESCOLA NAVAL



ta sante e bi e faire

Catarina de Jesus Pereira dos Santos da Silva

Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da Temperatura da Superfície do Mar nas Águas Marinhas Portuguesas

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha



Alfeite

2020



ESCOLA NAVAL

ta sante ubi faire



Catarina de Jesus Pereira dos Santos da Silva

Análise da variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície do mar nas águas marinhas Portuguesas

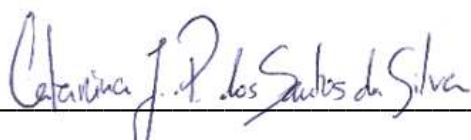
Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha.

Orientação de: Doutora Luísa Andrade e Sousa Lamas

Coorientação de: Professor Doutor Ricardo Pinto Moura

A Aluna Mestranda,

A Orientadora,



Catarina de Jesus Pereira dos

Santos da Silva



Luísa Andrade e Sousa Lamas

Alfeite

2020

Agradecimentos

Esta dissertação de mestrado, realizada num contexto pandémico devido ao coronavírus, caracterizou-se por um excelente apoio e adaptação por parte daqueles envolvidos, e por isso, não poderia deixar de prestar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço à Doutora Luísa Lamas por se ter disponibilizado para orientar esta dissertação, por todo o conhecimento transmitido na área da oceanografia, e por todas as sugestões que foram essenciais ao desenvolvimento deste trabalho. Acrescento ainda um agradecimento, numa primeira fase, pela disponibilidade em me atribuir uma área de trabalho próxima no Instituto Hidrográfico, e, mais tarde, pela inteira flexibilidade no aconselhamento e seguimento de todo o processo.

Em seguida, um sincero agradecimento ao Professor Doutor Ricardo Moura pela ajuda cedida no âmbito da linguagem de programação, estando sempre disponível para assessorar as minhas dúvidas e devaneios. Sem o seu auxílio e adaptação ao regime pandémico, o processo teria sido deveras moroso e ainda mais complexo.

Agradeço, também, ao Instituto Hidrográfico pela parceria realizada na obtenção dos dados das boias, uma vez que sem eles esta dissertação de mestrado não se teria realizado. Em particular, gostaria de agradecer a quem disponibilizou parte do seu tempo para acrescentar conhecimento a esta dissertação. Agradeço aqui em especial, à Inês Martins e à Rita Esteves, colaboradoras do Instituto Hidrográfico, que, apesar do contexto vivido, se disponibilizaram prontamente para esclarecer as minhas dúvidas, e adicionar informação relativa às características e funcionalidades das boias em estudo. E também, aos membros do júri pela celeridade na correção desta dissertação, e pelos comentários cedidos que contribuíram para enriquecer o conteúdo científico desta tese.

Por último, um agradecimento muito especial aos que me apoiaram pessoalmente, e que, por termos vivido tempos excecionais, me ajudaram a motivar e enfrentar esta dissertação de mestrado sempre com a maior vontade e positividade.

Resumo

Este estudo foca-se na análise da variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície do mar (TSM) na costa de Portugal Continental dispondo de dados da TSM recolhidos *in situ* por sete boias (boias ondógrafo e meteo-oceanográficas) operadas pelo Instituto Hidrográfico, distribuídas ao longo e ao largo da costa Portuguesa. A motivação para este estudo surge no âmbito da análise de um dos parâmetros fundamentais no estudo do oceano, a TSM, considerando as mais recentes temáticas como é o caso das alterações climáticas, e como estas poderão estar a influenciar a dinâmica dos oceanos e os seus ecossistemas. Os períodos de estudo analisados para as boias ondógrafo foram cerca de 20 anos, e para as boias meteo-oceanográficas entre 5 e 10 anos. Os dados, depois de tratados e agregados, foram analisados mediante o cálculo de médias diárias, mensais e anuais. Através das séries temporais construídas estudou-se a variabilidade sazonal e interanual da TSM, com particular foco na caracterização climática das regiões de Leixões, Sines e Faro, tendo em consideração evidências de eventos de afloramento costeiro (*upwelling*) e anomalias térmicas. Observou-se um padrão oceânico quasi-periódico da TSM (2-3 anos), e que a TSM no território português descreve um padrão sazonal. Verificou-se uma tendência para um ligeiro aumento da TSM na região de Faro e um ligeiro decréscimo na região de Sines. A análise da última década (2010-2019), revelou uma tendência para o decréscimo da TSM em todo o território português, inclusive, entre as regiões costeiras e do largo. Este estudo permitiu caracterizar o regime térmico da costa Portuguesa nas últimas décadas, e verificar que a TSM não está, tendencialmente, a variar de igual forma na região de Portugal Continental. É, no entanto, necessário aprofundar este estudo, complementando com outras bases de dados (imagens satélite, flutuadores argo, etc.), para obter conclusões mais robustas.

Palavras-chave: Portugal, Instituto Hidrográfico, Boias, Temperatura da superfície do mar, *Upwelling*.

Abstract

This study focuses on the analysis of the spatial-temporal variability of the sea surface temperature (SST) on the coast of mainland Portugal with SST data collected *in situ* by seven buoys (oceanographic and meteo-oceanographic buoys) operated by the Portuguese Hydrographic Institute, distributed along and off the Portuguese coast. The motivation for this study comes from the analysis of one of the fundamental parameters in the study of the ocean, SST, considering the most recent themes such as climate change, and how these may be influencing the dynamics of the oceans and their ecosystems. The study periods analysed for the oceanographic buoys were about 20 years, and for the meteoceanographic buoys between 5 and 10 years. The data, once processed and aggregated, were analysed by calculating daily, monthly and annual averages. Through the time series built, the seasonal and inter-annual variability of SST was studied, with particular focus on the climatic characterization of the regions of Leixões, Sines and Faro, taking into account evidence of upwelling and thermal anomalies. A quasi-periodic oceanic pattern of SST (2-3 years) was observed, and SST in the Portuguese territory describes a seasonal pattern. There was a tendency for a slight increase of SST in the Faro region and a slight decrease in the Sines region. The analysis of the last decade (2010-2019), revealed a tendency for a decrease of SST in the whole Portuguese territory, including between inshore and offshore regions. This study allowed to characterize the thermal regime of the Portuguese coast in recent decades, and to verify that SST is not tending to vary equally in the region of mainland Portugal. It is, however, necessary to deepen this study, complementing it with other databases (satellite images, argo floats, etc.), in order to obtain more robust conclusions.

Keywords: Portugal, Portuguese Hydrographic Institute, Buoys, Sea surface temperature, Upwelling.

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo	III
Abstract.....	V
Índice de Figuras	IX
Índice de Tabelas	XIII
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	XV
Introdução	1
Área de Estudo	4
1. Materiais e Métodos	11
1.1 Dados das Boias (Dados <i>in situ</i>)	11
1.1.1 Caracterização das Boias	12
1.1.2 Fator de Qualidade.....	14
1.2 Tratamento dos Dados	15
1.2.1 Fase 1.....	16
1.2.2 Fase 2.....	16
1.2.3 Fase 3.....	17
1.2.4 Limitações do estudo da base de dados <i>in situ</i>	18
2. Análise dos Resultados.....	19
2.1 Análise da TSM das séries temporais das boias em estudo	19
2.2 Análise climatológica das regiões de Leixões, Sines e Faro, através dos dados das boias ondógrafo	23
2.2.1 Anomalias térmicas da TSM nas regiões de Leixões, Sines e Faro... 28	
2.3 Comparação da TSM recolhida pelas boias costeiras e oceânicas, para o mesmo período temporal	33
2.4 Análise da última década dos dados <i>in situ</i> das boias em estudo.....	38
3. Discussão dos Resultados.....	41
4. Conclusão	53
4.1 Recomendações para Trabalhos Futuros	54
5. Referências.....	55

6. Apêndices	59
Apêndice A - Média Aritmética Ponderada	59
Apêndice B – Gráficos das boias meteo-oceanográficas relativos à última década.....	61
Apêndice C – Proposta de resumo alargado submetida nas 6. ^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 1. ^{as} Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia	63

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo e das boias integradas no presente estudo. ©Instituto Hidrográfico.....	4
Figura 2 - Geografia da costa Portuguesa, demonstrando a complexidade da topografia oceânica e terrestre do território português. De norte para sul: OC, Canhão do Porto; AC, Canhão de Aveiro; NC, Canhão da Nazaré; CC, Cabo Carvoeiro; CR, Cabo da Roca; CE, Cabo Espichel; CS, Cabo de Sines; CSV, Cabo de São Vicente; PC, Canhão de Portimão; CSM, Cabo de Santa Maria. (Adaptada de Relvas <i>et al.</i> , 2007).....	5
Figura 3 - Imagem que sugere o contraste previsível da TSM na costa Portuguesa associado ao fenómeno de <i>upwelling</i> , referente ao dia 29 de julho de 2003. (Adaptada de Relvas <i>et al.</i> , 2007).....	7
Figura 4 - Exemplar de uma boia ondógrafo gerida pelo IH. ©Instituto Hidrográfico.....	13
Figura 5 - Exemplar de uma boia meteo-oceanográfica gerida pelo IH. ©Instituto Hidrográfico.....	13
Figura 6 - Séries temporais das médias mensais da TSM das sete boias em estudo: boias ondógrafo de Leixões (1998-2019) (a), Sines (1996-2019) (b) e Faro (1986-2019) (c), e boias meteo-oceanográficas FarOff (2014-2019) (d), Raia (2010-2019) (e), Monican01 (2009-2019) (f) e Monican02 (2010-2019) (g).	21
Figura 7 – Média das médias mensais da TSM, nas boias ondógrafo de Leixões (1998-2019), Sines (1996-2019) e Faro (1986-2019), obtidas através da base de dados das médias mensais.....	23
Figura 8 – Diagrama de extremos e quartis das médias mensais da TSM da boia ondógrafo de Leixões (1998-2019), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar a distribuição da TSM nesta região para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.....	24
Figura 9 – Série temporal da região de Leixões (1998-2019), com as médias mensais (linha vermelha) e a sobreposição das respetivas médias anuais (linha rosa). A	

linha tracejada representa a regressão linear aplicada à base de dados, e de onde se retira a tendência da TSM de 0,002°C/ano.	25
Figura 10 – Diagrama de extremos e quartis das médias mensais da TSM da boia ondógrafo de Sines (1996-2019), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar a distribuição da TSM nesta região para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.	26
Figura 11 – Série temporal da região de Sines (1996-2019), com as médias mensais (linha azul) e a sobreposição das respetivas médias anuais (linha rosa). A linha picotada representa a regressão linear aplicada à base de dados, e de onde se retira a tendência da TSM de -0,012°C/ano.....	26
Figura 12 – Diagrama de extremos e quartis das médias mensais da TSM da boia ondógrafo de Faro (1986-2019), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar a distribuição da TSM nesta região para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.	27
Figura 13 – Série temporal da região de Faro (1986-2019), com as médias mensais (linha verde) e a sobreposição das respetivas médias anuais (linha rosa). A linha picotada representa a regressão linear aplicada à base de dados, e de onde se retira a tendência da TSM de 0,016°C/ano.	28
Figura 14 - Variação interanual das anomalias da TSM, obtidas a partir dos valores mensais da boia ondógrafo de Leixões (1998-2019), onde os espaços em branco representam a inexistência de registos.....	29
Figura 15 – Variação interanual das anomalias da TSM, obtidas a partir dos valores mensais da boia ondógrafo de Sines (1996-2019), onde os espaços em branco representam a inexistência de registos.....	30
Figura 16 – Variação interanual das anomalias da TSM, obtidas a partir dos valores mensais da boia ondógrafo de Faro (1986-2019), onde os espaços em branco representam a inexistência de registos.....	31
Figura 17 – Diagramas de extremos e quartis das médias mensais da TSM das boias meteo-oceanográficas Raia (2010-2019) (a), Monican01 (2009-2019) (b), Monican02 (2010-2019) (c) e FarOff (2010-2019) (d), obtidas a partir da base de dados	

das médias mensais. O objetivo é visualizar as amplitudes da TSM nessas regiões para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM. 34

Figura 18 – Em cima (a), a média das médias mensais da TSM, da boia costeira de Leixões e da boia oceânica Raia, obtidas a partir da base de dados das médias mensais, para o período 2010-2019. Em baixo (b), a série temporal das médias mensais para o período temporal referido..... 35

Figura 19 – Em cima (a), a média das médias mensais da TSM, da boia costeira Monican02 e da boia oceânica Monican01, obtidas a partir da base de dados das médias mensais, para o período 2010-2019. Em baixo (b), a série temporal das médias mensais para o período temporal referido. 36

Figura 20 – Em cima (a), a média das médias mensais da TSM, da boia costeira de Faro e da boia oceânica FarOff, obtidas a partir da base de dados das médias mensais, para o período 2014-2019. Em baixo (b), a série temporal das médias mensais para o período temporal referido..... 37

Figura 21 – Variação interanual da TSM obtida através das médias mensais das boias ondógrafo de Leixões (a), Sines (b) e Faro (c), para o período compreendido entre 2010 e 2019. Daqui se retiram as tendências para as regiões de Leixões, $-0,08^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, Sines, $-0,11^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, e Faro, $-0,08^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ 39

Figura 22 - Variação interanual das médias mensais de julho, agosto e setembro, para as regiões de Leixões (a), Sines (b) e Faro (c). O objetivo será observar a evolução da TSM nestes meses, considerando que é onde se manifesta o fenómeno de *upwelling*, para que se possam retirar breves conclusões sobre esse fenómeno na costa de PT. As figuras geométricas assinalam os períodos temporais com menores temperaturas médias mensais. 44

Figura 23 - Variação interanual da TSM obtida através das médias mensais das boias meteo-oceanográficas Raia (a), Monican01 (b), Monican02 (c), para o período 2010-2019, e FarOff (d), para o período 2014-2019. Daqui se retiram as tendências para as regiões de Leixões (Raia), $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, Nazaré (Monican01 e 02), $-0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $-0,014^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, respetivamente, e Faro (FarOff), $-0,4^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ 61

Índice de Tabelas

Tabela I - Informação descritiva de cada boia em estudo. As cores servem para distinguir a localização de cada boia: boias com localização costeira (azul) e boias com localização oceânica (laranja).....	12
Tabela II – Descrição dos FQ associados aos dados após o controlo de qualidade efetuado pelo IH. ©Instituto Hidrográfico.....	14
Tabela III – Amostragem, em percentagem (%), dos FQ incluídos na base de dados preliminar das boias meteo-oceanográficas.	14
Tabela IV - Amostragem, em percentagem (%), da DM na base de dados em estudo, obtida a partir da base de dados dos valores mensais (por se considerar ser a mais significativa na abordagem desta questão). A simbologia das cores coincide com as da Tabela I.....	15

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

AA – Anticiclone dos Açores (ou Alta dos Açores)

AI – Área de Interesse

AIS – *Automatic Identification System*

CCC – Contra-corrente Costeira

CCUS – *Canary Current Upwelling System*

COPI – Costa Oeste da Península Ibérica

COPT – Costa Oeste de Portugal Continental

CSPT – Costa Sul de Portugal Continental

DM – *Data Missing*

ENSO – *El Niño-Southern Oscillation*

FQ – Fator de Qualidade

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GPS – *Global Positioning System*

IH – Instituto Hidrográfico

MONIZEE - Sistema integrado de monitorização em tempo real e previsão operacional da Zona Económica Exclusiva Portuguesa

NAO – *North Atlantic Oscillation*

PI – Península Ibérica

PT – Portugal Continental

SST – *Sea Surface Temperature*

TAP – Transportes Aéreos Portugueses

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

VHF – *Very High Frequency*

ZEE – Zona Económica Exclusiva

ZTC – Zona de Transição Costeira

Introdução

A temperatura da superfície do mar (TSM) é um parâmetro ambiental relevante no estudo do oceano, uma vez que a circulação atmosférica e o equilíbrio do clima global estão dependentes do fluxo de energia e massa entre a atmosfera e o oceano. Disto dependem diversos sistemas marinhos, a circulação dos oceanos, padrões meteorológicos, e conseqüentemente, o vapor de água na atmosfera. Assim, entender a sua variação a curto e longo prazo é essencial.

A monitorização e estudos da TSM a nível global são importantes na medida em que se possam melhorar os modelos climáticos que irão simular possíveis cenários futuros que contribuirão para adotar políticas de emissões com origem antropogénica, para que possam ser mitigadas (Casey e Cornillon, 2001). No entanto, os maiores desafios para o estudo do oceano são a sua monitorização, devido à sua dimensão, e a aquisição, manutenção e desenvolvimento dos meios necessários para o seu estudo.

A motivação para o estudo desse parâmetro prende-se no facto de que as variações térmicas e as trocas de calor ocorrem maioritariamente à superfície e não em oceano profundo. Por norma, o conceito de TSM refere-se à medição da temperatura da água entre os 10 cm e os 7 m de profundidade, genericamente denominada por temperatura *bulk* (Sutcliffe *et al.*, 2016), que correspondem à camada de mistura caracterizada por oscilações diárias e sazonais. Essas oscilações são consequência de fatores ambientais, principalmente, pela incidência da radiação solar, persistência de ventos e influência das ondas. O fluxo de radiação solar que incide no oceano será variável com a estação do ano, latitude, hora do dia, e existência de nuvens (Stewart, 2008). A camada de mistura é mais espessa em latitudes médias do que no equador, sendo que nas latitudes polares se confunde com a própria camada isotérmica profunda em toda a coluna de água. Nas latitudes médias, durante a época do verão, a camada superficial do oceano apresenta uma estrutura estratificada (pela relaxação do vento), tornando a camada de mistura inexistente ou com menos profundidade. No inverno,

devido essencialmente à mistura forçada pela ação do vento e agitação marítima, a espessura da camada de mistura é maior.

O estudo da TSM torna-se também importante uma vez que as suas variações térmicas são dos principais indicadores para o fenómeno de *upwelling*, que ocorre sazonalmente na Costa Oeste da Península Ibérica (COPI). A COPI constitui o limite norte do sistema de *upwelling* da corrente das Canárias (*Canary Current Upwelling System – CCUS*), um dos sistemas de *upwelling* costeiro mais proeminentes do mundo (deCastro *et al.*, 2008).

Um sistema de *upwelling* costeiro é forçado pelo regime de vento e constrangido pela existência de uma barreira – a costa. No caso da COPI, este sistema tem um carácter sazonal, forçado pela permanência de vento de norte – a Nortada – durante os meses de verão. Com isso, de acordo com a teoria de Ekman, haverá divergência na zona costeira se a tensão devida ao vento a atuar na camada superficial do oceano for em direção ao equador, sendo a resposta a esse regime de vento um fluxo na camada superficial do oceano com direção para oeste, que provoca o afloramento de água profunda junto à costa (Fiúza *et al.*, 1982; deCastro *et al.*, 2008). O afloramento dessa água profunda descreve o fenómeno de *upwelling*, que transporta água com temperaturas baixas e rica em nutrientes para a superfície (NOAA, s.d.-a), permitindo o desenvolvimento de vida marinha e o aumento da concentração de fitoplâncton, do qual beneficiam peixes, mamíferos marinhos e aves marinhas, alguns posicionados no topo na cadeia alimentar (NOAA, 2019). Assim, o oceano na COPI na época de *upwelling*, apresenta uma frente térmica de elevado contraste entre as águas costeiras, mais frias, provenientes do afloramento, e as águas mais quentes do largo (Sutcliffe *et al.*, 2016). Esta frente é frequentemente denominada por “zona de transição costeira” (ZTC), e em conjunto com o sistema de correntes da Califórnia e com o da costa Noroeste africana, são dos sistemas mais estudados do oceano (Sánchez e Relvas, 2003).

É assim visível que o estudo destes sistemas se torna complexo e importante, no sentido em que contribuem para o conhecimento da dinâmica dos oceanos e para a construção de modelos de previsão para a circulação dessas massas de água, e a sua influência nos respetivos ecossistemas.

Com a evidência de um aquecimento global generalizado pelos gases de efeito de estufa (GEE), Bakun (1990) alerta para as suas consequências no oceano uma vez que os seus processos e a sua dinâmica, que determinam a distribuição da temperatura a nível global, podem ser substancialmente alterados. Reforça um aumento generalizado do *upwelling*, que induz águas costeiras mais frias, e que pelo grande contraste de temperatura estabelecido as brisas marítimas sentidas no verão podem intensificar-se, assim como o verão em regiões costeiras pode tornar-se mais frio e nebuloso, caracterizado por ar menos húmido como consequência da elevada perda de calor e de menor evaporação devido a uma superfície do oceano mais fria.

Diversos estudos (Casey e Cornillon, 2001; Lemos e Pires, 2004; Lemos e Sansó, 2006; deCastro *et al.*, 2008; Relvas *et al.*, 2009) concluem que independentemente do período de tempo analisado, a TSM tem tendência para um aumento gradual no Atlântico Norte, com especial incidência nas zonas costeiras, considerando que as anomalias da TSM não são lineares e que apresentam flutuações inter-decais e anuais, podendo inclusive revelar magnitudes significativas. Por exemplo, o estudo de Lemos e Sansó (2006) revela que o oceano é alvo de diversas alterações com implicação na temperatura, como a fase de arrefecimento do Atlântico Norte entre 1950 e 1970. Alguns estudos relacionaram a variação da TSM com variações atmosféricas, com diferenças de fase de cerca de 1 mês, considerando que o verão no oceano se prolonga até ao outono (Fiúza *et al.*, 1982; Sánchez e Relvas, 2003).

Uma das formas de recolha de informação sobre a TSM é através de boias (Martins *et al.*, 2014; Binner, 2018) que constituem das mais antigas bases de dados disponíveis sobre esta matéria. Nesta tese foram analisados dados de TSM recolhidos *in situ* por sete boias fundeadas ao largo e ao longo da costa de Portugal Continental (a ser definido daqui por diante por PT), geridas pelo Instituto Hidrográfico (IH) e incluídas no programa MONIZEE - sistema integrado de monitorização em tempo real e previsão operacional da Zona Económica Exclusiva (ZEE) Portuguesa. A localização dessas boias permite uma cobertura, de norte a sul, da área marinha da costa oeste (COPT) e da costa sul (CSPT) de PT.

Área de Estudo

Para o desenvolvimento deste estudo foi determinada uma área no Atlântico Nordeste, a oeste e sul do território de PT que englobasse as sete boias, distribuídas de norte a sul do país, e que se encontram fundeadas perto de costa (doravante denominadas boias costeiras) e ao largo (boias oceânicas) nas regiões de Leixões, Nazaré, Sines e Faro (Figura 1).

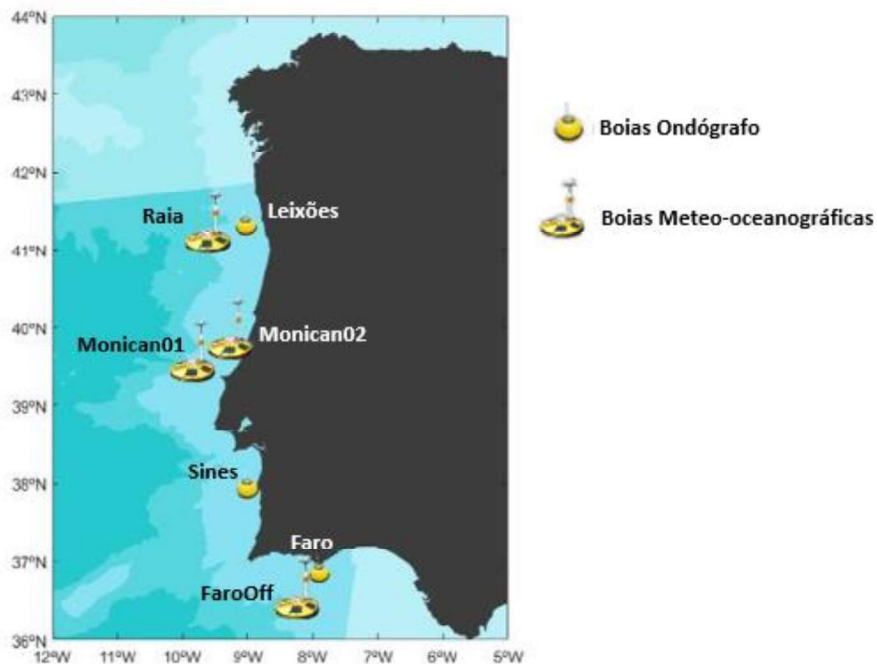


Figura 1 - Localização da área de estudo e das boias integradas no presente estudo. ©Instituto Hidrográfico

A área de interesse (AI), demonstrada pela Figura 1, insere-se na ZEE Portuguesa, mais concretamente naquela designada subárea do continente, estendendo-se para lá da plataforma continental Portuguesa, sendo um local de elevada riqueza biológica e de recursos marítimos acentuados. É também, uma área onde Portugal exerce a sua soberania e na qual tem jurisdição para exploração, gestão e conservação dos recursos nela presentes (DGRM, 2018). É do conhecimento geral que os Portugueses exercem grande presença no litoral uma vez que a sua fauna marinha é rica e por isso de grande interesse para aqueles que a estudam e, também, para aqueles que dela se sustentam.

O território continental e marítimo de PT apresenta inúmeras e acentuadas protuberâncias geográficas onde se inserem as orientações das linhas de costa e as suas conseqüências, a batimetria diversa e as irregularidades do fundo do mar (Figura 2). A COPT estende-se aproximadamente da longitude dos 9°W aos 11°W, e compreende as latitudes entre os 37°N e os 42°N. A costa sul orienta-se, na latitude dos 37°N, entre as longitudes, aproximadamente, dos 7°W e dos 9°W.



Figura 2 - Geografia da costa Portuguesa, demonstrando a complexidade da topografia oceânica e terrestre do território português. De norte para sul: OC, Canhão do Porto; AC, Canhão de Aveiro; NC, Canhão da Nazaré; CC, Cabo Carvoeiro; CR, Cabo da Roca; CE, Cabo Espichel; CS, Cabo de Sines; CSV, Cabo de São Vicente; PC, Canhão de Portimão; CSM, Cabo de Santa Maria. (Adaptada de Relvas *et al.*, 2007)

Durante todo o ano, a COPT é afetada por fenômenos atmosféricos diversos, sendo de realçar como principal vetor influenciador do clima português, o vento.

No Atlântico Norte, a dinâmica oceânica e atmosférica é maioritariamente afetada pelo anticiclone dos Açores (AA), pela vertente norte da alta subtropical do Hemisfério Norte e ainda pela baixa pressão da Islândia.

O centro do AA, de março a agosto, move-se na longitude dos 38°W e nas latitudes dos 27°N a 33°N respetivamente. De novembro a fevereiro desloca-se para leste atingindo a longitude dos 23°W em janeiro, como consequência do aumento da intensidade das altas pressões no inverno sobre a Europa e África. Em suma, este fenómeno traduz-se na COPT pela predominância de ventos moderados de oeste no inverno, e de ventos relativamente fortes dos setores de norte e noroeste no verão, propícios ao forçamento de *upwelling* ao longo da COPT. No pico do verão, nos meses de julho e agosto, os ventos de norte tornam-se mais fortes pelo desenvolvimento de uma baixa pressão no centro da Península Ibérica (PI) (Fiúza *et al.*, 1982; Relvas *et al.*, 2007).

Na COPT o fenómeno de *upwelling*, comum e em determinadas regiões de elevada intensidade, tem ocorrência tipicamente sazonal, uma vez que está dependente da persistência dos ventos favoráveis e consequentemente da dinâmica do AA. Pelo conceito de *upwelling* costeiro já definido, e pela breve descrição do comportamento do AA, é expectável que esse fenómeno seja visível na COPT no período do verão – julho a setembro (Fiúza *et al.*, 1982; Relvas *et al.*, 2009) –, por outro lado na CSPT os ventos predominantes teriam de ser de oeste, e tal não se verifica tão intensamente neste período pelo que será expectável uma menor intensidade na zona de Faro (Figura 3), também protegida dos ventos de norte pelo cabo de São Vicente.

Diversos estudos debruçam-se na investigação do fenómeno de *upwelling* na COPI, e constata-se conclusões divergentes. Nisto, alguns autores defendem que o fenómeno se está a intensificar (Bakun, 1990; Relvas *et al.*, 2009; Silva e Silva, 2012), enquanto outros defendem o oposto (Lemos e Pires, 2004; Lemos e Sansó, 2006).

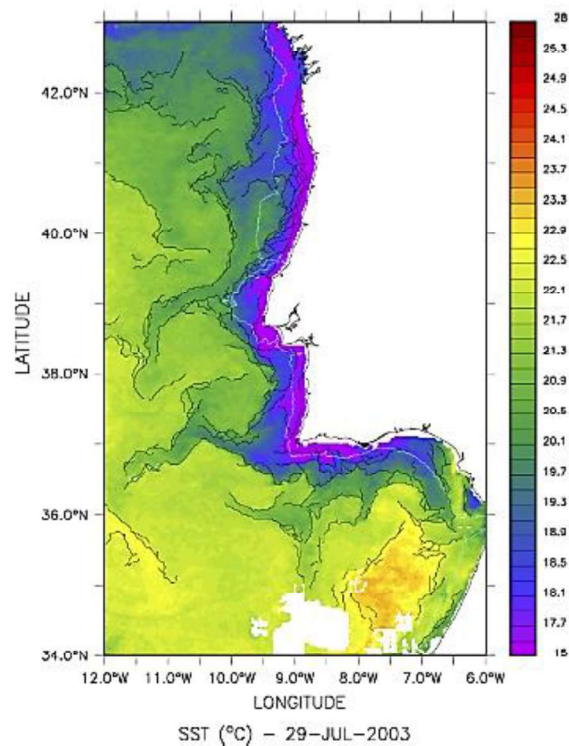


Figura 3 - Imagem que sugere o contraste previsível da TSM na costa Portuguesa associado ao fenómeno de *upwelling*, referente ao dia 29 de julho de 2003. (Adaptada de Relvas *et al.*, 2007)

No que concerne a análise da TSM na COPI, existem na literatura alguns estudos que deverão ser considerados.

Relvas *et al.* (2009), no período compreendido entre 1960 e 2003, concluem as seguintes tendências, na região de Leixões de 0,031°C/ano, e na região de Sines de 0,030°C/ano. Para o período de 1985 a 2003, conclui para Leixões a tendência de 0,037°C/ano e para Sines de 0,037°C/ano. Estes valores registados em períodos diferentes, demonstram que o período de análise é preponderante na comparação dos dados com outros estudos semelhantes.

Em deCastro *et al.* (2008), num estudo referente ao período 1985-2005, descrevendo amplitudes sazonais da TSM, é sugerido um aumento da TSM na COPI – entre os 37°N e os 43°N – de 4 a 5°C, durante os meses de dezembro a maio, como consequência da variação de incidência dos raios solares. E ainda, um decréscimo da TSM de junho a novembro, de cerca de 2°C. No que concerne à TSM na costa sul– entre os 7°W e os 12°W –, os mesmos autores descrevem que as amplitudes da temperatura

da água aproximam-se de valores máximos dos 3°C, em agosto e setembro, considerando amplitudes negligenciáveis de dezembro a maio.

No estudo de Lemos e Pires (2004) as tendências observadas sugerem um ligeiro aumento da TSM de 0,010 °C/ano em regiões costeiras, e de 0,002 °C/ano nas regiões ao largo, especificando para o período de 1941-2000, um aumento da TSM nas regiões costeiras cinco vezes superior aos registados ao largo. Lemos e Sansó (2006) constataram que a TSM tem tendência a sofrer um ligeiro aumento a leste dos 12°W, principalmente em águas costeiras, apresentando valores médios dessa tendência de 1,2°C/100 anos, para regiões costeiras (longitudes inferiores a 10°W), e de 0,2°C/100 anos para a TSM ao largo. Sugerindo, ambos os estudos, uma tendência de aumento da TSM sobretudo junto à costa.

Os autores Silva e Silva (2012), num estudo sobre a evolução da TSM na costa de PT através dos dados *in situ* das boias costeiras de Leixões, Sines e Faro, para um período temporal compreendido entre 1996 e 2011, permitem aferir valores mínimos expectáveis para a TSM dessas regiões. Assim, discriminam-se os mínimos em Leixões, Sines e Faro, de respetivamente, 13°C, 13,5°C e 15°C. Sugerem, ainda, a diminuição dos valores da TSM mínimos em Leixões (entre 2003 e 2009), e um aumento médio anual da TSM na costa sul de 0,1°C.

O uso das boias oceânicas, apesar do período temporal disponível para estudo ser ainda reduzido, serve de comparação entre a evolução da TSM na zona costeira e ao largo, e pode ser considerado um indicador para o fenómeno de *upwelling* (Fiúza *et al.*, 1982; deCastro *et al.*, 2008; Relvas *et al.*, 2009). Segundo a NOAA (2016), a TSM ao largo é superior àquela perto de costa, uma vez que fatores predominantes nessas regiões poderão influenciar com maior intensidade as regiões costeiras do que aquelas ao largo (são exemplos, descargas dos rios, massas de ar continentais, correntes oceânicas costeiras e o fenómeno de *upwelling*).

O objetivo deste estudo é a caracterização da evolução da TSM na costa Portuguesa através da análise dos dados *in situ* recolhidos pelas sete boias, e mais concretamente, a caracterização climática das regiões de Leixões, Sines e Faro, através

dos dados das boias ondógrafo. Assim, esta dissertação tem o desígnio de alcançar resposta à seguinte questão central:

Qual a variação, geográfica e temporal, da TSM nas águas costeiras de PT?

Como consequência da questão anterior, revelam-se as seguintes questões derivadas:

- Verifica-se sazonalidade na TSM?
- Observam-se evidências do fenómeno de *upwelling* nos dados da TSM?
- O comportamento da TSM é semelhante entre as regiões costeiras e as do largo?

Em suma, esta tese está estruturada da seguinte forma: O primeiro capítulo descreve os materiais utilizados, neste caso os dois tipos de boias em estudo, e também, o processo de tratamento da base de dados elaborado nesta dissertação. O capítulo 2 expõe toda a análise desenvolvida, mais concretamente a análise das séries temporais das sete boias em estudo, onde se inclui, a análise da sua sazonalidade, com atenção a evidências da ocorrência do fenómeno de *upwelling*; anomalias térmicas nas regiões de Leixões, Sines e Faro (boias ondógrafo); comparação entre a TSM registada nas regiões costeiras e do largo das boias onde se permite essa comparação, para o mesmo período temporal (período de 2010 a 2019 para Leixões; 2010 a 2019 para as boias Monican (Nazaré); e de 2014 a 2019 para Faro). Adicionalmente, apresenta-se a análise da última década (2010-2019) das regiões de Leixões, Sines e Faro, fazendo uso dos dados das boias ondógrafo. Seguidamente, o terceiro capítulo corresponde à discussão dos resultados, onde se procurou encontrar respostas para as questões propostas, e ainda para aquelas que tenham surgido no decorrer desta tese. Aqui, em acrescento, elaborou-se uma breve análise para o período considerado a época de *upwelling*, onde se pôde constatar que o estudo desse fenómeno é dos mais complexos e necessita da análise de elementos complementares (por exemplo, o vento) para se retirarem conclusões mais rigorosas. Em último lugar, apresenta-se a conclusão e propostas para trabalhos futuros no capítulo 4.

Finalizando, este trabalho representa uma primeira análise para este período temporal de dados e de todas as boias, pelo que se considera relevante, podendo suscitar novas questões, ou reforçar outras, sobre a costa Portuguesa, por exemplo no estudo da dinâmica do oceano e na área das pescas, sobre as quais poderá haver interesse em estudos futuros.

1. Materiais e Métodos

Neste estudo foram analisados os registos de TSM recolhidos por sete boias fundeadas ao longo da Costa Portuguesa durante as últimas décadas. Este conjunto de boias é gerido pelo IH através do programa MONIZEE tendo a capacidade de efetuar a recolha de dados de TSM em períodos, frequentes, e em torno de uma posição geográfica fixa.

O tratamento dos dados foi efetuado com recurso a linguagem de programação *Python* 3.8 (VanderPlas, 2017), por forma a uniformizar a base de dados e a produzir informação visual que auxiliasse a sua análise.

1.1 Dados das Boias (*Dados in situ*)

Na presente secção pretende-se descrever as sete boias em análise, para que se compreendam as suas diferenças e como essas afetam as medições da TSM.

As boias selecionadas dividem-se em dois tipos: as boias ondógrafo (*Datawell Waverider*) e as boias meteo-oceanográficas (*Meteo–oceanographic Oceanor Wavescan*). Estas boias estão integradas na AI, tratando-se quantitativamente de três boias ondógrafo e quatro boias meteo-oceanográficas. Por norma, as boias ondógrafo encontram-se perto de costa, enquanto as outras estão localizadas ao largo, à exceção da boia Monican02 que tem posição costeira (Tabela I).

A utilização de boias foi ponderada pela sua capacidade em providenciar longos períodos temporais de recolha de dados, em tempo real e frequentes, pelo seu controlo de qualidade e localização geográfica. A entidade Portuguesa de referência nesta área, o IH, define uma boia como, uma “plataforma instrumentada, não tripulada, a operar livremente na superfície da coluna da água, fundeada de modo a manter-se em torno de uma posição fixa.” (IH, 2018), acrescentando que “Pode ter associados uma multiplicidade de diferentes sensores.”, sendo as últimas denominadas por boias multiparamétricas (Martins *et al.*, 2014).

Tabela I - Informação descritiva de cada boia em estudo. As cores servem para distinguir a localização de cada boia: boias com localização costeira (azul) e boias com localização oceânica (laranja).

Nome da boia	Posição (WGS 84)	Tipo de boia	Profundidade medida (m)	Profundidade fundeadas (m)	Período temporal de recolha	Anos de estudo
Leixões	41°19.00'N 008°59.00'W	Ondógrafo	0,7	83	1998 - 2019	21
Raia	41°08.9'N 009°34.9'W	Meteo-oceanográfica	1	1600	2010 – 2019	9
Monican02	39°33.6'N 009°12.6'W	Meteo-oceanográfica	1	90	2010 – 2019	9
Monican01	39°30.94'N 009°38.24'W	Meteo-oceanográfica	1	2000	2009 – 2017	8
Sines	37°55.3'N 008°55.7'W	Ondógrafo	0,7	97	1996 – 2019	23
Faro	36°54.3'N 007°53.9'W	Ondógrafo	0,7	93	1986 – 1992 e 2000 – 2019	25 ¹
FarOff	36°23.90'N 008°04.10'W	Meteo-oceanográfica	1	1334	2014 – 2019	5

1.1.1 Caracterização das Boias

Qualquer um do tipo de boias está equipado com um transreceptor GPS (*Global Positioning System*) para fornecer a sua posição.

No caso dos sensores de temperatura das boias, a TSM é medida através de termístores² calibrados em laboratórios certificados (em Portugal as entidades responsáveis são o IH e a TAP), e de acordo com normas internacionais. Isto ocorre, por forma a colmatar a existência de erros associados à utilização dos instrumentos por longos períodos. A primeira calibração ocorre na fase de fabrico, sendo o instrumento novamente submetido a esse processo de forma periódica permitindo o conhecimento

¹ Em falta 7 anos de recolha de dados nessa boia, uma vez que entre 1992 e 2000 o sistema da boia fora alterado passando apenas a recolher dados relativos à agitação marítima.

² Composto por materiais semicondutores com determinada resistência elétrica que varia (expande ou contrai) conforme as alterações de temperatura na água.

do erro associado às suas medições e, conseqüentemente, a obtenção do “certificado de calibração”.

As boias ondógrafo “*Waverider*” (Figura 4) têm a capacidade de efetuar a recolha dos dados da TSM em simultâneo com os dados de agitação marítima. Esse tipo de boias caracteriza-se por ser uma esfera de aço inox AISI 316 com 70 ou 90 cm de diâmetro, munida de uma antena com um dispositivo de iluminação noturno, transmitindo os dados por VHF (*very high frequency*) para uma estação em terra. O seu sensor de medição da TSM está incorporado, internamente, na base da boia efetuando medições a 0,7 m de profundidade. A medição da TSM tem uma resolução de 0,05°C e uma precisão de 0,2°C.



Figura 4 - Exemplar de uma boia ondógrafo gerida pelo IH.
©Instituto Hidrográfico



Figura 5 - Exemplar de uma boia meteo-oceanográfica gerida pelo IH.
©Instituto Hidrográfico

As boias meteo-oceanográficas “*Wavescan*” (Figura 5) são também denominadas por boias multiparamétricas pois, não só medem parâmetros semelhantes àqueles das boias ondógrafo, como também têm incorporados um vasto conjunto de sensores que permitem a recolha de parâmetros adicionais (por exemplo, clorofila-a e hidrocarbonetos). Estas têm a forma de um disco com cerca de 3 m de diâmetro, AIS (*Automatic Identification System*), e asseguram acesso aos dados em tempo real através do sistema de comunicação por satélite *IRIDIUM*. Possuem uma antena com sensores meteorológicos, sensor “*wavesense*” que permite a medição da agitação marítima, e sensor de temperatura *Aanderaa* 4050, com o termístor em contacto com

o exterior, permitindo a medição da TSM a 1 m de profundidade. A medição da TSM tem uma resolução de 0,001°C e uma precisão de aproximadamente 0,03°C.

1.1.2 Fator de Qualidade

É de realçar que os dados da TSM das boias meteo-oceanográficas apresentam um fator de qualidade (FQ), controlado pelo IH (Tabela II). Os dados são submetidos a uma série de testes e consoante as suas respostas é-lhes atribuído um determinado número, o FQ, que indicará se os dados são fiáveis ou não. Neste trabalho foi apenas tido em consideração o FQ com o número 1 uma vez que, por definição, é aquele que assegura e confirma a maior fiabilidade dos dados (Tabela II).

Tabela II – Descrição dos FQ associados aos dados após o controlo de qualidade efetuado pelo IH.
©Instituto Hidrográfico

Indicador	Descrição
0	Sem controlo de qualidade
1	Valor correto
2	Valor duvidoso – provavelmente bom
4	Valor errado
9	Valor omissio

Todas as medições com FQ diferente de 1 foram descartadas (Tabela III), aquando da Fase 1 do tratamento dos dados englobada no subcapítulo 1.2. De notar que o controlo de qualidade ainda não é elaborado para os dados das boias ondógrafo.

Tabela III – Amostragem, em percentagem (%), dos FQ incluídos na base de dados preliminar das boias meteo-oceanográficas.

Nome da Boia	Dimensão da amostra	Dados com FQ = 1 (em %)	Dados com FQ = 2 (em %)	Dados com FQ = 4 (em %)	Dados com FQ = 9 (em %)
Raia	59 414	95,279%	0,029%	4,692%	-
Monican01	62 306	87,223%	0,003%	5,402%	7,372%
Monican02	44 691	99,573%	-	0,427%	-
FarOff	35 923	99,29%	0,017%	0,693%	-

1.2 Tratamento dos Dados

Os dados das sete boias foram disponibilizados pelo IH, abrangendo os dados da TSM obtidos pelas várias boias até 2019. Resumem-se as fases do tratamento da base de dados pela seguinte ordem:

Fase 1 – Uniformização dos dados;

Fase 2 – Tratamento da base de dados para elaboração das médias diárias, mensais e anuais;

Fase 3 – Elaboração de informação visual.

Para o tratamento da base de dados recorreu-se à linguagem de programação já referida, utilizando a plataforma *Jupyter Notebook*, por forma a criar código que permitisse a leitura, análise e cruzamento de todos os dados disponíveis.

Numa primeira abordagem à base de dados, foi notória a diversidade de formatação nos ficheiros, e ainda que algumas das boias apresentavam períodos de dados incompletos (definidos como *Data Missing* – DM), inclusive, anos sem qualquer registo (Tabela IV). A DM será um fator a ter em consideração no cálculo das médias (através de médias ponderadas) e durante a análise da variabilidade e das tendências.

Tabela IV - Amostragem, em percentagem (%), da DM na base de dados em estudo, obtida a partir da base de dados dos valores mensais (por se considerar ser a mais significativa na abordagem desta questão). A simbologia das cores coincide com as da Tabela I.

Nome da boia	Dimensão da amostra (inclui DM)	Dimensão da DM (meses)	% da DM
Leixões	264	18	7%
Raia	119	27	23%
Monican02	118	48	41%
Monican01	128	39	30%
Sines	287	5	2%
Faro	399	103	26%
FarOff	67	13	19%

A maioria da DM deve-se a períodos de inatividade das próprias boias por avaria no sistema ou no recarregamento das baterias; por falta de manutenção; pela incrustação biológica em alguns sensores; por derivas das boias; ou ainda por alteração do sistema, como aconteceu com a boia ondógrafo de Faro durante o período entre 1992 e 2000. Uma das consequências da falta de dados, é o surgimento de valores fora do padrão (ou *outliers*) que se consideraram, neste trabalho, ser influenciados por fatores externos e não associados a medições reais.

1.2.1 Fase 1

Constatou-se que na sua grande maioria as boias costeiras apresentavam 8 períodos de recolha por dia, de 3 em 3 horas, enquanto as boias oceânicas apresentavam um registo a cada hora do dia.

Numa primeira fase, foi essencial uniformizar a informação num único formato, de forma a facilitar o seu acesso e tratamento, sendo para tal necessário criar uma base de dados complementar com a informação dos registos de cada boia, ordenados por data de recolha para que a informação estivesse facilmente disponível.

1.2.2 Fase 2

Na Fase 2, foi necessário uniformizar a frequência de amostragem temporal dos registos de cada boia, de forma a ser possível calcular corretamente as médias mensais e anuais. Primeiramente, como referido em cima, a série temporal de cada boia costeira apresenta os registos de 3 em 3 horas, fixada, às 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 e 21:00, perfazendo 8 medições diárias. Contudo, para determinados períodos das séries temporais os registos não apresentavam a mesma frequência de amostragem temporal, levando a que, por exemplo, num só dia uma boia apresentasse 20 registos enquanto noutro dia, para a mesma boia, fossem retirados apenas 8 registos.

Por esta razão, agruparam-se os registos de todas as boias através da aplicação da média de todos os registos em cada intervalo, em intervalos de 3 horas – [0,3[; [3,6[; [6,9[; [9,12[; [12,15[; [15,18[; [18,21[; [21,00[– por se considerar a solução mais uniforme para análise e, também, porque seria o intervalo considerado satisfatório para a caracterização de um dia.

Após a uniformização da frequência de amostragem temporal da série de registos de cada boia, as médias mensais e anuais foram calculadas utilizando uma média aritmética ponderada (Apêndice A), considerando o número absoluto de registos para cada mês ou ano. Desta forma deu-se a devida relevância à DM, contribuindo para uma análise mais fidedigna dos dados.

Após a divisão e agrupamento dos dados em intervalos de 3 horas, e da aplicação da média necessária para cada situação, foi criada uma nova base de dados para cada boia de formatação semelhante à criada na Fase 1, ordenada também por data, contendo, principalmente, as médias mensais da respetiva TSM.

1.2.3 Fase 3

A terceira e última fase deste processo foi a elaboração da informação visual. Tendo a base de dados uniformizada foi possível traçar qualquer tipo de informação com os dados nela contidos.

Por forma a comparar os resultados com estudos anteriores (Bakun, 1990; Casey e Cornillon, 2001; Lemos e Sansó, 2006; Relvas *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2011; Silva e Silva, 2012), fez-se o cálculo da regressão linear fazendo uso das médias anuais da TSM, para aferir a tendência linear anual da TSM (através do declive). Fez-se o ajuste da reta de regressão linear recorrendo ao método dos mínimos quadrados (pacote *sklearn.linear_model* do *software Python* com importação de *LinearRegression*).

Elaborou-se, também, o cálculo de anomalias térmicas da TSM, através da diferença entre a média mensal anual e a média das médias mensais de todo o período temporal em estudo para cada boia.

O produto desta fase será demonstrado e analisado no capítulo seguinte deste documento, sendo relevante referir que toda a análise será feita considerando a TSM dos valores médios mensais, cujos valores correspondem à base de dados mensal gerada na Fase 2 (sub-subcapítulo 1.2.2). Assim será usada a sigla TSM também para temperatura média mensal da superfície do mar.

1.2.4 Limitações do estudo da base de dados *in situ*

Torna-se importante realçar que a aplicação da regressão linear aos dados foi feita para obter comparações de tendências anuais da TSM com outros estudos, como referido no sub-subcapítulo anterior. Porém, considera-se que concorre com um determinado erro associado, uma vez que, pelo tempo limitado para o desenvolvimento desta dissertação, não foi possível proceder aos testes estatísticos para quantificar a significância dos valores obtidos através das retas de regressão linear. Refere-se ainda que a lacuna dos pressupostos estatísticos requeridos a estes dados e, posterior análise, poderá consequentemente limitar a investigação e conclusões retiradas dos valores apresentados (as tendências obtidas pelo declive da reta de regressão linear).

De realçar, que nesta primeira análise dos registos *in situ* da TSM das sete boias em estudo até ao ano de 2019, o objetivo fora caracterizar o regime térmico ao longo da costa de PT e confrontar os resultados dos estudos anteriores, nomeadamente os valores de tendência apresentados. Por esse motivo, foi considerado o método mais simples de cálculo de tendência (reta de regressão linear), e apesar de não terem sido aplicados outros métodos estatísticos (por exemplo, médias móveis e periodogramas), o método da regressão linear pode ser aplicável, no entanto, no futuro, será necessário recorrer aos testes estatísticos que o validam (por exemplo, verificar a relação linear entre a variável dependente e a variável independente; verificar se os resíduos são variáveis aleatórias independentes com distribuição normal $N(0, \sigma^2)$; e verificar se existe homoscedasticidade dos resíduos, isto é, a variância dos resíduos σ^2 é independente do valor da variável independente).

2. Análise dos Resultados

Para proceder à análise dos resultados de uma forma estruturada, esta secção será subdividida nas seguintes etapas de análise:

1. Análise da TSM das séries temporais das boias em estudo;
2. Análise climatológica das regiões de Leixões, Sines e Faro, através dos dados das boias ondógrafo;
 - a. Análise de anomalias térmicas da TSM;
3. Comparação da TSM recolhida pelas boias costeiras e oceânicas, para os mesmos períodos temporais;
4. Análise da última década (2010-2019) dos dados *in situ* das boias em estudo.

2.1 Análise da TSM das séries temporais das boias em estudo

Primeiramente, pela observação das séries temporais da TSM mensal das boias em estudo, foram aferidos os valores máximos e mínimos da TSM (Figura 6).

Os valores mínimos da TSM medidos pelas boias de Leixões, Sines e Faro são, respetivamente, 12,1°C, 13,2°C, 14,4°C e os valores máximos, 19,7°C, 20,6°C, 24,1°C. Com isto registam-se amplitudes da temperatura de 7,6°C para Leixões, 7,4°C para Sines e de 9,7°C para Faro. Constatou-se que os valores mínimos de Faro e Sines decorreram em fevereiro de 2015, e em Leixões em fevereiro de 2009. Quanto aos valores máximos, ocorreram em agosto de 2010 na região de Faro, e em setembro de 2014 em Leixões e Sines. A boia Monican02 registou o valor mínimo de 12,8°C e o valor máximo de 19,4°C, assinalando uma amplitude da temperatura de 6,6°C. Estes valores foram registados em fevereiro de 2015 e em outubro de 2014, respetivamente.

No que concerne às boias oceânicas, a boia Raia revelou um máximo da TSM de 21°C registado no mês de setembro de 2014, e um valor mínimo de 13°C em fevereiro de 2015. A boia oceânica da região de Faro, a boia FarOff, revelou o máximo da TSM em 2016, no mês de agosto, de 23°C, e o mínimo de 16°C em fevereiro de 2015. Por fim, a boia Monican01, apresentou um máximo da temperatura da água correspondente a 21,5°C, em outubro de 2014, e um mínimo de 13,5°C registado em fevereiro de 2018.

Assim, para estas regiões a amplitude da temperatura da água registada entre extremos é de 8°C na boia Raia e na boia Monican01, e de 7°C na boia FarOff.

De seguida, o comportamento da TSM das séries temporais das boias ondógrafo foi analisado. Por se fazer uma análise adiante (subcapítulo 2.3) entre as séries temporais das boias costeiras e oceânicas, considerou-se analisar nesta primeira fase apenas as boias ondógrafo, uma vez que o período temporal disponível das restantes boias é equivalente àquele que será abordado na subsecção descrita.

Assim, começando pela boia ondógrafo de Leixões (Figura 6 (a)), para o período temporal de 1998-2019, verifica-se uma diminuição dos mínimos da temperatura da água entre 2011 e 2015, e a aproximação entre valores máximos e mínimos, entre os anos de 2015 a 2019.

Analisando os registos da TSM medidos pela boia de Sines para o período entre 1996-2019 (Figura 6 (b)), verifica-se uma tendência para a diminuição dos mínimos entre 2011 e 2018, para valores ligeiramente inferiores ao valor típico, que ronda os 14°C. Considera-se que também os valores máximos da TSM aumentaram ligeiramente entre 2009 e 2018, observando-se temperaturas ligeiramente superiores ao valor típico, que ronda os 19°C.

A série temporal da boia ondógrafo de Faro (Figura 6 (c)), para o período temporal de 1986-2019 (com atenção à DM de 1992 a 2000 referido na Tabela IV), revela máximos mais intensos, e esporádicos, nos anos de 1990, 2006, 2010, 2013, 2016 e 2018, com valores entre os 23-24°C, enquanto nos restantes anos os máximos alcançam os 22°C. Por outro lado, os mínimos sugerem estar a diminuir de forma constante entre 2011 e 2017, para valores inferiores aos habituais que seriam cerca de 15°C.

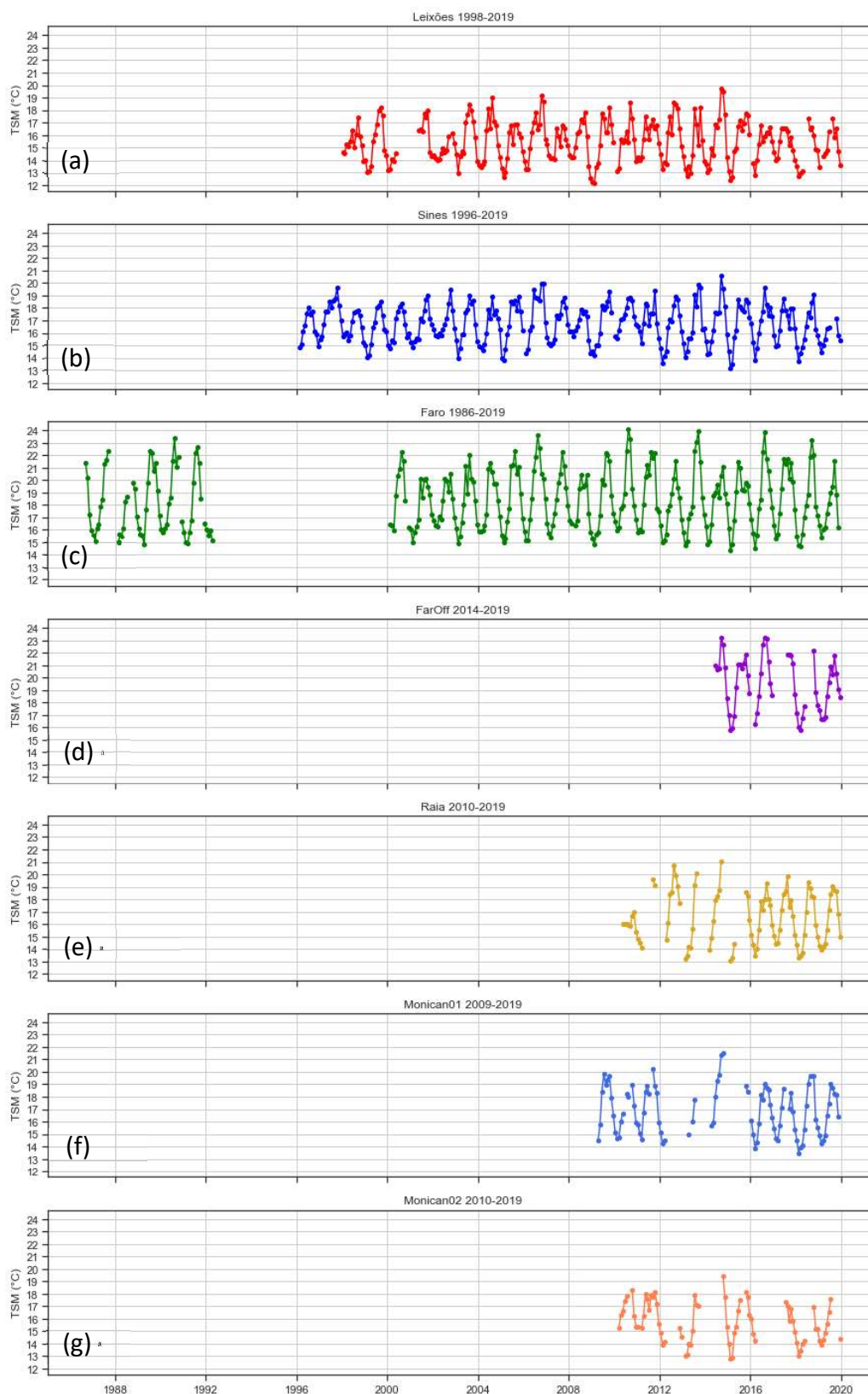


Figura 6 - Séries temporais das médias mensais da TSM das sete boias em estudo: boias ondógrafo de Leixões (1998-2019) (a), Sines (1996-2019) (b) e Faro (1986-2019) (c), e boias meteo-oceanográficas FarOff (2014-2019) (d), Raia (2010-2019) (e), Monican01 (2009-2019) (f) e Monican02 (2010-2019) (g).

Em último lugar, no conjunto das estações (Leixões, Sines e Faro) observa-se um padrão da TSM quasi-periódico, com periodicidade entre 2 e 3 anos, provavelmente induzido por fatores de maior escala. Este padrão caracteriza-se pela ocorrência de valores da TSM máximos menores durante 2 a 3 anos seguido por um ano com valor máximo acentuado. Este é mais notório nas séries temporais das boias ondógrafo de Faro e Sines do que na região de Leixões (Figura 6).

Em suma, os valores máximos da TSM são registados na região de Faro – entre os 23-24°C –, sendo que nas restantes regiões são registados valores entre os 20-21°C. Quanto aos mínimos a análise é semelhante, sendo a boia de Leixões aquela que apresenta o menor valor de TSM e a boia FarOff a que apresenta o valor mais alto. A amplitude entre os valores máximos e mínimos da TSM é menor nas boias oceânicas, e maior nas boias costeiras.

Realça-se que a série temporal dos dados recolhidos pelas boias ondógrafo é bastante superior à das boias meteo-oceanográficas, e por isso, consideram-se ser as regiões mais apropriadas para a elaboração de uma análise aprofundada (subcapítulo 2.2), mais concretamente dos ciclos sazonais, tendências e anomalias.

2.2 Análise climatológica das regiões de Leixões, Sines e Faro, através dos dados das boias ondógrafo

No geral, independentemente da localização da boia, constata-se um ciclo sazonal da temperatura da água (Figura 7). Observa-se um período caracterizado por temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição a ocorrer entre março e junho, onde a temperatura gradualmente atinge valores superiores para alcançar o período estival, por norma, entre junho e outubro. O último trimestre do ano compreendido de outubro a dezembro, representa a transição para a estação fria, no entanto com valores ligeiramente superiores aos registados no primeiro trimestre.

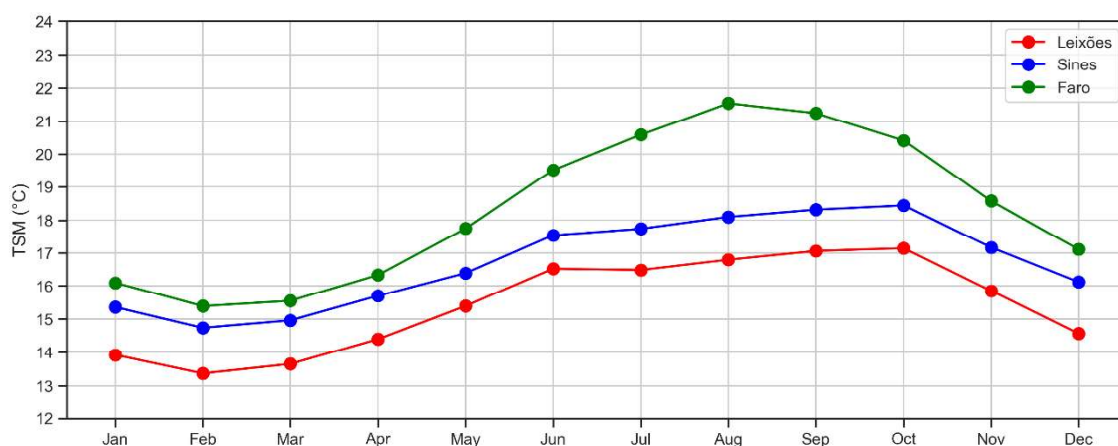


Figura 7 – Média das médias mensais da TSM, nas boias ondógrafo de Leixões (1998-2019), Sines (1996-2019) e Faro (1986-2019), obtidas através da base de dados das médias mensais.

Analisando concretamente cada região, começando pela região de Leixões, a TSM revela uma estação quente, entre junho e outubro, com temperaturas médias relativamente baixas entre julho e setembro no que respeita o expectável para os valores da TSM no verão, no Hemisfério Norte. O mês mais frio é fevereiro, sendo os mais quentes, em média, setembro e outubro. De realçar que a TSM registada em setembro e outubro é superior àquela registada nos meses de julho e agosto (Figura 8).

A amplitude da temperatura (entre máximo e mínimo) da água no período estival é aproximadamente 4 a 5°C. Sendo, ainda, observável uma grande amplitude da TSM no mês de maio, cerca de 4,5°C, e também no mês de novembro, cerca de 5°C. Constatase também, que a TSM no mês de junho apresenta pouca dispersão em torno da média, demonstrando que esse mês na região de Leixões apresenta um padrão da TSM aparentemente constante ao longo do período temporal analisado (Figura 8).

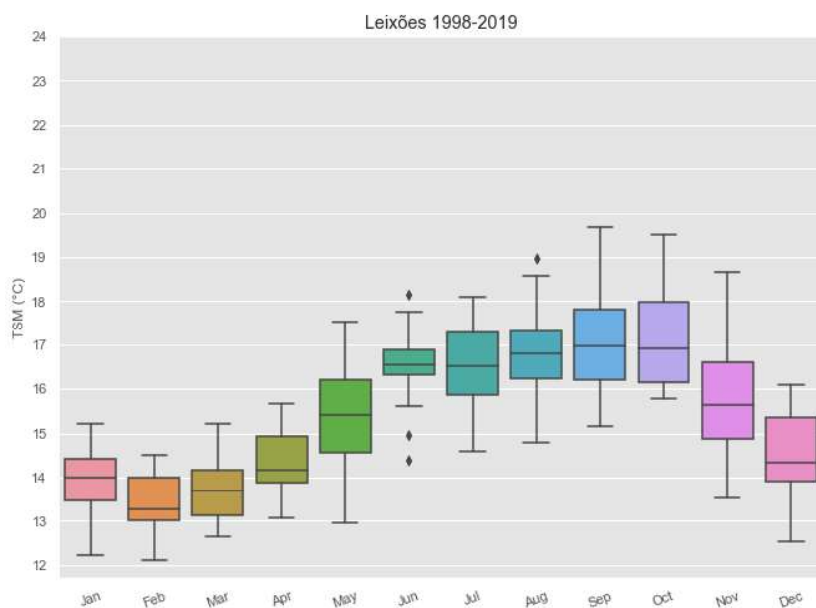


Figura 8 – Diagrama de extremos e quartis das médias mensais da TSM da boia ondógrafo de Leixões (1998-2019), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar a distribuição da TSM nesta região para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.

A evolução da TSM nesta região, tende a demonstrar uma tendência anual praticamente constante (Figura 9), com valores a aproximarem-se de uma variação quase nula. De realçar que o ano de 2000 é um dos anos com valor da TSM abaixo da média, sendo isto justificável pela ponderação de valores apenas referentes aos primeiros meses do ano, por causa de um registo elevado de DM.

Globalmente, sobressaem os anos de 2001, 2006, 2011, 2012 e 2014 por representarem valores médios anuais acima da média. Pelo oposto, distinguem-se os anos de 2002, 2013 e 2018 (apesar da falta de dados observável, 2018 tem grande parte do ano representado).

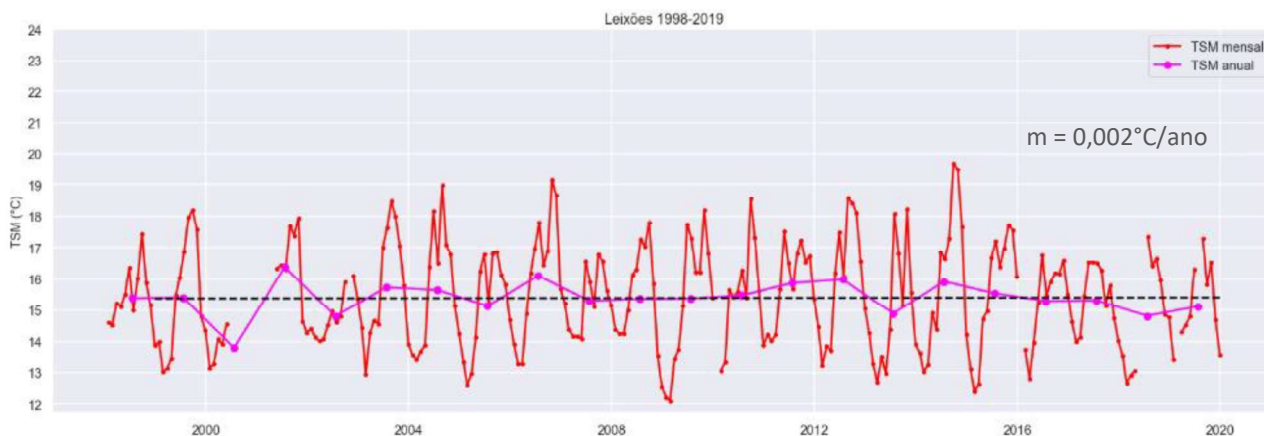


Figura 9 – Série temporal da região de Leixões (1998-2019), com as médias mensais (linha vermelha) e a sobreposição das respetivas médias anuais (linha rosa). A linha tracejada representa a regressão linear aplicada à base de dados, e de onde se retira a tendência da TSM de 0,002°C/ano.

De seguida, o estudo da TSM na região de Sines (Figura 10) revela um período estival entre junho e outubro, com a manifestação de temperaturas relativamente baixas, principalmente, em julho e agosto. O mês mais frio é fevereiro, registando esta região, em média, temperaturas relativamente altas entre setembro e novembro. Contrariamente ao observado em Leixões, aqui a amplitude da TSM nos meses de julho e agosto apresenta menor variação em torno da média sugerindo, por isso, a robustez do ciclo sazonal da TSM nos anos registados, podendo-se associar a diminuição da temperatura da água nos meses de verão à ocorrência do fenómeno de *upwelling*.

A amplitude da temperatura no período estival é de cerca de 3 a 4°C. Assinala-se também o mês de novembro com elevada amplitude da TSM, cerca de 4,5°C.

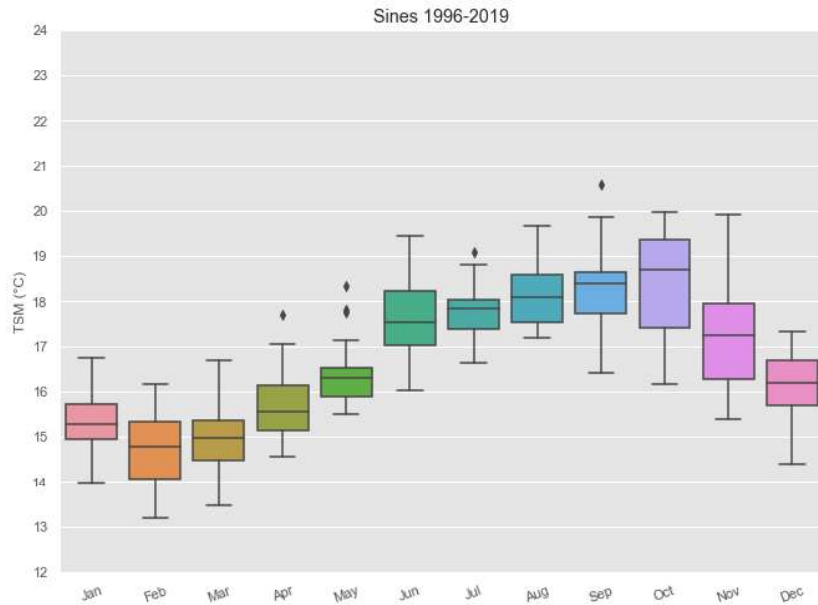


Figura 10 – Diagrama de extremos e quartis das médias mensais da TSM da boia ondógrafo de Sines (1996-2019), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar a distribuição da TSM nesta região para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.

Verifica-se, nesta região, a possibilidade de haver uma tendência negativa da TSM, traduzido por um decréscimo anual da TSM de $-0,012^{\circ}\text{C}$ (Figura 11). Destacam-se os anos de 1997, 2006, 2010 e 2011 por representarem valores médios anuais acima da média. Pelo oposto, distinguem-se os anos de 1998 a 2000, e o ano de 2018.

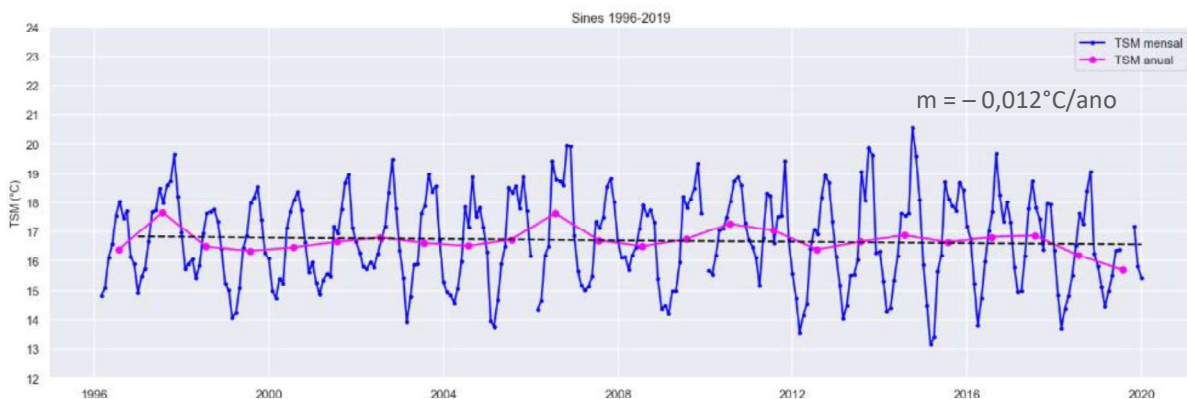


Figura 11 – Série temporal da região de Sines (1996-2019), com as médias mensais (linha azul) e a sobreposição das respetivas médias anuais (linha rosa). A linha picotada representa a regressão linear aplicada à base de dados, e de onde se retira a tendência da TSM de $-0,012^{\circ}\text{C/ano}$.

Por último, a TSM em Faro apresenta um contraste bastante notório sendo visível uma amplitude acentuada nas temperaturas registadas entre a estação quente e a estação mais fria (Figura 12). Os meses, em média, com a TSM mais fria são fevereiro e março, enquanto que agosto é o mês que regista, em média, temperaturas mais elevadas.

Observou-se que os meses de agosto e setembro apresentam temperaturas máximas semelhantes, no entanto julho e agosto, em média, apresentam mínimos inferiores aos registados em setembro. Acrescenta-se que a amplitude média da TSM mais significativa ocorre nos meses de agosto e setembro, com oscilações de cerca de 5-6°C.

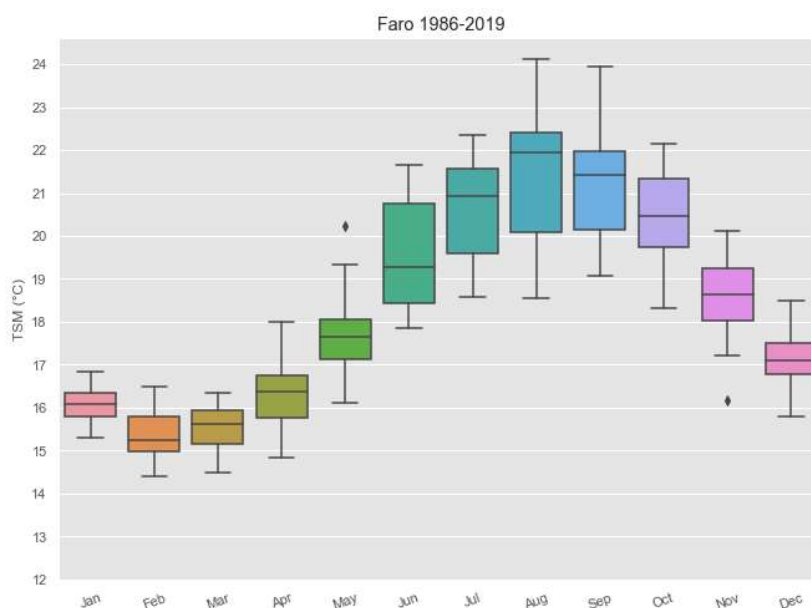


Figura 12 – Diagrama de extremos e quartis das médias mensais da TSM da boia ondógrafo de Faro (1986-2019), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar a distribuição da TSM nesta região para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.

A evolução da TSM nesta região, sugere uma possível tendência para um ligeiro aumento anual de 0,016°C (Figura 13). No geral, distinguem-se os anos de 1989, 1990 (apesar da falta de dados observável, 1990 tem registos durante grande parte do ano), 2000, 2006, 2010, 2011 e 2017 por representarem valores médios anuais acima da média. Pelo oposto, distinguem-se os anos de 1988, 2012 e 2019.

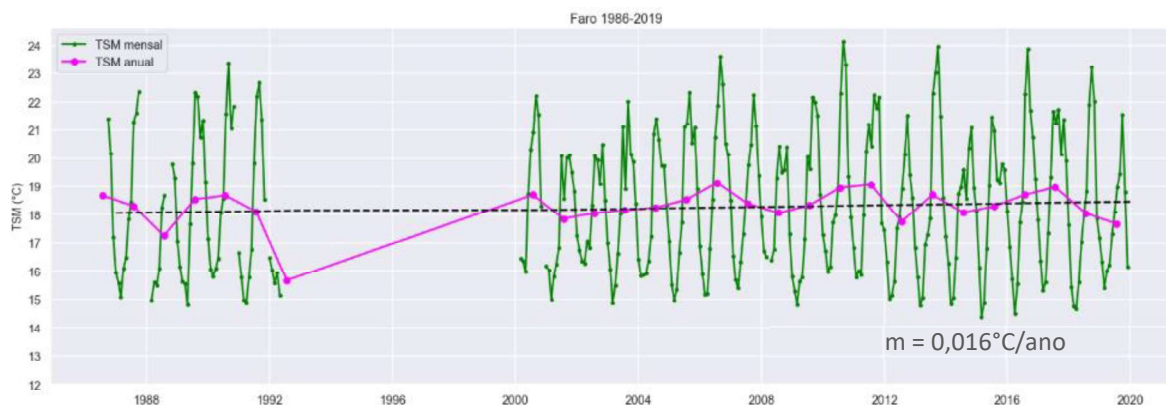


Figura 13 – Série temporal da região de Faro (1986-2019), com as médias mensais (linha verde) e a sobreposição das respetivas médias anuais (linha rosa). A linha picotada representa a regressão linear aplicada à base de dados, e de onde se retira a tendência da TSM de 0,016°C/ano.

2.2.1 Anomalias térmicas da TSM nas regiões de Leixões, Sines e Faro

Por forma a concretizar uma observação mais explanada dos dados, calcularam-se as anomalias da TSM em cada região, através da diferença entre as médias mensais correspondentes a cada ano e a média das médias mensais de todo o período temporal em análise para cada região (Figura 7). Isto permitiu, em acréscimo ao que se observa nas Figuras 9, 11 e 13, destacar a dispersão dos valores da TSM que, pelas suas anomalias positivas e/ou negativas, descrevem, respetivamente, períodos mais quentes (acima da média) ou mais frios (abaixo da média). Assim, pela mesma ordem de análise, apresentam-se os resultados através de diagramas tipo *Hovmöller*.

Pela observação da Figura 14, representativa da região de Leixões, os valores mais significativos em anomalias térmicas ocorrem entre março e junho, e setembro e novembro. No ano de 2002 verificou-se uma consistente anomalia negativa durante todo o verão, indicando temperaturas mais frias do que a média. Em contraste, nos dois anos seguintes – 2003 e 2004 – observaram-se anomalias positivas, indicando que depois de 2002 se sucederam anos em que a estação quente apresentou temperaturas mais elevadas do que a média.

Será importante destacar também que, nos anos de 2010 e 2011, os meses de março a maio revelaram temperaturas da água acima da média, por outro lado, para o mesmo período, 2013 registou temperaturas da água com valores mais frios.

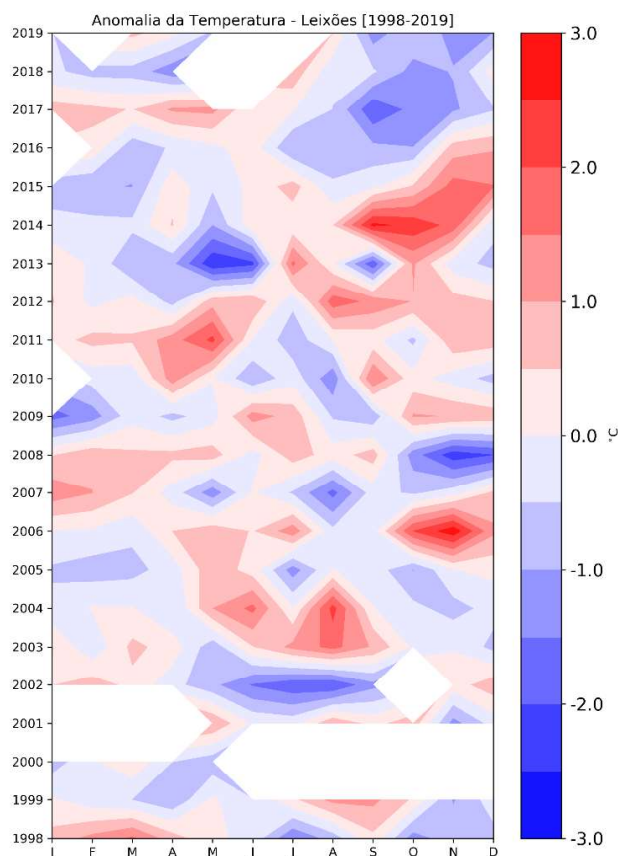


Figura 14 - Variação interanual das anomalias da TSM, obtidas a partir dos valores mensais da boia ondógrafo de Leixões (1998-2019), onde os espaços em branco representam a inexistência de registos.

Entre os meses de setembro a novembro, registaram-se os valores mais elevados de anomalias da TSM, observando-se valores da TSM acima da média em 2006 e no período 2011-2015, e abaixo dos valores médios nos anos de 2007 e 2008 e no período 2015-2019.

Representativa da região de Sines, a Figura 15 permite realçar que as anomalias térmicas são visíveis durante praticamente todo o ano, contudo com menor intensidade do que aquelas observadas na região de Leixões.

Nos anos de 1996 a 1998 registam-se valores da TSM ligeiramente acima da média, destacando-se 1997 que apresenta anomalia positiva durante todo o ano, assim como 2010. Os anos de 2008 e 2011, revelam anomalias positivas entre os meses de janeiro a maio. Contrariamente, registam-se temperaturas da água ligeiramente abaixo da média, para o mesmo período de meses mencionado nos anos de 2012 a 2016. No ano de 2018, verificam-se temperaturas ligeiramente abaixo da média durante todo o ano.

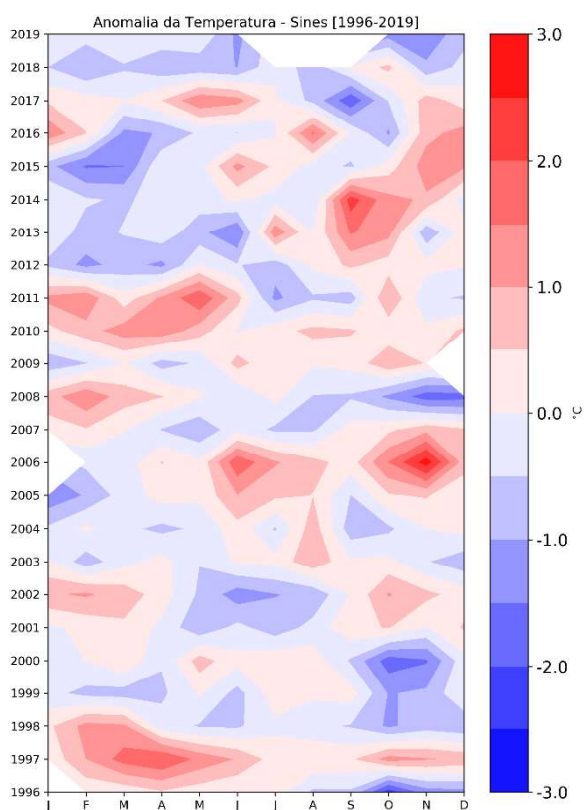


Figura 15 – Variação interanual das anomalias da TSM, obtidas a partir dos valores mensais da boia ondógrafo de Sines (1996-2019), onde os espaços em branco representam a inexistência de registos.

Nos meses de verão, destacam-se os anos de 2001-2002 e 2011-2012 com valores da TSM abaixo da média, e pelo oposto os anos de 2005-2006 e o período de 2013-2017.

Similarmente à região de Leixões, também aqui são visíveis anomalias significativas nos meses de setembro a novembro, com principal destaque para os anos de 1996, 1998 a 2000, 2008 e 2019 com valores da temperatura da água inferiores à

média. Por outro lado, os anos de 2005 a 2007 e 2012 a 2017 com temperaturas da água acima da média, também de setembro a novembro.

Por fim, as anomalias térmicas da região de Faro (Figura 16) são bastante notórias, principalmente, entre os meses de maio a setembro, observando-se o oposto daquilo que se verifica nas outras regiões, onde a anomalias são mais significativas nas restantes estações do ano. Constata-se o aumento da magnitude das anomalias da TSM ao longo da última década, de 2009 a 2019, sendo a intensidade dos valores anómalos, geralmente superior aos registados nas regiões de Leixões (Figura 14) e Sines (Figura 15).

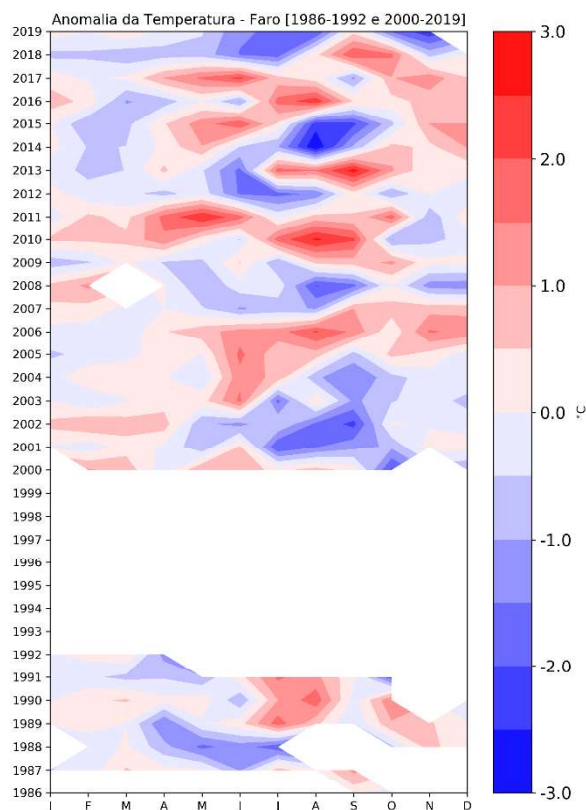


Figura 16 – Variação interanual das anomalias da TSM, obtidas a partir dos valores mensais da boia ondógrafo de Faro (1986-2019), onde os espaços em branco representam a inexistência de registos.

Nesta região, é também visível o padrão cíclico, quasi-periódico, da TSM do oceano já referido, com periodicidade de cerca de 2-3 anos.

Destacam-se os anos de 2010 e 2011 como anos com registo da TSM acima da média durante praticamente todo o ano.

O ano de 2012 apresenta valores da TSM ligeiramente abaixo da média na estação quente. Com comportamento semelhante, 2013 regista um máximo da TSM nesta região ligeiramente tardio, perto de setembro, tendo sido esse ano antecedido por um período de transição caracterizado por águas mais frias.

Por outro lado, os anos de 2014 e 2015, caracterizam-se por apresentarem anomalias positivas entre os meses de maio a junho, e os meses de julho a setembro com temperaturas da água abaixo da média.

Os anos de 2016 e 2017 terão sido anos ligeiramente mais quentes, enquanto os anos de 2018 e 2019 sugerem temperaturas da água mais fria com o máximo da TSM a registar-se em setembro.

Em suma, constatou-se que existe uma acentuada variação térmica nas águas marinhas de PT entre a costa oeste e a costa sul. A costa oeste apresenta um padrão de temperaturas mais frias, onde a estação quente não é caracterizada por temperaturas demasiado elevadas, contrariamente àquilo observado na costa sul, com um máximo da TSM, maioritariamente, no mês de agosto. Isto é sustentado pela Figura 7, onde a amplitude entre as temperaturas na época quente e a curva descritiva da evolução da TSM, se demonstram menos acentuadas na COPT. Contudo, o primeiro e o último trimestre têm comportamentos semelhantes, sendo que, principalmente no primeiro trimestre, as temperaturas em Sines e Faro têm menor variação comparativamente à região de Leixões.

Todas as regiões apresentam um padrão sazonal da TSM. Caracteriza-se a região de Leixões como uma de variação da TSM distinta, mas de grande variabilidade; Sines como uma região caracterizada por temperaturas ligeiramente frias no período estival; e Faro o oposto, com um padrão sazonal da TSM bem discriminado com um máximo, em média, acentuado no mês de agosto.

Por último, a análise das anomalias da TSM permite aferir que as três regiões registaram temperaturas da água ligeiramente superior à média nos anos de 2006, 2010

e 2011. Por outro lado, têm em comum o ano de 2018 com a TSM ligeiramente inferior à média.

2.3 Comparação da TSM recolhida pelas boias costeiras e oceânicas, para o mesmo período temporal

Nesta secção fez-se, primeiramente, uma breve análise, como referido anteriormente (subcapítulo 2.1), do ciclo sazonal das boias meteo-oceanográficas. É importante referir, que o período temporal em análise é mais reduzido comparativamente àquele analisado no subcapítulo 2.2, uma vez que a boia meteo-oceanográfica mais antiga data, somente, de 2009.

No que concerne aos ciclos sazonais das boias meteo-oceanográficas, registaram, em média, máximos da TSM no mês de setembro (Figura 17), semelhante ao padrão sazonal da TSM referido na secção anterior (subcapítulo 2.2). Aqui, constata-se valores pouco dispersos em relação à média nas boias de FarOff e Monican02, mas é necessário ter cuidado na sua interpretação, tendo em consideração o curto período de dados disponível na boia FarOff (2014-2019), e a DM na boia Monican02 (Tabela IV). Não obstante à escassez de registos, pode-se constatar que na boia FarOff o máximo ocorre, em média, no mês de setembro e não no mês de agosto como sucede na região costeira de Faro (Figura 17 (d)).

Seguidamente, fez-se a comparação entre as boias costeiras de Faro, Leixões e Monican02, e as suas correspondentes oceânicas, respetivamente, FarOff, Raia e Monican01, para os períodos temporais onde a sobreposição dos dados é possível – período de 2010 a 2019 para Leixões; 2010 a 2019 para as boias Monican; e de 2014 a 2019 para Faro.

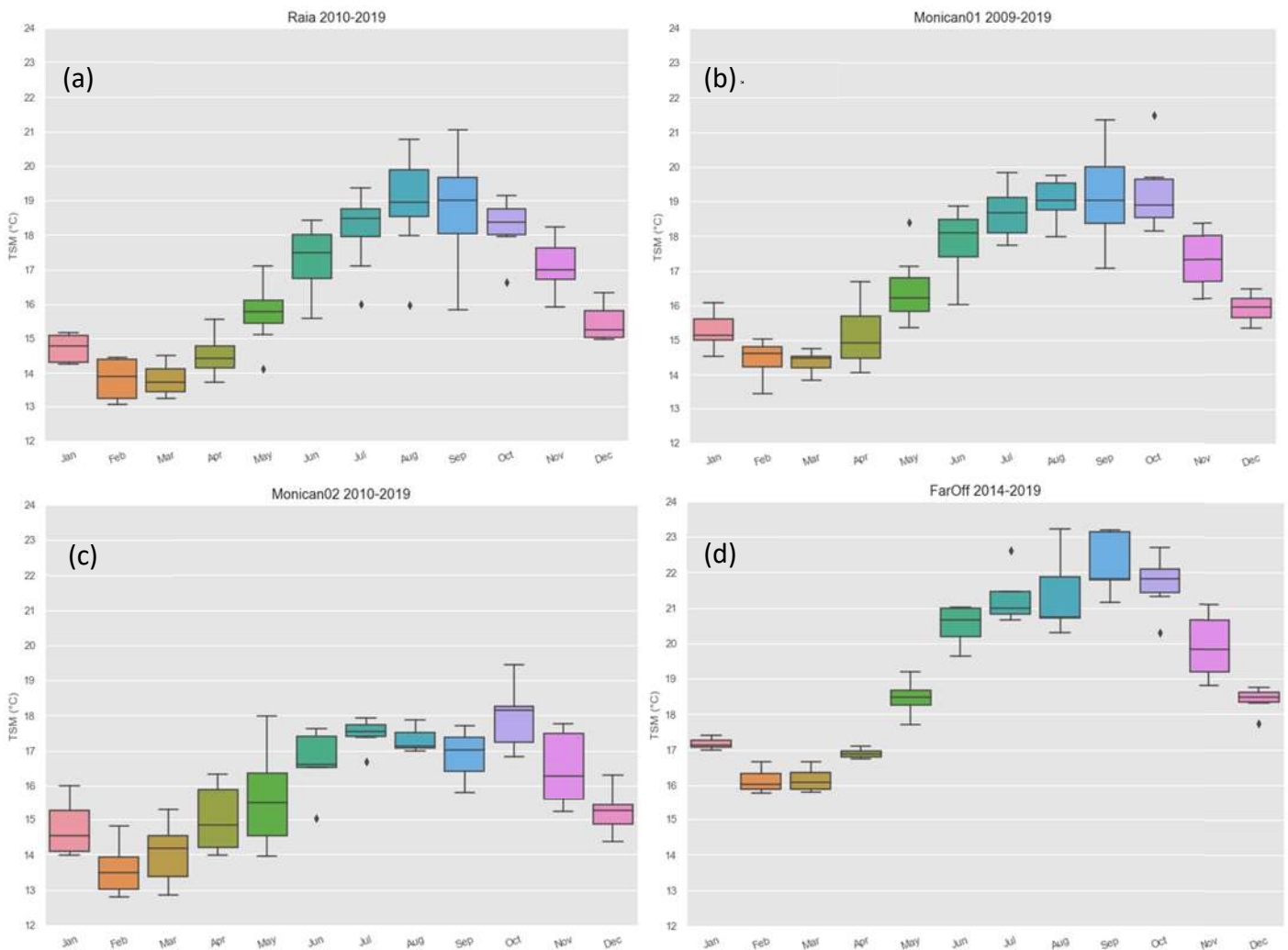


Figura 17 – Diagramas de extremos e quartis das médias mensais da TSM das boias meteo-oceanográficas Raia (2010-2019) (a), Monican01 (2009-2019) (b), Monican02 (2010-2019) (c) e FarOff (2010-2019) (d), obtidas a partir da base de dados das médias mensais. O objetivo é visualizar as amplitudes da TSM nessas regiões para cada mês respetivamente, reforçando a observação do padrão sazonal da TSM.

Através da comparação da TSM recolhida pelas boias ao largo e perto de costa, poder-se-á comparar, genericamente, se as alterações da TSM se restringem à faixa costeira ou se foram também sentidas ao largo.

Independentemente da área observada, a TSM ao largo apresenta ciclo sazonal semelhante, o que permite a distinção entre a estação quente e a estação fria. No geral, os valores da TSM ao largo são superiores àqueles registados perto de costa, tanto ao longo do ano como no conjunto da fita temporal analisada.

Iniciando esta análise pela zona de Leixões (Figura 18 (a)), é visível que de janeiro a maio a TSM apresenta valores semelhantes ao largo e perto de costa. No entanto verifica-se uma divergência nos valores da temperatura da água a partir de maio, na transição para a estação quente, provavelmente devido à ocorrência de *upwelling* costeiro, típico desse período.

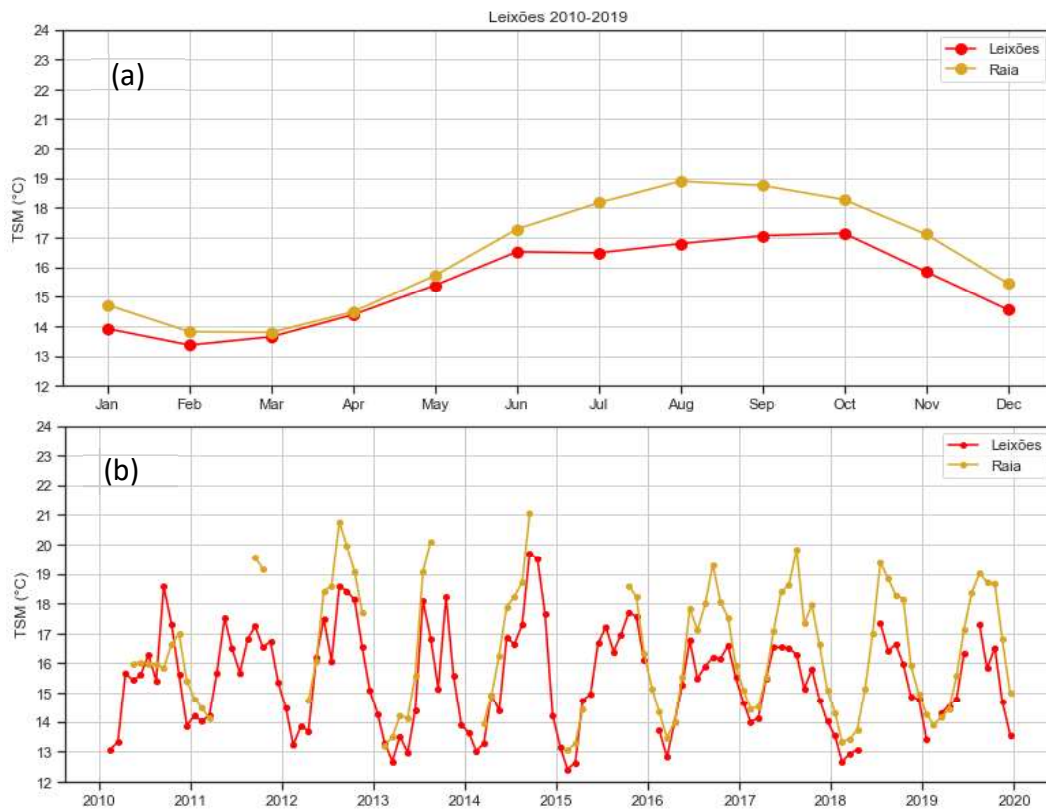


Figura 18 – Em cima (a), a média das médias mensais da TSM, da boia costeira de Leixões e da boia oceânica Raia, obtidas a partir da base de dados das médias mensais, para o período 2010-2019. Em baixo (b), a série temporal das médias mensais para o período temporal referido.

Verifica-se que os anos de 2012 a 2014, e o ano de 2017, foram os mais quentes no que concerne à TSM ao largo, não se considerando o ano de 2011 pela falta de dados na boia Raia. O ano de 2014 foi no geral um ano quente, tendo-se registado o mesmo em ambas as boias. O ano de 2010 considera-se um ano atípico, com a TSM da região costeira a exceder a temperatura da água ao largo, com principal ênfase na estação quente (note-se o facto de as temperaturas da boia raia em 2010 apenas terem sido registadas a partir do mês de maio) (Figura 18 (b)).

Do mesmo modo, na região das boias Monican (Figura 19 (a)) nota-se que o comportamento em ambas as sub-regiões (a costeira e a oceânica) é semelhante àquele descrito em Leixões, no entanto, aqui, a boia oceânica não regista um crescimento da TSM no verão tão acentuado. Por isso, nesta região, a diferença da TSM entre os dois locais não é significativa (nem mesmo no verão), à exceção do mês de setembro onde se verifica um decréscimo acentuado da TSM na boia costeira. Contudo, deve-se ter em consideração a falta de dados em cada boia (Tabela IV e Figura 19 (b)), principalmente na boia Monican02, que poderá influenciar a interpretação dos dados.

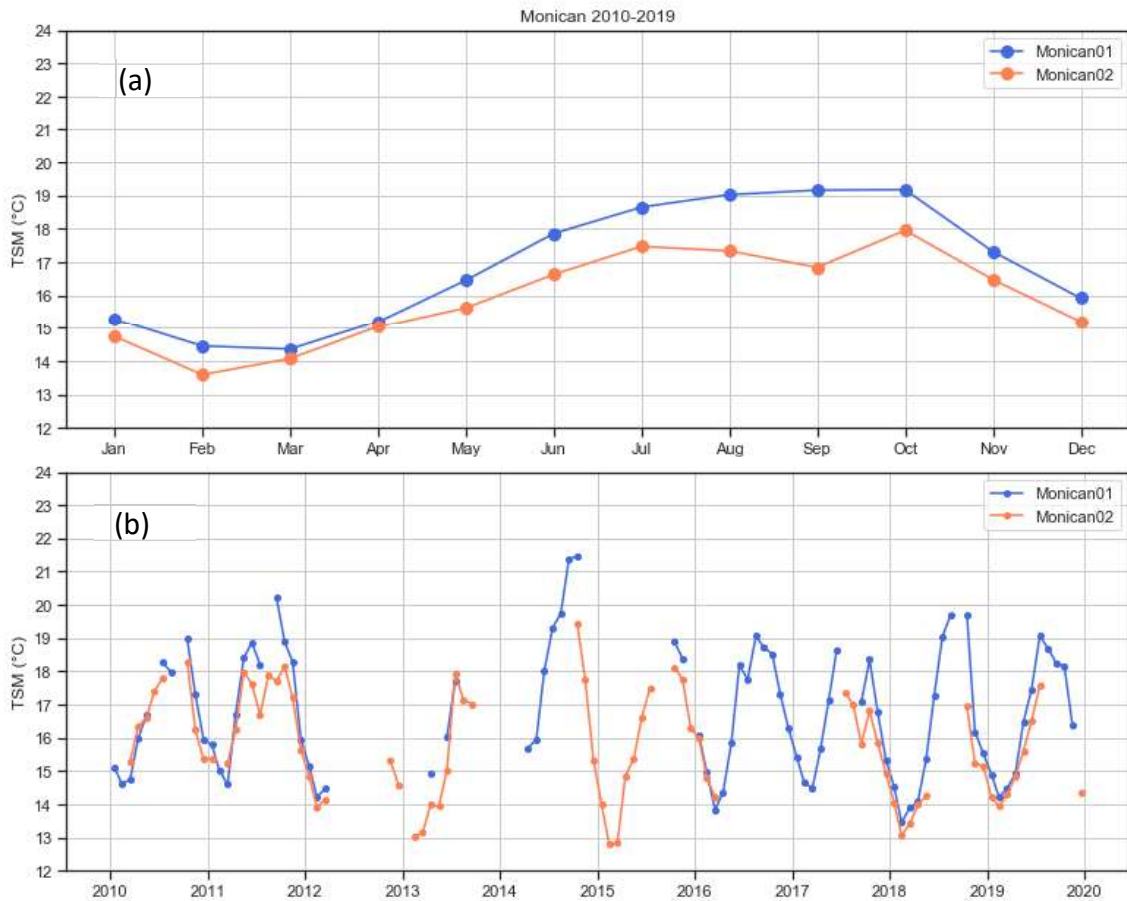


Figura 19 – Em cima (a), a média das médias mensais da TSM, da boia costeira Monican02 e da boia oceânica Monican01, obtidas a partir da base de dados das médias mensais, para o período 2010-2019. Em baixo (b), a série temporal das médias mensais para o período temporal referido.

Verifica-se que 2014 foi, particularmente, um ano com registo de temperaturas da água elevadas no que concerne à TSM ao largo. Também se consideram os anos de 2011 e 2018, com temperaturas ligeiramente elevadas (Figura 19 (b)).

Por último, na região de Faro observa-se que o padrão da TSM nessa região é semelhante em ambos os locais (Figura 20 (a)), sendo que a TSM ao largo apresenta valores superiores. Consta-se que no mês de agosto, a TSM ao largo de Faro indica o aparecimento de água ligeiramente mais fria, não sucedendo o mesmo na região costeira, sugerindo que as águas ao largo da costa sul podem ser provenientes por advecção da COPT, onde a presença de água fria resulta do fenómeno de *upwelling* que apesar de ser predominante na COPT, é menos recorrente na costa Algarvia.

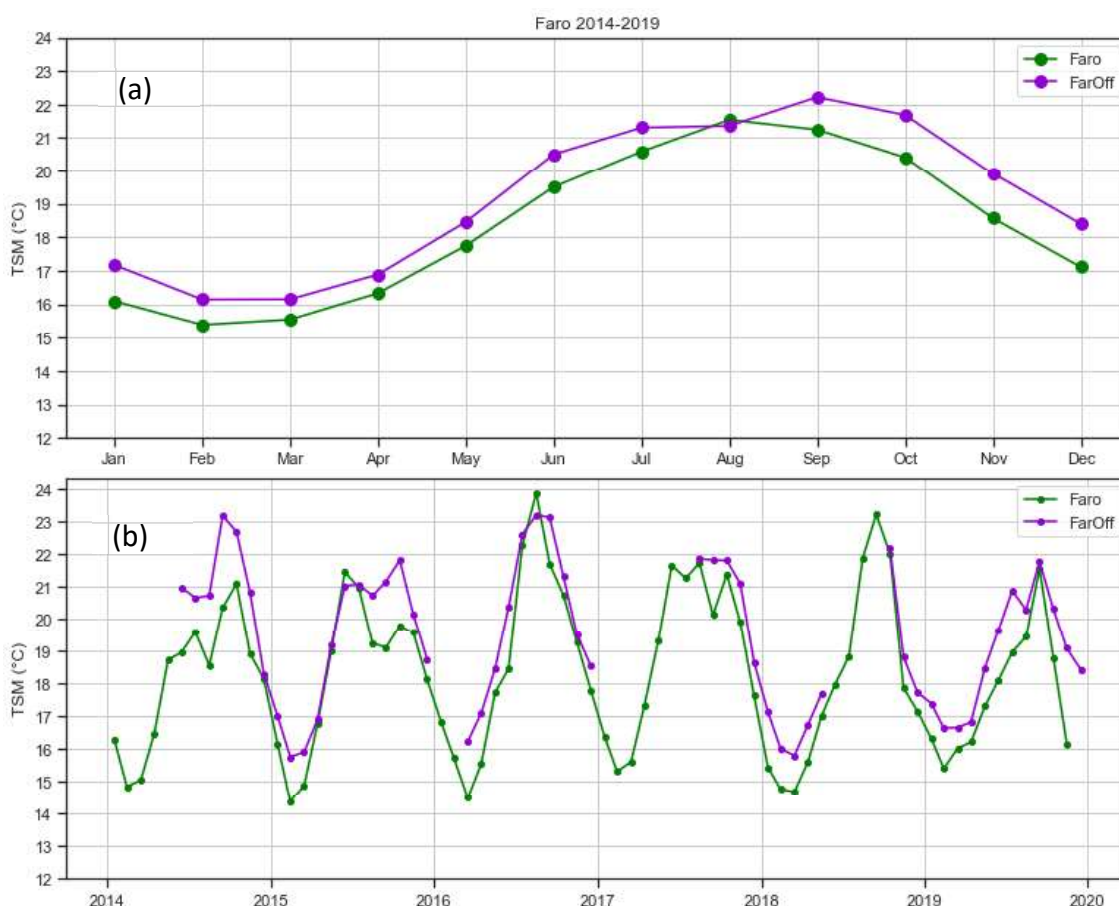


Figura 20 – Em cima (a), a média das médias mensais da TSM, da boia costeira de Faro e da boia oceânica FarOff, obtidas a partir da base de dados das médias mensais, para o período 2014-2019. Em baixo (b), a série temporal das médias mensais para o período temporal referido.

É notório que o período de 2014 a 2016 foi o mais quente relativamente à TSM ao largo, não se considerando o ano de 2018 pela falta de dados na boia de FarOff. Revela-se que o ano de 2016 foi relativamente quente em ambos os locais. (Figura 20 (b)).

2.4 Análise da última década dos dados *in situ* das boias em estudo

Por último, depois de se analisar períodos completos de dados, será importante definir qual o impacto da última década, uma vez que nela se observam anomalias consideráveis da TSM, sendo a motivação para se elaborar uma breve descrição da evolução da TSM entre os anos de 2010 e 2019. Tem-se em consideração a DM (Tabela IV), já referida em algumas boias e por isso apenas se apresentam aqui a análise das boias ondógrafo (apresentam-se os gráficos das boias meteo-oceanográficas no Apêndice B), e também, que traçar uma reta de regressão linear em apenas 10 anos não será completamente representativa de uma tendência a longo prazo, contudo considera-se relevante a sua análise para compreender a evolução da TSM nos últimos anos.

Na região de Leixões, Figura 21 (a), a evolução da TSM para o período de 2010-2019 tende a demonstrar uma diminuição da TSM de aproximadamente $-0,1^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. Destacam-se os anos, no geral, com média anual ligeiramente superior, 2012 e 2014, e inferior, 2010, 2013 e 2018.

Observa-se que a partir de 2015, os máximos de temperatura atingidos nesta região têm tendência a aproximar-se da média, não sendo visível uma alteração tão significativa nos valores dos mínimos, no entanto, estes pouco variam e, por norma, observam-se desfasados da média entre 1 a 3°C .

A evolução da TSM para o período de 2010-2019 na região de Sines, Figura 21 (b), demonstra uma tendência anual de cerca de $-0,11^{\circ}\text{C}$. Destacam-se os anos de 2013 e 2014, com a TSM ligeiramente mais elevada, considerando o ano de 2014 com a TSM ligeiramente mais baixa. Observa-se que, para além dos anos de 2013 e 2014 em que as

temperaturas máximas se aproximam ou ultrapassam os 20°C, genericamente, na última década os máximos registados nesta região, por norma, não ultrapassam os 19°C.

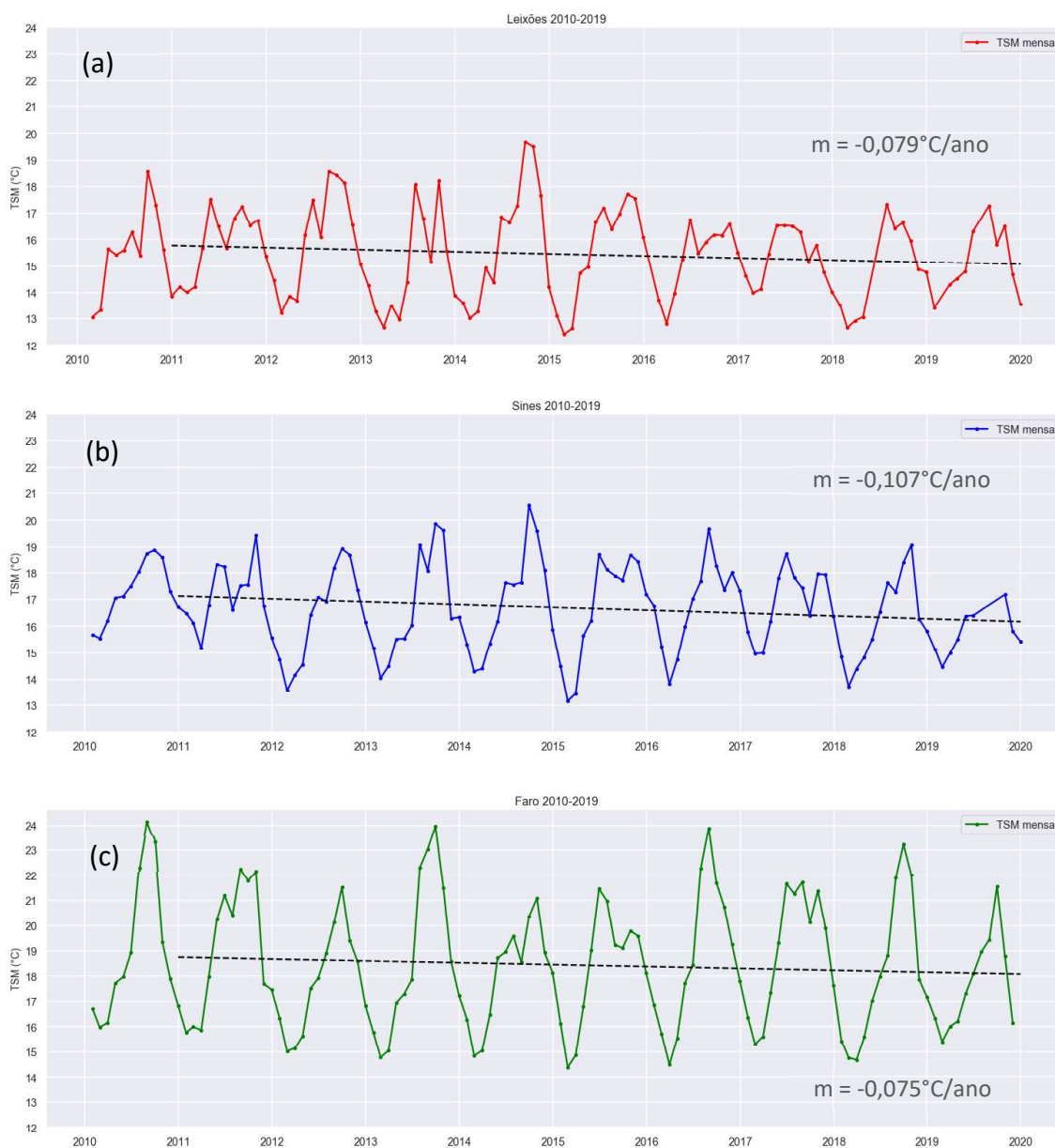


Figura 21 – Variação interanual da TSM obtida através das médias mensais das boias ondógrafo de Leixões (a), Sines (b) e Faro (c), para o período compreendido entre 2010 e 2019. Daqui se retiram as tendências para as regiões de Leixões, $-0,08^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, Sines, $-0,11^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, e Faro, $-0,08^{\circ}\text{C}/\text{ano}$.

Por fim, pela observação da Figura 21 (c), correspondente à região de Faro, globalmente, destacam-se os anos de 2010, 2013 e 2016, com temperaturas

persistentemente altas durante o período de julho a setembro (entre os 22-24°C); 2014 com temperaturas persistentemente baixas durante todo o ano (entre 15-21°C); 2015 com temperaturas baixas durante o período estival (entre 19-21°C); por último, os anos de 2012 e 2019 com valores da temperatura da água ligeiramente baixos durante todo o ano (entre 15,5-21,5°C).

A evolução da TSM para o período de 2010-2019 reflete-se numa tendência de aproximadamente $-0,1^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. Destacam-se os anos, no geral, significativamente mais quentes, 2010, 2013, 2016 e 2018, e mais frios, 2014 e 2015.

Observa-se uma diminuição, constante, dos mínimos entre 2012 e 2017 (abaixo dos 15°C). Surge aqui evidência de um ciclo de maior escala da TSM, com os máximos mais acentuados a ocorrerem em 2010, 2013, 2016 e 2018.

Em suma, é notório uma alteração no comportamento da TSM na última década, principalmente entre os anos de 2011 e 2015, no geral. Constata-se que em toda a costa de PT a tendência da TSM descreve uma diminuição da temperatura da água, com maior ênfase na região de Sines.

3. Discussão dos Resultados

Este estudo permitiu explorar a evolução climática da TSM nas zonas de Leixões, Sines e Faro. Observam-se oscilações naturais, independentemente da região, que permitem descrever a variação da TSM em PT como um fenómeno sazonal. Contudo, as três zonas em estudo apresentam variação desigual no comportamento da TSM ao longo dos períodos temporais analisados (Leixões, 1998-2019; Sines, 1996-2019; e Faro, 1986-2019).

Os resultados do presente estudo mostraram que, nesta base de dados, são por vezes visíveis registos significativamente dispersos, e para isso não foi encontrada uma justificação precisa. No entanto, esses valores poderão estar relacionados com erros na medição da TSM, associados à incrustação biológica que impossibilita a aquisição de dados de qualidade, principalmente durante o verão (Martins *et al.*, 2014).

Os resultados do presente estudo demonstraram um padrão sazonal da TSM que se traduz numa estação de temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição para a estação quente em abril-maio, e para a estação fria em outubro-novembro, e por fim, um período estival de junho a outubro, corroborando o que Silva e Silva (2012) constataram.

Extraíram-se os valores da TSM mínimos e máximos das respetivas boias e pode-se considerar que os intervalos da TSM se encontram dentro dos valores esperados, estando a sua distribuição espacial de acordo com o expectável devido à posição geográfica das boias (águas mais frias a Norte de PT, e mais quentes a Sul). Relativamente às boias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, constataram-se os mínimos e máximos de, respetivamente, 12,1°C e 19,7°C, 13,2°C e 20,6°C, 14,4°C e 24,1°C. As amplitudes entre os extremos da temperatura da água são 7,6°C para Leixões, 7,4°C para Sines e de 9,7°C para Faro.

Silva e Silva (2012) propõem a ocorrência dos valores mínimos, em Sines e Faro, como sendo concordantes com as características do ramo subtropical da Água Central

Oriental do Atlântico Norte, que tende a ocupar toda a coluna superficial durante o inverno nessas zonas.

Os valores máximos de TSM são reflexo dos efeitos da radiação solar e do vento. Os valores observados em Leixões e Sines aparentam uma relação semelhante com os fatores acima mencionados, contudo na região de Faro o máximo poderá justificar-se pela influência da contra-corrente costeira (CCC), uma vez que a relaxação do campo de vento poderá desencadear o seu reforço (Silva e Silva, 2012). Esta corrente, que introduz água quente na CSPT, junto à costa do Algarve, está dependente do relaxamento ou intensificação dos ventos favoráveis ao fenómeno de *upwelling*, e a sua formação proporciona-se quando ventos de leste sopram no estreito de Gibraltar e no Golfo de Cádiz (Sutcliffe *et al.*, 2016), podendo assim provocar o aumento da TSM na região de Faro. Por outro lado, para a região de Sines, sugere-se que a justificação para a menor variação encontrada nesta localização poderá dever-se ao facto desta boia se encontrar numa posição protegida dos ventos intensos de norte devido à presença do cabo Espichel. Contudo, a CCC, pode ocasionalmente contornar o cabo de São Vicente interagindo com a corrente costeira, com direção a sul e a transportar águas frias afloradas (Relvas *et al.*, 2007), podendo justificar a existência de temperaturas da água, no verão, mais elevadas em Sines do que em Leixões.

Em Leixões (julho) e Sines (julho-agosto), são visíveis ligeiras diminuições do valor da temperatura da água na estação quente, para além do mínimo em fevereiro, enquanto em Faro os valores máximos da TSM ocorrem maioritariamente no mês de agosto. Estas diferenças espaciais, refletem a ocorrência do fenómeno de *upwelling* na COPT, induzido pelo vento de norte, e por outro lado, a indução de água quente na CSPT, pela CCC referida anteriormente, que se desenvolve durante a época de *upwelling* (Relvas *et al.*, 2007). Devido à ocorrência de *upwelling*, o máximo da temperatura da água na COPT, foi observado entre os meses de setembro e outubro, e não na estação quente, como observado em Faro. Sendo que o máximo é atingido, primeiramente, em setembro em Leixões e só depois em outubro em Sines, de acordo com o que foi observado por Silva e Silva (2012) que sugerem como justificação o relaxamento do campo do vento, de norte para sul, como consequência do deslocamento sazonal do AA.

Como descrito anteriormente, entre os meses de julho e setembro, as regiões de Leixões e Sines sofrem uma diminuição da TSM durante o período estival, o que sugere a ocorrência do fenómeno de *upwelling*, com maior evidência nos meses de julho e agosto. A periodicidade do fenómeno de *upwelling* aqui descrita (julho a setembro) vai de encontro àquilo que Fiúza *et al.*, (1982) e que Relvas *et al.*, (2009) também consideram, no entanto, outros autores, por exemplo, Lemos e Pires (2004) e deCastro *et al.* (2008) delimitam a época de *upwelling*, respetivamente, entre julho e outubro, e entre abril e setembro, na COPT. Os resultados deste estudo não indicam que diminuições da TSM, associados ao fenómeno de *upwelling*, ocorram significativamente nos meses de abril, maio e outubro. De facto, há anos onde isso se observa, mas consideram-se esporádicos, e por isso definiu-se a época de *upwelling* nos meses descritos.

Ainda, alguns estudos sugerem uma diminuição na intensidade do fenómeno de *upwelling* nos últimos anos (Lemos e Pires, 2004; Lemos e Sansó, 2006), podendo isto justificar a ocorrência de valores máximos anuais da TSM.

Fez-se uma breve análise à evolução interanual da TSM nas regiões costeiras de Leixões, Sines e Faro, para melhor se perceber o impacto do fenómeno de *upwelling* na costa Portuguesa. Não se apresentam os dados das restantes boias uma vez que, pelo elevado número de DM, não permitem elaborar uma descrição adequada. Através da análise da TSM, exclusivamente, constata-se que a evolução interanual da TSM, no que concerne ao fenómeno de *upwelling* para o período temporal de análise, descreve um padrão irregular das médias mensais dos meses de julho, agosto e setembro (Figura 22).

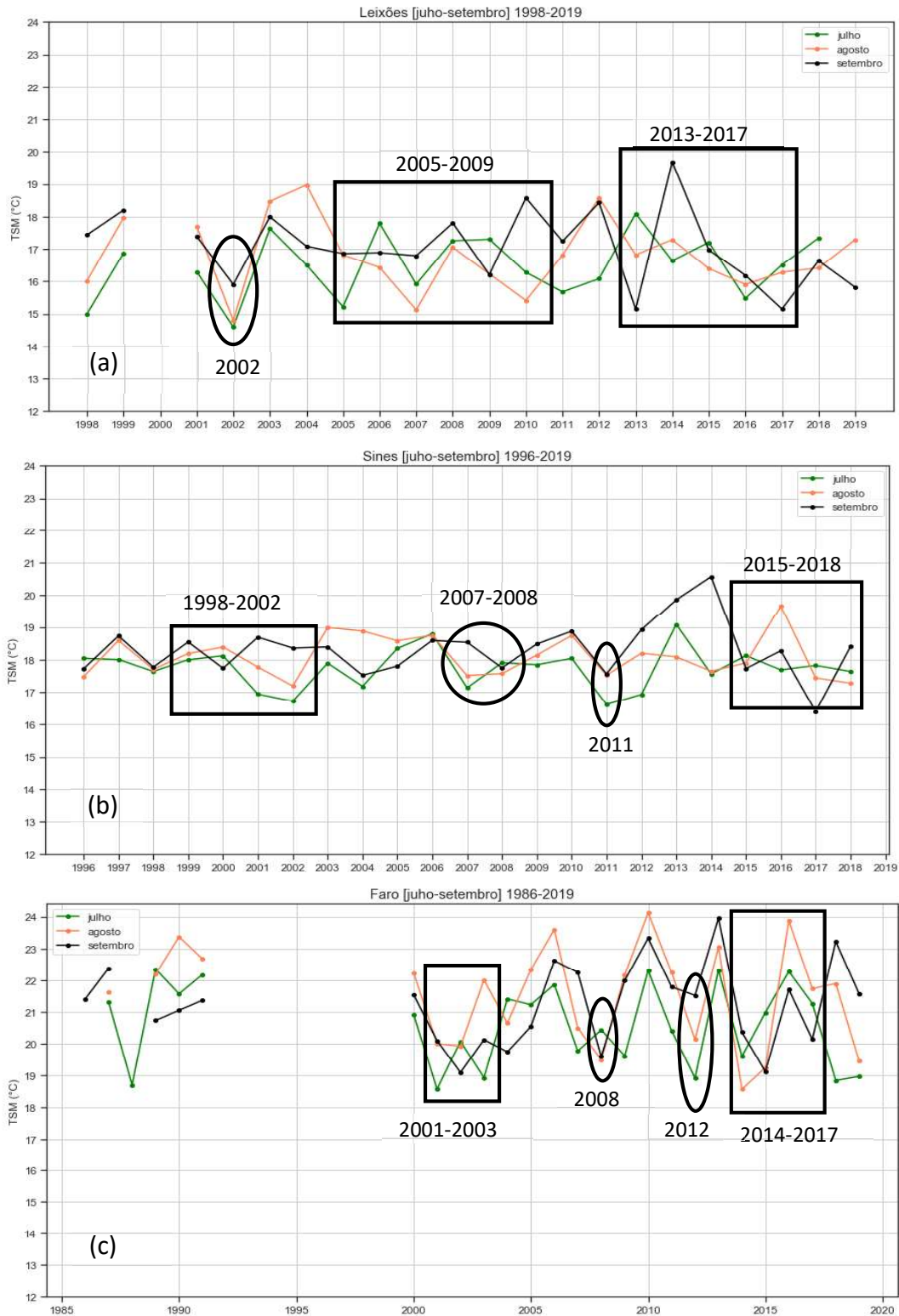


Figura 22 - Variação interanual das médias mensais de julho, agosto e setembro, para as regiões de Leixões (a), Sines (b) e Faro (c). O objetivo será observar a evolução da TSM nestes meses, considerando que é onde se manifesta o fenómeno de *upwelling*, para que se possam retirar breves conclusões sobre esse fenómeno na costa de PT. As figuras geométricas assinalam os períodos temporais com menores temperaturas médias mensais.

Pela observação dos dados, na COPT, primeiramente, na região de Leixões (Figura 22 (a)) verificam-se mínimos acentuados em 2002, entre 2005 e 2009, e entre 2013 e 2017, o que poderá representar períodos de intensificação do *upwelling* (representado por temperaturas da água mais baixas no período estival). Contrariamente, o padrão da temperatura da água manifesta o relaxamento desse fenómeno (caracterizado por temperaturas da água mais elevadas no período estival) em 2003-2004, entre 2011 e 2012, e observando-se, um aumento progressivo da TSM a partir de 2017. Para a região de Sines (Figura 22(b)), verificam-se valores mínimos da temperatura da água nos meses de verão, podendo refletir períodos de *upwelling* mais intensos, entre os anos de 1998-2002, 2007-2008, 2011, e entre 2015-2018.

Por outro lado, a orientação da CSPT não favorece o fenómeno de *upwelling* sob ventos predominantes de norte, sendo esta a justificação apresentada para uma menor ocorrência desse fenómeno nessa região (Fiúza *et al.*, 1982), contrariamente ao observado na COPT, onde o fenómeno de *upwelling* ocorre intensamente e é sazonal. Porém, são ocasionalmente visíveis valores da TSM inferiores ao expectável no período estival, indo esta observação ao encontro do que Sánchez e Relvas (2003) observaram, que justificam estas ocorrências quando ventos favoráveis ao *upwelling* (neste caso ventos de oeste) atuam localmente, tornando propícia a ocorrência desse fenómeno da CSPT. Surge também uma outra hipótese para os acontecimentos esporádicos de abaixamento da TSM quando, durante períodos de vento de norte, ocorre uma extensão para leste do jato de *upwelling* proveniente da COPT, introduzindo águas frias na região Algarvia (Sánchez e Relvas, 2003; Relvas *et al.*, 2007). Assim, na região de Faro (Figura 22 (c)), apesar de este fenómeno não ocorrer com grande intensidade, constata-se períodos onde houve diminuição da TSM, indicativos da ocorrência de *upwelling*. São eles os anos de 2001 a 2003, 2008, 2012, e entre 2014-2017.

Considera-se, no entanto, que para analisar em detalhe a variabilidade do *upwelling*, será necessário complementar o estudo da TSM com outras variáveis, como, por exemplo, o campo do vento ou comparação com imagens satélite, essenciais ao estudo da variabilidade espacial desse fenómeno. Por esta razão, considera-se que o estudo desse fenómeno é dos mais complexos, e é isso visível pela discrepância entre

estudos sobre este tópic. Essa discrepância poderá dever-se à diferença nos períodos temporais analisados, assim como o tipo de dados utilizados serem, por vezes, distintos (por exemplo, vento, dados *in situ* e dados satélite).

Pela comparação entre a TSM registada nas boias costeiras e nas boias oceânicas, considerado representativo da TSM junto à costa e ao largo, respetivamente, os dados revelaram que na região de Faro a TSM registada ao largo atinge, por norma, valores ligeiramente inferiores no mês de agosto, relativamente àqueles registados na região costeira. Sugere-se que a ocorrência dessa diminuição da TSM ao largo poderá ser indicativa de fluxos de água provenientes da COPT, durante períodos de intensificação de *upwelling*, que contornam o cabo de São Vicente e que atingem o largo da costa algarvia (Relvas *et al.*, 2007). No entanto, seria necessário a comparação com imagens satélite para o período correspondente para daí se retirarem conclusões mais concretas.

Dada a larga extensão da série temporal é possível analisar com alguma robustez o ciclo interanual da TSM nas posições das várias boias, especialmente as boias costeiras de Faro, Leixões e Sines. Destaca-se, por exemplo, a observação de um ciclo da TSM com periodicidade de 2 a 3 anos, que, possivelmente, será influenciado por fenómenos de larga escala do Oceano Atlântico.

Para complementar o estudo da variabilidade da TSM sugere-se, por exemplo, analisar a correlação com o fenómeno da Oscilação do Pacífico Sul *El Niño* (ENSO), e ainda, com a Oscilação do Atlântico Norte (NAO). Isto porque considera-se que a ENSO tem relações relevantes com o clima global e é dos fenómenos mais dominantes na variabilidade cíclica do clima em escalas subdecadais (NOAA, 2015). Inclusive, sabe-se que ambos os fenómenos, *El Niño* e *La Niña*, influenciam a formação ou inibição de estruturas ciclónicas no Atlântico Norte (NOAA, 2015), contudo considera-se que o *El Niño* será o que tem maior influência no Atlântico Norte. Por outro lado, as fases da NAO poderão ter relação com a TSM na COPT, podendo, inclusive, influenciar a temperatura da água entre estações no ano (NOAA, s.d.-b; Rafferty, s.d.). Revelando assim que, para além de influenciar o clima global em escalas temporais mais longas, também se poderá fazer sentir noutras com menor intervalo temporal, isto é, sazonalmente. Também, deCastro *et al.* (2008) refere que o padrão de ocorrência deste

fenómeno é dos que mais influência tem na variabilidade do fenómeno de *upwelling*, principalmente entre os 38° e os 41°N.

Os resultados obtidos mostraram que em Leixões há pequenas oscilações de temperatura, entre máximos e mínimos, nos anos de 2002 e 2006, em Sines em 2000, 2007 e 2008, e em Faro em 1988, 2001, 2002 e 2008 (ver Figuras 6 (a), (b) e (c)). Estas oscilações poderão estar relacionadas com oscilações interanuais da posição média do AA, que têm influência no campo do vento (Silva e Silva, 2012).

Para a região de Leixões, sugere-se uma tendência da TSM com valores praticamente nulos, justificada pela compensação visível entre as amplitudes mínimas e máximas da TSM. Porém, a partir de 2016 foram registados valores máximos ligeiramente abaixo da sua média (de acordo com o descrito anteriormente – Figuras 9, 21 (a) e 22 (a)), revelando uma tendência para uma menor amplitude da TSM entre extremos. Os mínimos diminuíram entre 2002 e 2005, e novamente entre 2011 e 2015, com valores mínimos significativamente inferiores nos anos de 2008 e 2014. Silva e Silva (2012) constataram diminuição dos mínimos nesta região entre 2003 e 2009, no entanto neste estudo considera-se apenas até 2005 por evidências do aumento das temperaturas mínimas registadas nos anos de 2006 e 2007.

Seguidamente, a região de Sines sugere uma ligeira tendência para a diminuição anual da TSM com uma taxa de $-0,012^{\circ}\text{C}/\text{ano}$. Sugere-se que esta poderá estar relacionada com a diminuição dos mínimos entre 2011 e 2018. No entanto, é de referir que se realçam os anos de 2005 e 2006, e entre 2012 e 2014, pelo aumento da TSM, como referido anteriormente (Figuras 11, 21(b) e 22 (b)).

Por último, na região de Faro a tendência sugere um ligeiro aumento de $0,016^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, contribuindo para isso os valores máximos registados, que aumentaram entre os anos de 2001 e 2006, facto também observado por Silva e Silva (2012), mas principalmente devido aos picos máximos da TSM registados em 2010, 2013, 2016 (corroborando o observado anteriormente – Figuras 13, 21(c) e 22 (c)), e 2018. Por outro lado, nesta região observou-se diminuição progressiva dos valores mínimos de 2011 até ao ano de 2017.

No decorrer deste estudo, não se encontrou uma justificação concreta para as variações observadas, apenas que os valores máximos poderão estar relacionados, no geral, com relaxação do fenómeno de *upwelling* na COPT. São, inclusive, visíveis anos que corroboram esta questão. Contudo, sugere-se a continuidade desta pesquisa em trabalhos futuros.

Por fim, a análise da última década demonstra que a tendência do comportamento da TSM descreve um decréscimo significativo, na ordem dos $-0,1^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, independentemente da região analisada. Diversos estudos apontam para um aumento genérico da TSM independentemente da base de dados analisada (Casey e Cornillon, 2001; Lemos e Pires, 2004; Lemos e Sansó, 2006; deCastro *et al.*, 2008; Relvas *et al.*, 2009), e Silva e Silva (2012) descreve uma tendência para um aumento médio anual na região de Faro de $0,1^{\circ}\text{C}$ para o período de 2000 a 2011, e para esse período os dados correspondem, no entanto quando se isola a última década verifica-se o oposto. No decorrer deste trabalho não se apurou uma justificação concreta para esta questão, sugerindo-se trabalhos futuros nesta área.

Recapitulando, considera-se que esta dissertação de mestrado atingiu os objetivos propostos, tendo sido capaz de confrontar, na sua maioria, as seguintes questões:

1. Qual é a variabilidade espaço-temporal da TSM nas águas marinhas Portuguesas? Isto é, o padrão da TSM é similar entre regiões? Verifica-se sazonalidade na TSM?

Independentemente da localização da boia, constata-se um ciclo sazonal da temperatura da água, descrito por temperaturas frias no primeiro e último trimestre do ano, um período de transição a ocorrer entre março e junho, e um período onde a TSM apresenta valores superiores, por norma, entre junho e outubro. Contudo, apesar do padrão sazonal semelhante entre regiões, a TSM em Leixões apresenta os valores mais baixos, enquanto a TSM em Faro descreve os valores mais elevados. Em Leixões e Sines, observam-se diminuições da TSM nos meses de verão, enquanto em Faro, por norma, o

comportamento da TSM descreve uma variação sazonal onde o mês de agosto, em média, apresenta temperaturas mais elevadas.

2. O fenómeno de *upwelling* é observável nos dados da TSM?

O fenómeno é observável tanto na COPT como na CSPT, pela diminuição dos valores da TSM na estação quente, muitas vezes de forma abrupta, tendo maior evidência na COPT.

a. Estará o fenómeno de *upwelling* a intensificar-se na nossa costa?

Considera-se que não foi possível responder a esta questão na sua plenitude, pela observação exclusiva da TSM nos meses de julho a setembro (Figura 22), mas na região de Leixões (Figura 22 (a)) sugere-se uma aparente intensificação (águas mais frias) desse fenómeno. Relativamente à região de Sines (Figura 22 (b)), sugere-se um relaxamento do *upwelling* de 2015 até 2019.

b. E como consequência, estará o fenómeno de *upwelling* a ter influência no padrão da TSM?

Genericamente, pelas anomalias e variações térmicas interanuais descritas na secção 2. e pela observação da Figura 22, considera-se que este fenómeno tem influência nos máximos da TSM registados no verão, uma vez que, na sua maioria, os máximos significativos assinalados ao longo da análise correspondem a períodos identificados pela relaxação do *upwelling*.

3. O comportamento da TSM é semelhante entre as regiões costeiras e as do largo?

De facto, isto não se verifica. A TSM ao largo, no geral, apresenta valores da temperatura da água superiores aos valores costeiros, no entanto exibem um ciclo sazonal semelhante ao das boias costeiras, com máximos da TSM no mês de setembro, à exceção da boia FarOff onde o máximo ocorre, em média, no mês de setembro e não em agosto como se observa na sua correspondente costeira.

4. A TSM tem sido constante? Tem tendência para aumentar em toda a costa ou não?

Os dados demonstraram grande variabilidade no comportamento da TSM, independentemente da região analisada, comprovando que a TSM é influenciada por diversos fatores. Ainda, no que concerne as tendências da TSM nas águas marinhas de PT, destaca-se a tendência para um ligeiro decréscimo anual da TSM em Sines (-0,012°C), e um ligeiro aumento anual na região de Faro (0,016°C). No então, realça-se, que a análise da última década revelou uma tendência de decréscimo da TSM em toda a costa de PT, sendo significativo nas regiões costeiras (cerca de -0,1°C/ano).

5. É visível a intensificação dos extremos da TSM, tanto em máximos como em mínimos? São recorrentes/constantemente ou apenas esporádicos? E consequentemente, estão relacionados com o fenómeno de *upwelling* ou não?

Foram descritas ao longo desta tese anomalias da TSM, onde fora perceptível a variação da TSM, com a indicação de valores extremos a ocorrer, principalmente, nos máximos registados na última década. Por outro lado, também foram significativos os períodos descritos relativamente ao comportamento dos valores mínimos da TSM registados. Relativamente à segunda parte da questão, esta já foi respondida em parte na resposta à pergunta 2.a., onde se observou uma relação entre a intensidade do fenómeno de *upwelling* e os máximos registados. Quanto aos mínimos não se conseguiu apurar uma justificação concreta.

Em síntese, e para terminar, expõem-se as questões levantadas no decorrer deste trabalho e onde não foi possível obter respostas concretas:

1. Será que estes resultados sugerem um ciclo da TSM do oceano numa escala de 10-10 anos? Como descrito anteriormente, este estudo permite sugerir a existência de um ciclo da TSM talvez relacionado com fenómenos de grande escala, poderá também sugerir-se um ciclo inter-décadas?
2. Poderá o comportamento da TSM da última década estar diretamente relacionada com os efeitos do aquecimento global ou influência antropogénica? Pela observação dos últimos 10 anos apenas, é visível a

ocorrência de máximos bastante extremos, sem periodicidade constante. Por outro lado, observam-se mínimos cada vez mais acentuados, mas estes com comportamento de variação anual praticamente constante. Sugere-se, assim, a necessidade de continuar a elaborar estudos nesta área onde se aborde a temática do aquecimento global e a sua influência na TSM, e conseqüentemente, nos ecossistemas da costa Portuguesa. Bakun (1990), por exemplo, aborda uma relação entre os GEE e a intensificação dos ventos favoráveis ao *upwelling*, que poderão estar a proporcionar a intensificação desse fenómeno.

Através desta última questão podem-se acrescentar ainda as seguintes questões:

3. Devemos então estudar em particular as anomalias térmicas para perceber as alterações na TSM e a sua periodicidade, ao invés de se analisar o valor absoluto da temperatura da água? Isto é, será que pela análise isolada dos valores extremos poderíamos retirar conclusões essenciais para a percepção do que ocorre com a TSM?
4. Para o período aqui analisado, o comportamento de outros fatores influenciadores do clima, como por exemplo o vento, terá um comportamento correspondente às anomalias e padrões descritos? Seria interessante, a sobreposição desses parâmetros com os dados da TSM para melhor se perceber a sua influência nos valores da TSM.

Finalizando, considera-se que seria da máxima relevância realizar um maior número de estudos sobre a costa de PT, abordando diversos fatores climáticos, uma vez que se constatou ser do maior interesse para a comunidade científica. Isto porque, o território português é uma área fortemente ligada à dinâmica do oceano, e conseqüentemente, aos diversos vetores influenciadores do clima. É de realçar, que parte deste estudo climático não seria possível se já não houvesse uma extensa base de dados. Assim, exorta-se a importância da manutenção dos meios de medição dos parâmetros de estudo do oceano, para que, no futuro, exista uma extensa e robusta base de dados, a fim de se estudar o meio marinho com maior precisão e rigor.

4. Conclusão

Definiu-se o objetivo deste estudo pela caracterização da variabilidade espaço-temporal da TSM nas águas marinhas Portuguesas. Através da análise dos dados *in situ* de sete boias, distribuídas ao largo e ao longo da costa de PT, conclui-se que a TSM na costa oeste da PI apresenta variação sazonal e espacial. Assim, verifica-se uma estação de temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição para a estação quente a ocorrer entre março e junho, e para a estação fria entre outubro e dezembro, e um período estival entre os meses de junho a outubro, caracterizado por temperaturas da água ligeiramente elevadas. Constatou-se, ainda, que na estação quente decorriam diminuições da TSM, nas boias localizadas na COPT, indicativas da ocorrência do fenómeno de *upwelling*, considerado entre os meses de julho a setembro. A variação espacial prende-se no facto de, como expectável, a TSM na costa de PT ser mais fria a norte da COPT, e mais quente na CSPT, e ainda pelo facto das temperaturas da água registadas ao largo serem ligeiramente superiores às registadas nas regiões costeiras.

Refere-se que a inclusão de boias noutras áreas, como os arquipélagos dos Açores e da Madeira, foi posta em consideração, mas tendo em conta o tempo disponível, a área de estudo foi limitada, pelo que as sete boias seleccionadas foram aquelas que estavam disponíveis na AI.

Em último lugar, constatou-se a importância de uma base de dados extensa e coesa, como é o caso daquela das boias ondógrafo, através da qual foi possível efetuar uma análise climática das regiões de Leixões, Sines e Faro. Através dessa análise observou-se que a tendência da TSM para a região de Sines descreve um ligeiro decréscimo, enquanto para Faro descreve um ligeiro aumento. Aquando da análise da última década independentemente da região, constatou-se, na sua maioria, uma tendência da TSM para um decréscimo significativo. Foi ainda observado um padrão da TSM com ciclo quasi-periódico de 2-3 anos, provavelmente, induzido por fatores de grande escala.

4.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

No que concerne a trabalhos futuros expressam-se as sugestões seguintes:

1. Complementar este estudo com a sobreposição do campo do vento, uma vez que se revelou ser um fator preponderante para uma análise mais coesa da presente base de dados;
2. Elaborar uma análise estatística detalhada a estes dados e ao ajustamento dos valores das médias anuais da TSM para apurar o cumprimento dos pressupostos da aplicação da regressão linear, uma vez que pelo tempo disponível tal não foi possível, para colmatar, validar e aprimorar os resultados apresentados nesta tese;
3. O estudo de fenómenos globais e a sua correlação com a anomalias da TSM na COPI;
4. Estudo semelhante para as regiões insulares da Madeira e dos Açores (ambos com dinâmicas climáticas bastante distintas);
5. Estudos sobre a distribuição de CO₂, ou outros gases influenciadores do clima, assim como a correlação com ações antropogénicas. Uma vez que relativamente ao *upwelling*, não é visível se alterações nesse fenómeno estão relacionadas com causas naturais ou pela influência humana (Santos *et al.*, 2011);
6. Complementar o estudo da TSM conjugando dados *in situ* e imagens de satélite pois irá adicionar informação sobre a variabilidade espacial;
7. Por último, estudos da temperatura do mar em profundidade, isto para que se possa confrontar se a TSM é indicativa do que se passa na coluna de água.

5. Referências

- Bakun, A. (1990). Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling. *Science*, 247, 198-201. doi:10.1126/science.247.4939.198
- Binner, H. (18 de March de 2018). Assessment of the utility of the ESA SST CCI product for environmental research using data from meteorological buoys in the North Atlantic. 40. University College Cork, Ireland.
- Casey, K. S., e Cornillon, P. (15 de September de 2001). Global and Regional Sea Surface Temperature Trends. *Journal of Climate*, 14, 3801-3818.
- deCastro, M., Gómez-Gesteira, M., Lorenzo, M., Alvarez, I., e Crespo, A. (2008). Influence of atmospheric modes on coastal upwelling along the western coast of the Iberian Peninsula, 1985 to 2005. *Climate Research*, 36, 169-179. doi:10.3354/cr00742
- DGRM. (2018). *Zonas Marítimas sob Soberania e ou Jurisdição Portuguesa*. Obtido em junho de 2020, de Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos: <https://www.dgrm.mm.gov.pt/am-ec-zonas-maritimas-sob-jurisdicao-ou-soberania-nacional>
- Fiúza, A. F., Macedo, M. E., e Guerreiro, M. R. (1982). Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanologia Acta*, 5, 31-40.
- IH. (08/03/18). *Equipamentos*. Obtido em junho de 2020, de Hidrográfico: <https://www.hidrografico.pt/op/27>
- Lemos, R. T., e Pires, H. O. (2004). The upwelling regime off the west Portuguese coast, 1941-2000. *International Journal of Climatology*, 24, 511-524. doi:10.1002/joc.1009
- Lemos, R. T., e Sansó, B. (2006). Spatio-temporal variability of ocean temperature in the Portugal Current System. *Journal of Geophysical Research*, 111. doi:10.1029/2005JC003051

- Martins, I., Zacarias, N., e Vitorino, J. (2014). Rede Portuguesa de boias multiparamétricas em tempo real – a experiência de cinco anos. *3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, (p. 5). Lisboa.
- NOAA. (10/09/19). *What are phytoplankton?* Obtido em junho de 2020, de National Ocean Service website: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/phyto.html>
- NOAA. (julho de 2015). *El Niño*. Obtido em junho de 2020, de National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/el-nino>
- NOAA. (28 de junho de 2016). *Does water temperature differ between near-shore and offshore sites? Why or why not?* Obtido em junho de 2020, de National Data Buoy Center:
https://www.ndbc.noaa.gov/educate/seatemp_ans.shtml#:~:text=There%20are%20several%20factors%20which,ocean%20currents%2C%20and%20upwelling%20effects.
- NOAA. (s.d.-a). *What is upwelling?* Obtido em junho de 2020, de National Ocean Service website: <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/upwelling.html>
- NOAA. (s.d.-b). *North Atlantic Oscillation (NAO)*. Obtido em junho de 2020, de National Oceanic and Atmospheric Administration :
<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/>
- Rafferty, J. P. (s.d.). *North Atlantic Oscillation*. Obtido em junho de 2020, de ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA: <https://www.britannica.com/science/North-Atlantic-Oscillation>
- Relvas, P., Barton, E., Dubert, J., Oliveira, P., Peliz, Á., Silva, J., e Santos, A. (2007). Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: Latest views and challenges. *Progress in Oceanography*, 74, 149-173.
- Relvas, P., Luís, J., e Santos, A. M. (2009). Importance of the mesoscale in the decadal changes observed in the northern Canary upwelling system. *Geophysical Research Letters*, 36. doi:10.1029/2009GL040504,

- Sánchez, R. F., e Relvas, P. (2003). Spring–summer climatological circulation in the upper layer in the region of Cape St. Vincent, Southwest Portugal. *ICES Journal of Marine Science*, 60, 1232-1250. doi:10.1016/S1054–3139(03)00137-1
- Santos, F., Gómez-Gesteira, M., deCastro, M., e Álvarez, I. (2011). Upwelling along the western coast of the Iberian Peninsula: dependence of trends on fitting strategy. *Climate Research*, 48, 213-218. doi:10.3354/cr00972
- Silva, A. J., e Silva, F. (2012). Caracterização do regime térmico das águas marinhas portuguesas com base nos registos das boias ondógrafo. *2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, (p. 3). Lisboa.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to Physical Oceanography*. Department of Oceanography, Texas A & M University.
- Sutcliffe, A., Brito, A., Sá, C., Sousa, F., Boutov, D., e Brotas, V. (2016). *Observação da Terra: uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas*. (DGRM, Ed.) Lisboa, Portugal.
- VanderPlas, J. (2017). *Python Data Science Handbook*. (D. Schanafelt, Ed.) United States of America: O'Reilly Media, Inc.

6. Apêndices

Apêndice A - Média Aritmética Ponderada

Com a base dados organizada em intervalos horários de 3h, determinou-se que um dia completo seria aquele com oito valores. Uma parte integrante da equação desta média é o peso. Contaram-se os intervalos horários por dia que continham valores, e associada a essa informação estabeleceu-se o peso de cada dia como o valor de registos nesse dia, presentes nos intervalos, dividido por oito (número máximo), considerando, assim, que o dia completo terá peso igual a um e um dia sem registos igual a zero.

Isso originou uma coluna com o fator peso, onde se constatou a DM nos intervalos. Neste estudo não se excluíram valores diários, pois o número de registos com DM superior a 70% (equivalente a menos de 3 registos) era negligenciável permitindo o uso de toda a base de dados.

Para a determinação da média mensal utilizou-se a expressão:

$$\text{Média ponderada} = \frac{\sum(P_i \times TSM_i)}{\sum P_i}$$

onde i representa o dia do mês, P_i o peso associado a esse dia, TSM_i a média dos registos desse dia, e \sum representa o somatório desta operação a toda a base de dados

No que concerne as médias anuais, para análise expedita, teve de se ter em consideração os anos bissextos (366 dias) e os não-bissextos (365 dias), isto porque nos anos bissextos o mês de fevereiro terá 29 dias contrariamente aos não-bissextos onde terá 28 dias. Os anos bissextos incluídos no período de estudo são os seguintes: 1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008, 2012 e 2016. É de ter em consideração também que um ano tem quatro meses com 30 dias e sete meses com 31 dias.

Apêndice B – Gráficos das boias meteo-oceanográficas relativos à última década

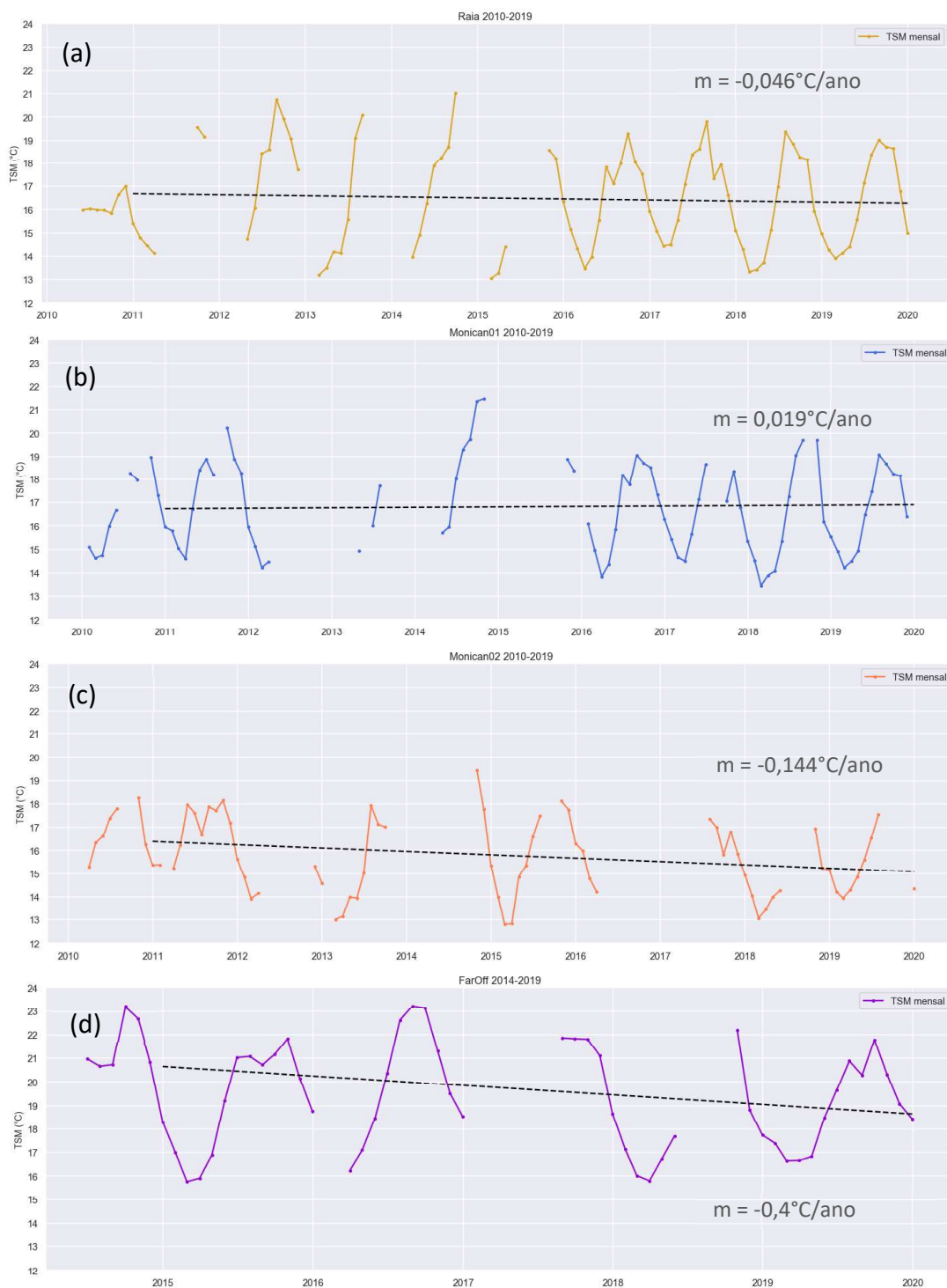


Figura 23 - Variação interanual da TSM obtida através das médias mensais das boias meteo-oceanográficas Raia (a), Monican01 (b), Monican02 (c), para o período 2010-2019, e FarOff (d), para o período 2014-2019. Daqui se retiram as tendências para as regiões de Leixões (Raia), $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, Nazaré (Monican01 e 02), $-0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $-0,014^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, respetivamente, e Faro (FarOff), $-0,4^{\circ}\text{C}/\text{ano}$.

Apêndice C – Proposta de resumo alargado submetida nas 6.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 1.^{as} Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia

1.Introdução

Foram selecionadas sete boias (Tabela I) fundeadas ao largo e ao longo da costa de Portugal Continental (PT), geridas pelo Instituto Hidrográfico (IH) e incluídas no programa MONIZEE. As boias dividem-se em dois tipos distintos: boias ondógrafo (*Datawell Waverider*) e boias meteo-oceanográficas (*Oceanor Wavescan*). As boias ondógrafo encontram-se mais perto de costa (denominadas boias costeiras) e as outras ao largo (denominadas oceânicas), com exceção da boia Monican02 que tem posição costeira. Considera-se este estudo relevante uma vez que os dados recolhidos *in situ* pelas boias ondógrafo permitem a análise de cerca de 20 anos de dados da temperatura da superfície do mar (TSM), o que possibilita a construção preliminar da climatologia das zonas de Leixões, Sines e Faro. As duas primeiras zonas estão localizadas na costa oeste de PT (COPT) e, a última, na costa sul de PT (CSPT). Por outro lado, as boias meteo-oceanográficas apenas disponibilizam cerca de 10 anos de dados da TSM, no entanto isto torna-se interessante aquando da sobreposição com as boias ondógrafo para a última década. Considera-se que este estudo poderá ser pioneiro para considerações de trabalhos futuros no âmbito do estudo das águas marinhas Portuguesas.

Nome da boia	Posição (WGS 84)	Profundidade medida (m)	Profundidade fundeadas (m)	Período temporal de recolha	Anos de estudo
Leixões	41°19.00'N 008°59.00'W	0,7	83	1998 - 2019	21
Raia*	41°08.9'N 009°34.9'W	1	1600	2010 – 2019	9
Monican02*	39°33.6'N 009°12.6'W	1	90	2010 – 2019	9
Monican01*	39°30.94'N 009°38.24'W	1	2000	2009 – 2017	8
Sines	37°55.3'N 008°55.7'W	0,7	97	1996 – 2019	23
Faro	36°54.3'N 007°53.9'W	0,7	93	1986 – 1992 e 2000 – 2019	25
FarOff*	36°23.90'N 008°04.10'W	1	1334	2014 – 2019	5

Tabela I. Informação correspondente a cada boia. As boias com o símbolo * são boias do tipo meteo-oceanográficas e as restantes são boias ondógrafo. As cores distinguem as boias costeiras (azul) das boias oceânicas (laranja).

2. Materiais e Métodos

Os dados recolhidos pelas boias foram disponibilizados organizados em intervalos horários de 3 horas nas boias ondógrafo e em intervalos de 1 hora nas boias meteo-oceanográficas. Neste estudo, após constatação da variabilidade de tempo dos registos da base de dados e por forma a uniformizá-la, agruparam-se os dados em intervalos horários de 3 horas, efetuando-se a média dos registos em cada intervalo de 3 horas, para, posteriormente, se proceder à aplicação de médias mensais ponderadas.

Após a elaboração das médias mensais foram analisadas as séries temporais de cada boia, e a sazonalidade associada às regiões costeiras de Leixões, Sines e Faro.

3. Resultados e Discussão

Através dos valores médios mensais obtidos para cada boia, retiraram-se os valores máximos e mínimos da TSM das respetivas séries temporais disponíveis (Fig. 1.).

Os valores de TSM mínimos nas boias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro são, respetivamente, 12,1°C, 13,2°C, 14,4°C e os valores máximos, 19,7°C, 20,6°C, 24,1°C. Com isto registam-se as amplitudes da temperatura, entre máximos e mínimos, de 7,6°C para Leixões, 7,4°C para Sines e de 9,7°C para Faro. Constatou-se que o valor mínimo de Faro e Sines decorreu em fevereiro de 2015, e em Leixões em fevereiro de 2009. Quanto aos valores máximos, ocorreram em agosto de 2010 na região de Faro, e em setembro de 2014 em Leixões e Sines. A boia Monican02 registou o valor mínimo de 12,8°C e o valor máximo de 19,4°C, registando uma amplitude da temperatura de 6,6°C. Estes valores foram registados em fevereiro de 2015 e em outubro de 2014, respetivamente.

No que concerne às boias oceânicas, a boia Raia revelou um máximo da TSM de 21°C registado em 2014 no mês de setembro, e um valor mínimo de 13°C em fevereiro de 2015. A boia oceânica da região de Faro, a boia FarOff, revelou o máximo da TSM em 2016, no mês de agosto, perto dos 23°C e o mínimo em fevereiro de 2015, perto dos 16°C. Por fim, a boia Monican01, apresentou um máximo da temperatura da água correspondente a 21,5°C, em outubro de 2014, e um mínimo de 13,5°C registado em fevereiro de 2018. Assim, para estas regiões a amplitude da temperatura da água

registado, entre máximos e mínimos, é de 8°C na boia Raia e na boia Monican 01, e de 7°C na boia FarOff.

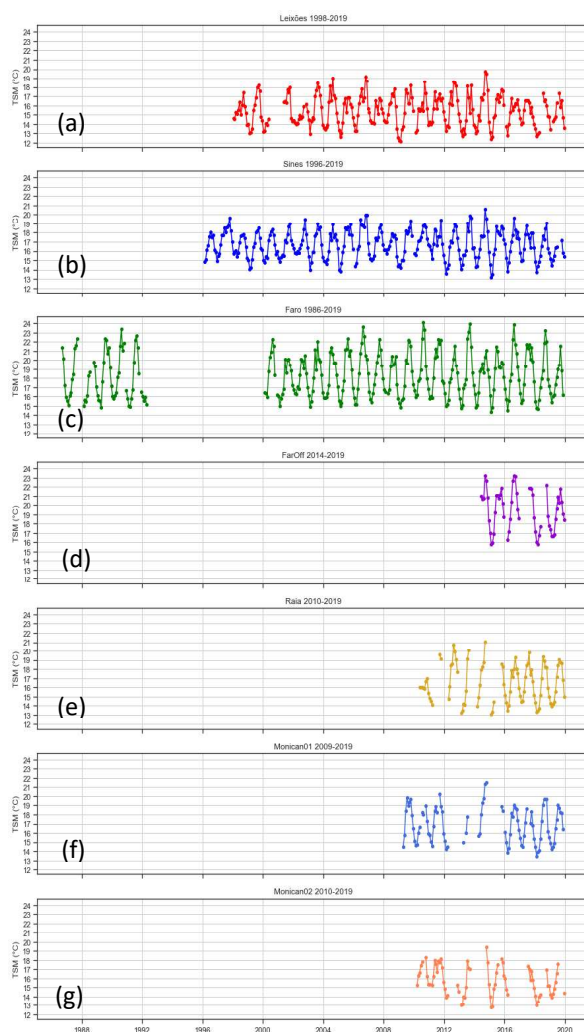


Fig. 1. Séries temporais das médias mensais da temperatura da superfície do mar referentes a cada boia. Por ordem na figura: boias ondógrafo: (a) Leixões (1998-2019), (b) Sines (1996-2019), (c) Faro (1986-2019); e boias meteo-oceanográficas: (d) FarOff (2014-2019), (e) Raia (2010-2019), (f) Monican01 (2009-2019) e (g) Monican02 (2010-2019).

Quanto aos mínimos registados, Silva e Silva (2012) propõem a ocorrência desses valores, em Sines e Faro, como sendo concordantes com as características do ramo subtropical da Água Central Oriental do Atlântico Norte, que tende a ocupar toda a coluna superficial durante o inverno nessas zonas.

Os valores máximos de TSM são reflexo dos efeitos da radiação solar e do campo do vento. Os valores observados em Leixões e Sines aparentam uma relação semelhante

com os fatores acima mencionados, contudo na região de Faro o máximo poderá justificar-se pela influência da contra-corrente costeira (CCC), uma vez que a relaxação do campo de vento poderá desencadear o seu reforço (Silva e Silva, 2012). Esta corrente, que introduz água quente na CSPT, junto à costa do Algarve, está dependente do relaxamento ou intensificação dos ventos favoráveis ao fenómeno de *upwelling*, e a sua formação proporciona-se quando ventos de leste sopram no estreito de Gibraltar e no Golfo de Cádiz (Sutcliffe *et al.*, 2016), podendo assim provocar o aumento da TSM na região de Faro. Por outro lado, para a região de Sines, sugere-se que a justificação para a menor variação encontrada nesta localização poderá dever-se ao facto desta boia se encontrar numa posição protegida dos ventos intensos de norte devido à presença do cabo Espichel. Contudo, a CCC, pode ocasionalmente contornar o cabo de São Vicente interagindo com a corrente costeira, com direção a sul e a transportar águas frias afloradas (Relvas *et al.*, 2007), podendo justificar a existência de temperaturas da água, no verão, mais elevadas em Sines do que em Leixões.

Os resultados do presente estudo demonstram um padrão sazonal que manifesta uma estação de temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição para a estação quente em abril-maio, e para a estação fria em outubro-novembro, e por fim, uma estação quente de junho a outubro, corroborando o que Silva e Silva (2012) também constataram.

Também demonstram, relativamente a Leixões (julho) e Sines (julho-agosto), a existência de ligeiras diminuições do valor da temperatura da água na estação quente (para além do mínimo registado em fevereiro), enquanto em Faro os valores máximos da TSM ocorrem maioritariamente no mês de agosto, indo, novamente, ao encontro do que Silva e Silva (2012) constataram.

Estas diferenças espaciais, refletem a ocorrência do fenómeno de *upwelling* na COPT, induzido pelo vento de norte, e por outro lado, a indução de água quente na CSPT, pela CCC referida anteriormente, que se desenvolve durante a época de *upwelling* (Relvas *et al.*, 2007). Devido à ocorrência de *upwelling*, o máximo da temperatura da água na COPT, foi observado entre os meses de setembro e outubro, e não na estação

quente, como observado em Faro. Sendo que o máximo é atingido, primeiramente, em setembro em Leixões e só depois em outubro em Sines, de acordo com o que foi observado por Silva e Silva (2012) que sugerem como justificação o relaxamento do campo do vento, de norte para sul, como consequência do deslocamento sazonal do AA.

Este estudo revelou ainda, que na região de Leixões sugere-se uma tendência da TSM com valores praticamente nulos, justificada, pela compensação visível entre as amplitudes mínimas e máximas da TSM. Na região de Sines a tendência revela uma ligeira tendência para a diminuição anual da TSM com uma taxa de $-0,012^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, que poderá estar relacionada com a diminuição dos mínimos entre 2011 e 2017. Por último, na região de Faro a tendência descreve um ligeiro aumento de $0,016^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, contribuindo para isso os valores máximos registados, que cresceram entre os anos de 2001 e 2006, facto já observado por Silva e Silva (2012), mas principalmente devido aos picos máximos da TSM registados em 2010, 2013, 2016 e 2018. Por outro lado, nesta região observou-se diminuição progressiva dos valores mínimos a partir de 2009 até ao ano de 2015.

Apesar de ligeiras diferenças encontradas com Silva e Silva (2012), para o mesmo período temporal (1996-2011), não se constataram necessariamente resultados discrepantes. Algumas das diferenças podem ser justificadas pela densidade dos dados, consequentemente refletida nos períodos temporais analisados. Inclusive, a maioria das evidências de eventos extremos da TSM na costa Portuguesa surgem quando se faz a observação isolada da última década.

A análise da última década demonstra que a tendência do comportamento da TSM descreve um decréscimo significativo, na ordem dos $-0,1^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, independentemente da região analisada. Esta observação não coincide com o que seria expectável, uma vez que Silva e Silva (2012) descrevera uma tendência para um aumento médio anual da TSM na região de Faro de cerca de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, num estudo que compreende o período de 2000 a 2011.

4. Conclusões

Através da análise dos dados *in situ* das sete boias, distribuídas ao largo e ao longo da costa de PT, conclui-se que a TSM na costa oeste da Península Ibérica apresenta variação sazonal e espacial. Assim, verifica-se uma estação de temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição para a estação quente a ocorrer entre março e junho, e para a estação fria entre outubro e dezembro, e um período estival entre os meses de junho a outubro, caracterizado por temperaturas da água ligeiramente elevadas. Constatou-se, ainda, que na estação quente decorriam diminuições da TSM, nas boias localizadas na COPT, indicativas da ocorrência do fenómeno de *upwelling*, considerado entre os meses de julho a setembro. Verifica-se variação espacial da TSM pelo facto de, como expectável, a TSM na costa de PT ser mais fria a norte da COPT, e mais quente na CSPT, e ainda pelas temperaturas da água registadas ao largo serem ligeiramente superiores às registadas nas regiões costeiras.

Por fim, este trabalho permitiu constatar que a manutenção da rede de boias Portuguesa é da extrema importância, pois a TSM representa um dos mais relevantes materiais de estudo para a monitorização das águas marinhas Portuguesas e daí, haver a necessidade de existirem dados fidedignos, contínuos e extensos, por serem essenciais ao estudo do oceano.