

**Variabilidade interdecadal da zona oceânica portuguesa nos
semestres de Inverno e de Verão**

sob a orientação do Professor Doutor João Corte-Real

Dissertação para a obtenção do grau
de Mestre em Clima e Ambiente
Atmosférico

Filipa Pinto de Meneses Silvério Marques

**Universidade de Évora
2004**

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

**Variabilidade interdecadal da zona oceânica portuguesa nos
semestres de Inverno e de Verão**

sob a orientação do Professor Doutor João Corte-Real

Dissertação para a obtenção do grau
de Mestre em Clima e Ambiente
Atmosférico

Filipa Pinto de Meneses Silvério Marques



152 217

**Universidade de Évora
2004**

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Corte-Real, pelo incentivo e estímulo para a realização deste Mestrado, assim como a disponibilidade e o apoio que me concedeu ao orientar esta dissertação.

À Professora Doutora Ana Maria Silva, pelo apoio e estímulo que dispensou ao longo deste curso de Mestrado.

Ao Dr. João Vitorino e à Dra. Sara Almeida, pelo apoio dispensado e pelas discussões profícuas com eles empreendidas.

Gostaria igualmente de endereçar o meu agradecimento à equipe da divisão de Oceanografia do Instituto Hidrográfico pela colaboração dada ao trabalho desenvolvido.

RESUMO

No presente trabalho investigam-se as condições climatológicas oceanográficas da zona oceânica portuguesa. O estudo é baseado nos dados recolhidos por várias campanhas científicas e por navios de oportunidade, disponibilizados ao Instituto Hidrográfico pelo *International Council for the Exploration of the Sea* – ICES. Este conjunto compreende valores observados de temperatura e de salinidade que, foram sujeitas a um controlo de qualidade, desenvolvido neste trabalho.

O domínio geográfico deste estudo (30° - 42 °N; 5° - 15 °W) foi repartido em áreas regulares menores com diferentes dimensões, seleccionadas de forma a capturar características distintas destas regiões (abrangendo as regiões costeiras, vertente continental e oceano aberto).

A variabilidade decadal destas propriedades existente em cada área foi investigada, em cada estação. Este estudo da variação interdecadal (1971-80, 1981-90 e 1991-2001) nos diagramas T-S revela variações não monótonas entre áreas e entre décadas na camada superior do oceano (primeiros 1500 m aproximadamente). Na última década (1991-2001) verificou-se um aumento acentuado de temperatura na camada superficial do oceano na maioria das regiões.

O estudo das anomalias climáticas decadais mostra que a temperatura e salinidade estão em fase, apresentando à mesma pressão máximos e mínimos simultâneos. Verificou-se que a profundidade onde ocorre maior desvio climatológico de temperatura e salinidade se localiza entre 1000 a 1500m, na zona de mistura com a Água Mediterrânica. Ambas as anomalias decadais revelam em certas áreas que a sua variação em profundidade inverte o sinal, existindo uma inversão característica perto dos 500 m nas três décadas.

Este estudo pretende contribuir para um melhor conhecimento da variabilidade climática da zona oceânica portuguesa.

Interdecadal variability in winter and summer semester in the portuguese ocean zone

Abstract

In the present study the climatic ocean conditions of the Portuguese are investigated. Hydrographic data collected by several countries was supplied by *International Council for the Exploration of the Sea* and by Portuguese hydrographic campaigns. The study period extends from 1971 to 2001. This data set comprehends CTD and bottle measurements of temperature (T) and salinity (S) that were subjected to quality control procedures developed in this work. The geographic domain of study, 30°N to 42° N, 5°W to 15°W was subdivided into regular areas with different dimensions to capture coastal, offshore and open sea features.

Decadal variability is investigated for the periods 1971-80, 1981-90 and 1991-2001, for the winter and summer semesters. Seasonal variability features intrinsic of upwelling and downwelling months are well recognized. The most relevant variation found in the seasonal thermocline (in summer) is in the southern most areas. The T-S diagrams show a major shift of salinity towards higher values in the last decade in this upper layer. In this same period, 1991-2001, the surface layer reveals a pronounced warming in most of the areas.

Winter semester analysis shows variations in the upper 1500 dbar not monotonic between decades, mainly observable in the thermohaline maxima and at the surface layer. A colder surface and sub-surface layers are observed in the last two decades. Decadal T and S anomalies disclose layers of maximum and minimum variability depths. Maximum variability is observed at surface layer and depths around 1500 dbar and null variability in the region of 500 dbar. A sign inversion between surface and intermediate layers is marked by these depths where the anomalies changes sign. Temperature and salinity profiles exhibit highly correlated coefficients below surface in the 30 years, as well as in the first two decades. In 1991-2001, these values show a slight decrease in most of the study areas.

Introdução

O oceano tem um papel muito importante na variabilidade do sistema climático regional e global. A sua função não é apenas a moderação e modificação do clima atmosférico, mas também a influência directa no ambiente, onde os organismos marinhos habitam, e nas suas fronteiras físicas. É pois reconhecido que o seu próprio clima tem um impacto, indiscutivelmente muito importante, na sociedade directamente ligada ao oceano, aos seus recursos marinhos e ao seu litoral. A sua contribuição para o sistema climático é uma peça fundamental no conhecimento da variabilidade natural do nosso clima, e na avaliação de possíveis alterações de origem antropogénica. Com a sua grande capacidade de absorção de calor, por exemplo, o oceano actua como moderador do discutível aquecimento global. A sua capacidade de absorver calor, porém, leva a uma expansão térmica e consequente subida do nível médio do mar, provocando a erosão costeira e inundações (Grassl, 2001).

A investigação do clima do Oceano Atlântico Norte tem sido desenvolvida nas últimas décadas. Levitus preparou o primeiro atlas da climatologia do Oceano mundial, em 1982, compilando todos os dados existentes desde o início das medições científicas. Esta climatologia foi sucessivamente actualizada com dados ulteriores (Levitus, 1998). Este trabalho contribuiu de forma inovadora para o estudo do oceano, pelo que é utilizado como referência na investigação oceanográfica. Posteriormente, Lozier *et al.* (1995) elaboraram uma versão da climatologia do Atlântico Norte numa malha mais refinada, utilizando a densidade potencial como referência na análise, em vez de profundidades standard. A abordagem utilizada no trabalho de Lozier *et al.* (1995) emprega escalas de alisamento menores e minimiza o aparecimento de características de massas de água falseadas, introduzidas pela interpolação tridimensional em superfícies isobáricas. Todavia, a climatologia do oceano reproduzida por estes trabalhos utiliza

todas as medições recolhidas ao longo do último século, associando áreas de escassa informação temporal e sazonal, com áreas de grande densidade temporal de dados, como as regiões vizinhas ao bordo dos continentes. Esta abordagem torna esta representação do clima do oceano de escala temporal alargada, numa caracterização assente em medições espaciais e principalmente temporais (e sazonais) bastante irregulares. Segundo Reverdin *et al.* (1994), a fiabilidade das medições de algumas campanhas científicas, realizadas durante a primeira metade do século são dúbias, principalmente as medições de salinidade, tornando-se a sua utilização susceptível de introduzir flutuações virtuais de salinidade e temperatura.

O conhecimento das condições do oceano da região marítima portuguesa foi progressivamente incrementado nas duas últimas décadas, mas contribuiu de forma descontinuada na obtenção da informação *in-situ* das suas propriedades. As campanhas científicas realizadas no oceano são temporal e espacialmente localizadas, o que torna a caracterização climática do oceano e a sua variabilidade de larga escala temporal, um procedimento susceptível a erros de estimação e interpretação devido às lacunas de informação.

A variação das condições oceanográficas sazonais inter-anuais e multi-anuais foram pesquisadas em algumas regiões do Atlântico Norte (e.g. Reverdin *et al.* (1994), Leach (1990), Pérez *et al.* (1995)). A investigação de variações de baixa frequência da região oceânica portuguesa motivou a realização do presente trabalho.

No presente trabalho investiga-se a variabilidade interdecadal sazonal das condições oceanográficas da zona oceânica portuguesa. Esta análise baseia-se em perfis decadais sazonais elaborados numa abordagem bidimensional simples. As propriedades médias das variáveis oceanográficas, temperatura (T) e salinidade (S), são determinadas para a representação das médias climatológicas e anomalias climáticas sazonais. O estudo é baseado nos dados que foram recolhidos por várias campanhas científicas e por navios de oportunidade, disponibilizados ao Instituto Hidrográfico pelo *International Council for the Exploration of the Sea – ICES –*, e em dados obtidos em campanhas realizadas por aquele Instituto. Devido à natureza espacial e temporal irregular dos dados optou-se por analisar os dados oceanográficos dos últimos 31 anos. Este período têm uma melhor representatividade das condições oceanográficas, existindo porém

áreas com informação oceanográfica diminuta. O domínio geográfico escolhido para o estudo compreende a área contida entre 30° N a 42° N e 5° W a 15° W.

O conjunto total de dados compreende 1673 estações com medições recolhidas por equipamentos CTD (*Conductivity-Temperature-Depth*), e 4664 estações com medições recolhidas por garrafas, das quais 32% foram rejeitadas pelo controle de qualidade elaborado neste estudo (apêndice B).

No próximo capítulo descrevem-se as características do conjunto de dados utilizado, e os sub-domínios utilizados neste estudo. No capítulo seguinte descreve-se a metodologia de validação e controlo de qualidade aplicada a este conjunto de dados. A elaboração dos perfis médios das variáveis em estudo é abordada no capítulo 3. No capítulo 4 investiga-se a variabilidade decadal detectada em cada área de estudo. O estudo da variação interdecadal dos diagramas T-S revela períodos de aumento e decréscimo, tanto de temperatura como de salinidade, na camada superior do oceano (primeiros 1500 m aproximadamente). Nestes sub-domínios identificou-se variabilidade sazonal intrínseca aos meses de afloramento costeiro e supressão deste. Seguidamente, investigam-se as anomalias decadais do mesmo período de tempo. As anomalias climáticas decadais mostram que a temperatura e salinidade estão em fase, apresentando, à mesma pressão, máximos e mínimos simultâneos. Por fim, no último capítulo apresentam-se as conclusões sumariadas.

1. Dados

Os dados utilizados neste estudo foram disponibilizados pelo *International Council for the Exploration of the Sea* – ICES, e reúnem a informação oceanográfica cedida por vários países recolhida ao longo do último século.

O conjunto total de dados compreende perfis de temperatura e salinidade recolhidos por equipamentos CTD (*Conductivity-Temperature-Depth*) e garrafas, provenientes de campanhas oceanográficas e de medições superficiais recolhidas por navios de oportunidade, realizados na zona oceânica portuguesa. A este conjunto, adicionaram-se vários dados de estações do Instituto Hidrográfico, que não integravam o conjunto de dados do ICES, obtidos em 3 campanhas oceanográficas utilizando equipamentos CTD.

Na Figura 1 apresenta-se a distribuição espacial dos dados existentes na área em estudo, para as medições feitas por (a) garrafas e (b) equipamentos CTD:

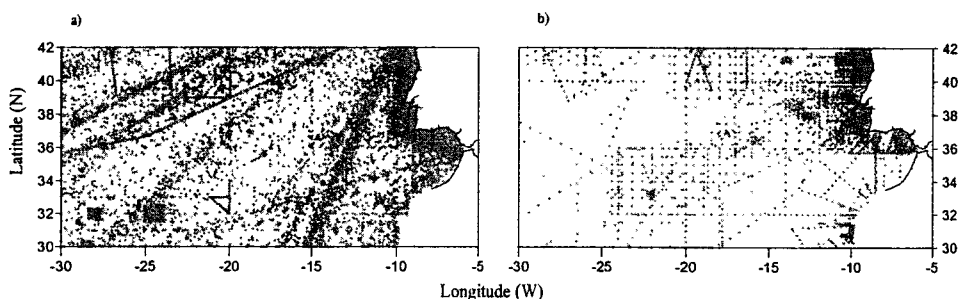


Figura 1 – Distribuição de todas as estações oceanográficas contidas no conjunto de dados disponibilizados pelo ICES com medições recolhidas por a) garrafas 1906-2001 e b) equipamentos CTD 1972-2001.

Este conjunto de dados de perfis de temperatura e salinidade foi submetido a um controlo de qualidade, segundo a metodologia descrita no capítulo 2.

Sendo a origem das medições recolhidas por equipamentos distintos, foi necessário estabelecer um critério de validação para cada um dos conjuntos de dados. O conjunto garrafa + termómetro recolhe amostras de água, que são posteriormente analisadas em laboratório para determinação da salinidade, e utiliza o termómetro invertido, ao qual é aplicado uma correcção a bordo do navio. A recolha de dados por este método é feita com um grande espaçamento entre profundidades, o que torna difícil uma reconstrução mais precisa do perfil, e difícil a distinção entre erros de registo ou extremos locais. Este método está frequentemente sujeito a erros de instrumentação e de intervenção humana, que por vezes contaminam o perfil inteiro da amostra. Este método de recolha por garrafas foi utilizado desde as primeiras medições científicas feitas no oceano até ao aparecimento dos equipamentos CTD, perto dos anos 70.

O registo de informação assimilada pelo método das garrafas, ao longo do último século, careceu muitas vezes de uma metodologia padrão rigorosa na recolha das amostras, como discute Reverdin *et al.* (1994). O procedimento de utilização das garrafas é sujeito ao critério do investigador, como por exemplo: o próprio método de recolha das garrafas do mar, o tempo entre a recolha de amostras de água e a sua análise no laboratório, que pode variar entre poucas horas após a sua recolha ou vários dias depois, deteriorando o seu conteúdo, ou ainda a contaminação da amostra de água por falha de controlo técnico (e.g. excessiva insolação), Reverdin *et al.* (1994).

O equipamento CTD regista os valores de temperatura e condutividade com sensores de medição *in situ*, com uma precisão de medição bastante superior ao conjunto garrafa + termómetro. Este equipamento possibilita a recolha de dados com um intervalo de amostragem extremamente pequeno (Jorge da Silva *et al.*, 1990), o que permite reconstruir um perfil de dados praticamente contínuo, e possibilita a detecção e filtragem de valores extremos no perfil.

A proveniência de alguns dos registos das garrafas, que integram o conjunto de dados compilados pelo ICES, é de origem desconhecida, sendo no entanto utilizados caso tenham sido aceites no controlo de qualidade. Verificou-se no controlo de

qualidade (descrito no capítulo 2) destes dados, que a salinidade tem uma percentagem de erros muito superior à da temperatura.

Como exemplo entre medições de garrafas e equipamento CTD, apresenta-se na Figura 2 – a), uma comparação visual de diagramas temperatura – salinidade (T-S) onde se destacam a preto as medições de garrafas, recolhidas nas secções escolhidas em b).

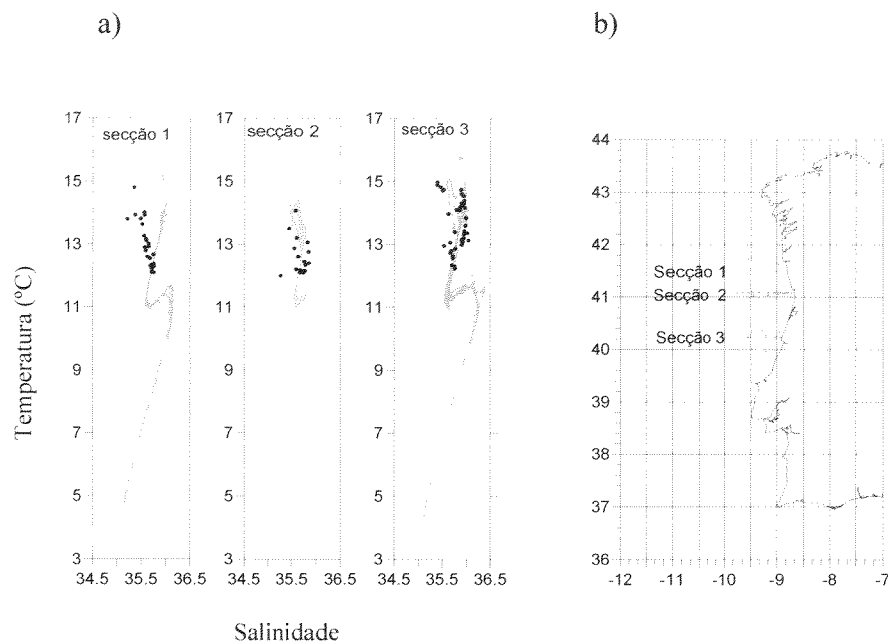


Figura 2 – a) Comparação visual de diagramas temperatura e salinidade entre garrafas (círculos a preto) e CTD (a cinzento), de todas as medições realizadas no mês de Maio nas secções indicadas em b).

Observa-se uma grande dispersão dos dados recolhidos por garrafas e alguns valores suspeitos de serem representativos das condições oceanográficas locais, assim como a pouca informação em profundidade.

Os dados de CTD compreendem apenas as três últimas décadas (abrangendo mais informação nas duas últimas) e são recolhidos em campanhas oceanográficas com uma maior regularidade espacial e maior profundidade de amostragem. As condições oceanográficas estão melhor representadas nestas duas últimas décadas.

Uma vez que a natureza da recolha de dados oceanográficos é dispersa no tempo e muitas vezes irregular no espaço (existem regiões oceânicas com maior cobertura oceanográfica), foram seleccionadas áreas geográficas, de forma a conterem o mínimo

qualidade (descrito no capítulo 2) destes dados, que a salinidade tem uma percentagem de erros muito superior à da temperatura.

Como exemplo entre medições de garrafas e equipamento CTD, apresenta-se na Figura 2 – a), uma comparação visual de diagramas temperatura – salinidade (T-S) onde se destacam a preto as medições de garrafas, recolhidas nas secções escolhidas em b).

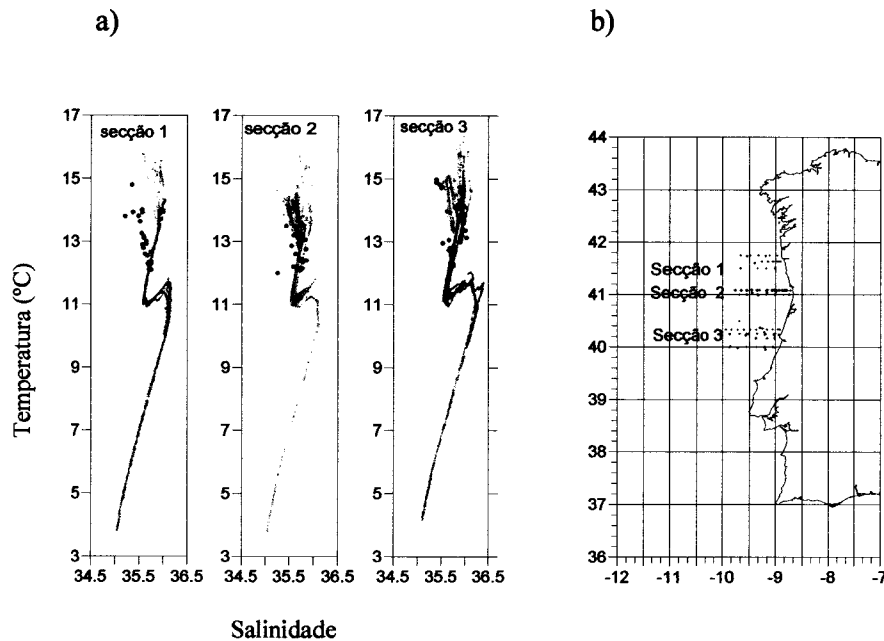


Figura 2 – a) Comparação visual de diagramas temperatura e salinidade entre garrafas (círculos a preto) e CTD (a cinzento), de todas as medições realizadas no mês de Maio nas secções indicadas em b).

Observa-se uma grande dispersão dos dados recolhidos por garrafas e alguns valores suspeitos de serem representativos das condições oceanográficas locais, assim como a pouca informação em profundidade.

Os dados de CTD compreendem apenas as três últimas décadas (abrangendo mais informação nas duas últimas) e são recolhidos em campanhas oceanográficas com uma maior regularidade espacial e maior profundidade de amostragem. As condições oceanográficas estão melhor representadas nestas duas últimas décadas.

Uma vez que a natureza da recolha de dados oceanográficos é dispersa no tempo e muitas vezes irregular no espaço (existem regiões oceânicas com maior cobertura oceanográfica), foram seleccionadas áreas geográficas, de forma a conterem o mínimo

de informação sazonal e temporal necessária para garantir a representatividade das condições médias do oceano. Estas áreas estão representadas na Figura 3, e formam a base para o estudo climatológico desenvolvido no presente trabalho.

Cada uma destas regiões abrange espaços geográficos maiores ou menores, seleccionados conforme os dados existentes e a distância à costa, de forma a capturar as características próprias das áreas de influência costeira e afloramento costeiro (e.g. áreas 1, 4 e 7), zona intermédia (e.g. áreas 2, 5, 10 e 8) e zona de oceano profundo (e.g. áreas 3, 6, 11 e 9).

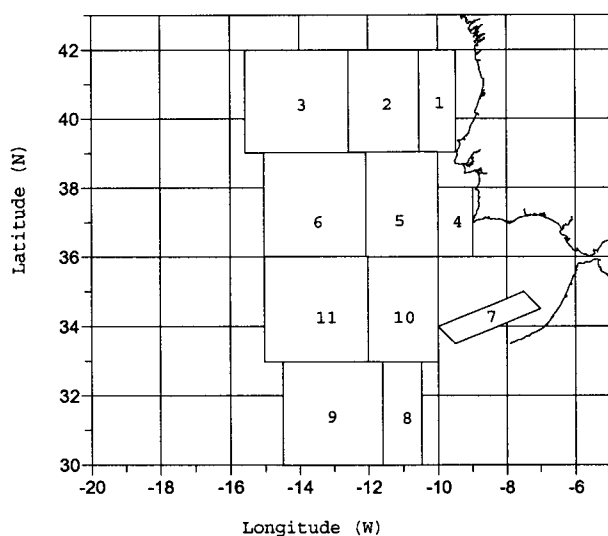


Figura 3 – Áreas seleccionadas para o estudo climatológico.

A distribuição espacial dos dados existentes nesta região encontra-se no apêndice C. Os dados estão agrupados por semestres, o de Inverno e o de Verão, e por equipamentos, CTD e garrafas.

No próximo capítulo descreve-se a metodologia de validação e controlo de qualidade aplicado a este conjunto de dados.

2. Metodologia de validação dos dados

A validação dos dados é de importância fundamental para o estudo que se segue, pelo que se torna necessário eliminar registos espúrios, passíveis de conduzir a resultados falseados, gerados por observações incorrectas. A diferença de instrumentos e métodos de recolha dos dados a estudar requer a aplicação de diferentes métodos estatísticos de validação.

A validação do conjunto total de dados foi dividida em dois procedimentos. Os perfis de temperatura e salinidade dos equipamentos CTD foram individualmente validados, sendo posteriormente interpolados para os níveis standard (ver apêndice A). Para a validação de garrafas optou-se por um critério estatístico de validação espacial, devido à heterogeneidade espacial e temporal destas observações. Os dados de CTD dos valores de temperatura e salinidade aos níveis standard constituem a base estatística de referência para a validação. Os dados das garrafas são validados para cada uma das áreas de estudo descritas na figura 3, com base na média trimestral e desvio padrão dos valores CTD aos níveis standard, calculados para a área correspondente. Os valores das garrafas aceites por este critério são também interpolados para os respectivos níveis standards. Estes dois procedimentos são descritos em pormenor na secção seguinte.

O número total de estações de equipamentos CTD e garrafas, submetidas à validação e controlo de qualidade encontra-se descrito na tabela 1 do apêndice B.

2.1 – Controle de qualidade de registos de equipamentos CTD

Cada perfil de temperatura e salinidade proveniente de medições CTD foi individualmente validado. A todos os registos é atribuído um valor numérico referente à

qualidade (*flag*), conforme cada registo do perfil seja correcto, interpolado, duvidoso ou incorrecto.

O algoritmo de validação aplicado aos dados obedece aos seguintes passos:

a. *Detecção de duplicação de perfis*. Perfis repetidos são eliminados da análise.

b. *Detecção de inversão e/ou duplicação de pressão*. Os valores de pressão que estejam repetidos ou apresentem uma inversão de pressão são considerados como incorrectos, sendo-lhe atribuído o respectivo *flag*. Estes valores não são utilizados na análise.

c. *Limite de valores de salinidade*. É imposto um limite aos valores de salinidade, eliminando extremos não desejados para a análise climatológica. O intervalo de valores aceites para a salinidade foi escolhido após a análise feita a valores extremos detectados nestes perfis. Pretendeu-se com este critério eliminar a variabilidade de pequena escala e de escala turbulenta tal como descargas de rios e valores extremos de salinidade. Neste critério rejeitam-se valores que estejam fora do intervalo [34, 38.2], caso não satisfaçam as condições de interpolação descritas na alínea g.

d. *Valores inexistentes*. Nos perfis onde se detecte um valor omissivo entre dados, esse valor é interpolado pela média entre os dois valores adjacentes.

e. *Validação por intervalos de confiança*. A validação individual de cada perfil é executada aceitando os valores que estejam dentro do limite do intervalo de confiança estipulado de ± 2 desvios padrão. Esta validação é executada em blocos. O intervalo de confiança é calculado para cada bloco de 10 pontos consecutivos do perfil. A média e o desvio padrão destes 10 valores consecutivos são calculados e, os 5 primeiros valores são aceites se estiverem contidos no intervalo de ± 2 desvios padrão. Os seguintes 5 valores são validados construindo um novo bloco de 10 valores, onde os 5 primeiros valores são os 5 últimos do bloco anterior. Novamente, determina-se a média e desvio padrão deste novo bloco de valores e, os 5 primeiros valores (que pertenciam ao bloco

anterior) são aceites se estiverem contidos no intervalo de ± 2 desvios padrão. Este procedimento é feito para todo o perfil, descendo sempre 5 valores para cada novo bloco (de 10 valores) e validando os 5 valores superiores. O limite de ± 2 desvios padrão foi escolhido de forma a garantir um nível de confiança dos dados de 95%, supondo que a população da amostra tem uma distribuição Gaussiana (Kreyszig, 1970). Neste passo os valores que não estejam contidos no intervalo são considerados como duvidosos.

f. *Detecção de flutuações instáveis – gradiente.* Depois do teste anterior, é aplicado ao perfil um controlo do gradiente vertical de temperatura e salinidade para detectar flutuações instáveis, consideradas como valores extremos (*outliers*), por serem fisicamente inaceitáveis. Para a temperatura estipulou-se uma variação máxima de 1°C por dbar, ou seja, considera-se uma medição duvidosa quando $|\nabla(T/p)| > 1^{\circ}\text{C/dbar}$. Para a salinidade, variações superiores a $0.05/\text{dbar}$ ($|\nabla(S/p)| > 0.05/\text{dbar}$) entre medições são consideradas como duvidosas, sendo estas flutuações consideradas como instabilidade local ou possível erro de registo. Estes valores de temperatura e salinidade, que excedem a variação imposta com a pressão, são linearmente interpolados no passo seguinte.

g. *Interpolação de valores duvidosos.* Neste último procedimento de validação, os valores considerados como duvidosos nos testes anteriores por apresentarem um gradiente não aceitável fisicamente, ou todos os valores não contidos no intervalo de confiança estabelecido são agora linearmente interpolados, excepto se se verificarem mais de 2 valores extremos consecutivos adjacentes, ou se o primeiro ou último valores do perfil a interpolar, forem extremos.

2.1.1 Interpolação dos perfis para níveis Standard

Os valores de cada perfil de temperatura e salinidade aceites no controlo de qualidade anterior reúnem observações recolhidas a cada decibar, sendo necessário

interpolar a informação até ao máximo de 32 níveis standard, geralmente usados para descrever a estrutura vertical média do oceano.

O procedimento de interpolação aqui aplicado difere do utilizado por Boyer and Levitus (1994) na construção da climatologia do oceano. Os autores utilizam camadas de espessura finas para ponderar os dados a interpolar. Neste esquema de interpolação vertical apenas as 4 observações mais próximas do nível standard são utilizadas (3 acima e 1 abaixo, excepto nos extremos ou se a observação coincidir com o próprio nível standard).

A interpolação das observações para os níveis standards aplicada neste trabalho, foi feita de forma que cada valor de temperatura e salinidade a cada nível fosse representativo da camada do oceano nele centrada. Definiu-se para cada nível uma espessura da respectiva camada centrada em torno desse valor, como descrito no apêndice A. O valor médio, \bar{B} , da temperatura e salinidade ao nível standard é ponderado por cada valor validado, incluído nessa camada centrada, atribuindo um peso relativo em função da diferença de pressão ao nível, de acordo com a seguinte

ponderação: $\bar{B}_{NS} = \frac{\sum \lambda_{i,NS} B_{i,NS}}{\sum \lambda_{i,NS}}$, sendo o peso λ atribuído à variável B determinado

por $\lambda = 1 - \frac{|dp|}{\Delta p}$, onde dp representa a diferença de pressão ao nível e Δp a espessura

da camada (em dbar).

A interpolação para níveis standards é feita para cada par de valores de temperatura e salinidade validados.

2.2 Validação de registos de garrafas

Aos dados das garrafas foi aplicado o mesmo esquema de detecção de erros descrito na secção 2.1 alínea a), b) e c). Parte dos dados foi registada em metros, tendo sido convertidos para unidades de pressão, de acordo com o algoritmo desenvolvido pela UNESCO (1983), de forma a uniformizar o nível de recolha destes.

A validação de garrafas é feita aplicando um critério estatístico de validação espacial, como foi atrás referido, tomando-se como referência os valores dos dados CTD interpolados ao nível standard anteriormente calculados. Devido à dispersão temporal destas observações, considerou-se necessário validar os dados das garrafas por trimestre. Para cada área atrás citada (Fig. 3), determinou-se o valor médio trimestral (Janeiro, Fevereiro e Março (JFM), Abril, Maio e Junho (AMJ), Julho, Agosto e Setembro (JAS) e Outubro, Novembro e Dezembro (OND)) dos valores aos níveis standards dos dados de CTD contidos na respectiva área. O valor médio a cada nível é calculado determinando a média de todos os valores existentes no respectivo nível standard no trimestre e área correspondentes. Para cada camada centrada no nível standard, definidas no apêndice A, foram aceites como válidos os valores de temperatura e salinidade que estejam contidos no intervalo de confiança de ± 3 desvios padrão da área e trimestre correspondente. Este limite é escolhido de forma a conter aproximadamente 99% dos dados, assumindo que estes têm uma distribuição Gaussiana.

2.2.1 Interpolação dos perfis para níveis Standard

Os perfis das garrafas aceites na validação anterior são interpolados para os respectivos níveis standards se o número de *flags* de qualidade incorrectos no perfil, não exceder 5. Com este critério rejeitaram-se 1502 estações com dados de temperatura e salinidade (cerca de 32% das estações, apêndice B).

Devido à escassa recolha de informação em profundidade destes perfis, por vezes coincidentes com os níveis standard, e à conversão de metros para dbar, o esquema de interpolação usado foi diferente do descrito em 2.1.1. Aplicou-se uma interpolação linear de valores contidos numa camada estreita de 4 dbar para os primeiros 4 níveis standard e 10 dbar para os restantes, centrada no respectivo nível. Em perfis onde não se encontraram valores nesta faixa, não foi atribuído um valor médio da propriedade. Desta forma pretendeu-se preservar a informação apenas aos níveis pretendidos.

3. Propriedades médias de Temperatura e Salinidade

As condições oceanográficas médias das variáveis físicas da zona oceânica portuguesa são investigadas neste capítulo. Uma vez que não existe, em oceanografia, uma uniformidade temporal na recolha de dados, optou-se por determinar as propriedades médias num período de tempo recente (último triénio), não incluindo medições anteriores, susceptíveis de introduzir ou omitir variabilidade nas áreas onde essas medições existam ou não. A média climatológica de cada área de estudo, Figura 3, é construída ponderando os registos dos últimos 31 anos, de 1971 a 2001. A média climatológica é calculada para cada nível standard, para a qual contribuem os valores das garrafas e equipamentos CTD interpolados para estes níveis, determinados anteriormente. Não se pretende com este esquema atribuir às propriedades médias correspondência geográfica estrita, pelo que cada valor do perfil incluso na média recebe o mesmo peso, não obstante a distância ao centro da área. Uma vez que a caracterização mensal não é exequível para todos os meses do ano e para todas as áreas, a análise das condições oceanográficas de cada área é executada sazonalmente considerando-se duas abordagens: por semestre (estendendo o período de condições de Inverno e Verão) e por trimestres (representando as 4 estações do ano). Determinaram-se assim valores médios das propriedades físicas nos níveis standards, construídos para as respectivas áreas de interesse oceanográfico.

Na Figura 4, visualizam-se as médias climatológicas dos dois semestres em cada área e as massas de água utilizadas, no esquema de interpretação usado nos capítulos seguintes. Os diagramas T-S são utilizados para a visualização dos resultados, facilitando o reconhecimento e identificação das propriedades das massas de água presentes nas regiões em estudo. As massas de água são caracterizadas por valores de temperatura e salinidade próprias. Estas duas variáveis oceanográficas são propriedades conservativas que mantêm as suas propriedades no interior do oceano, fora do contacto

com a atmosfera. As massas de água são geradas na camada superficial, e ganham as suas características pela sua região de origem, ou seja, pela radiação solar e pela interacção atmosfera-oceano (Gaspar, 1990). Estas características originam uma massa de água com características próprias, se a região de formação se encontrar sob uma zona de convergência à superfície, ou aumento de densidade, afundando-se e conservando as suas propriedades no interior do oceano, se não existirem processos de mistura dominantes.

Utiliza-se como referência na análise de variabilidade interdecadal dos perfis T-S médios, o segmento de recta que descreve a Água Central Oriental do Atlântico Norte (ACOAN), constituída por um ramo de origem subpolar e outro de origem subtropical, definida em Fiúza (1984). O ramo subtropical é caracterizado por água mais quente e salina relativamente ao ramo subpolar que se encontra sob este. O primeiro ramo é formado na região dos Açores, no período de Inverno, onde as águas superficiais sujeitas à intensa evaporação e arrefecimento afundam, e são advectadas para leste pela corrente dos Açores, chegando à região costeira oeste Portuguesa e costa noroeste Africana. O ramo subpolar, é formado no Atlântico Este, a norte de 46° N, originado pelo forte arrefecimento de Inverno e pela convecção profunda (Fiúza *et al.*, 1998), e escoam para o equador. Estes dois ramos caracterizam a Água Central Oriental do Atlântico Norte (Fiúza (1984)), e constituem a termoclina permanente destas latitudes (Aken, 2001).

Utiliza-se também como referência a massa de Água Mediterrânica descrita em *e.g.* Fiúza *et al.*, 1998, constituída por um núcleo superior – AMs– e inferior – AMi. Esta massa de água caracterizada por uma elevada salinidade, que penetra no Atlântico pelo estreito de Gibraltar a profundidades entre 700 a 1300 dbar, distingue-se da massa de Água Central pelo mínimo sub-superficial desta (~ 500 dbar). A influência do escoamento desta massa de água quente e salina começa a ser detectada abaixo deste limite inferior de salinidade do ramo subpolar da ACOAN.

A característica salina e quente da massa de Água Mediterrânica é originada pelo excesso de evaporação nesta bacia, levando ao seu afundamento até profundidades intermédias. Ao sair do estreito de Gibraltar, esta massa de água espalha-se pelo Atlântico, sendo detectada ao longo do bordo oeste da península Ibérica, e ao largo dos

Açores e com menos frequência ao largo da costa noroeste Africana, sob a forma de vórtices de mesoescala denominados por Meddies (Mediterranean Eddies). (para visualização das observações históricas dos Meddies ver Figura 2 de Richardson *et al.*, 2000).

Emprega-se também nesta análise a Água do Mar do Labrador (AML) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), as águas profundas do Atlântico Nordeste (e.g. Juliano, 2002) usando os valores utilizados por Fiúza *et al.*, 1998.

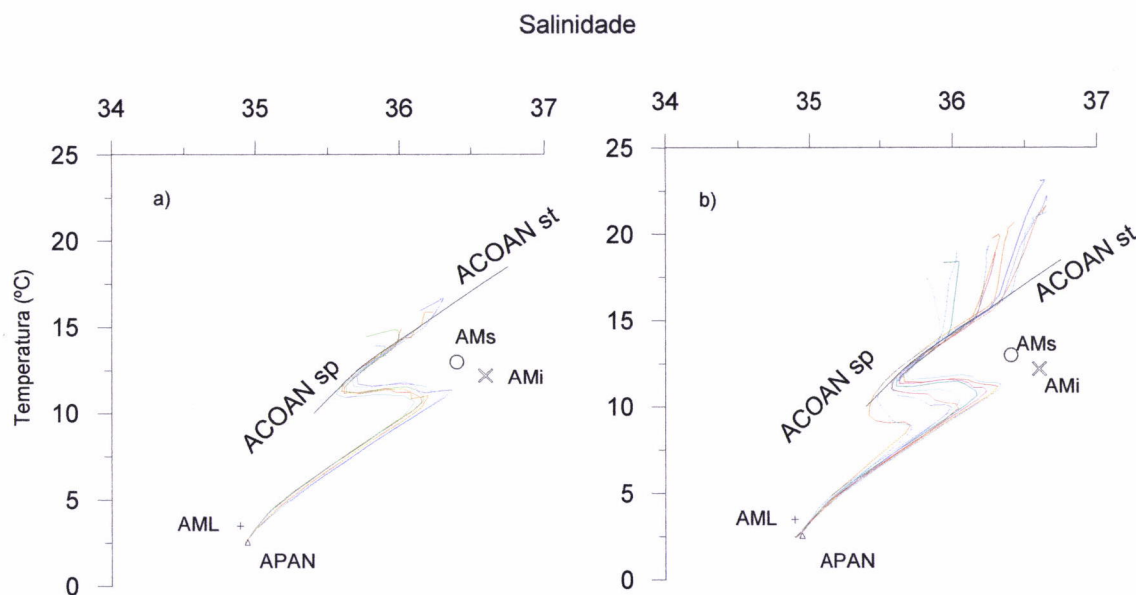


Figura 4 – Diagramas das médias climatológicas de Temperatura e Salinidade no período 1971-2001, para semestre de Inverno (a) e semestre de Verão (b), para todas as áreas. Água Central Oriental do Atlântico Norte (ACOAN), ramo subtropical (st) e subpolar (sp), curva a preto, núcleo superior da massa de Água Mediterrânica – AMs (o) e inferior – AMi (x), Água do Mar do Labrador (+) – AML e Água Profunda do Atlântico Norte (▲) – APAN.

De modo a confirmar a amplitude dos resultados obtidos com este conjunto de dados, estes são comparados com a climatologia desenvolvida por Levitus (1998). Esta climatologia é contudo elaborada de modo diferente da aqui descrita. Ela é construída para o oceano Atlântico Norte, numa malha regular de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, onde todos os registos existentes (validados) contribuem para a média. Desta forma, os valores médios das propriedades físicas são médias de longo termo, nas regiões onde existem medições remotas, e médias de curto termo, nas áreas onde existem medições com menos de 20

anos, pelo que a climatologia de Levitus não tem um peso temporal homogéneo. Outras diferenças existem na elaboração desta climatologia, sendo a mais distinta o procedimento de interpolação utilizado para o cálculo dos valores ao nível standard, onde se atribui uma espessura diferente da camada para determinar o valor médio a este nível e se utiliza outro esquema de interpolação (Boyer and Levitus, 1994).

Na Figura 5, apresenta-se como exemplo de comparação de resultados, o perfil médio semestral (de Novembro a Abril - NDJFMA e de Maio a Outubro - MJJASO) aqui construído e o de Levitus, para as áreas 1 e 2. O perfil médio de Levitus para cada área em estudo é calculado determinando a média dos perfis climatológicos contidos na respectiva região, nos meses correspondentes.

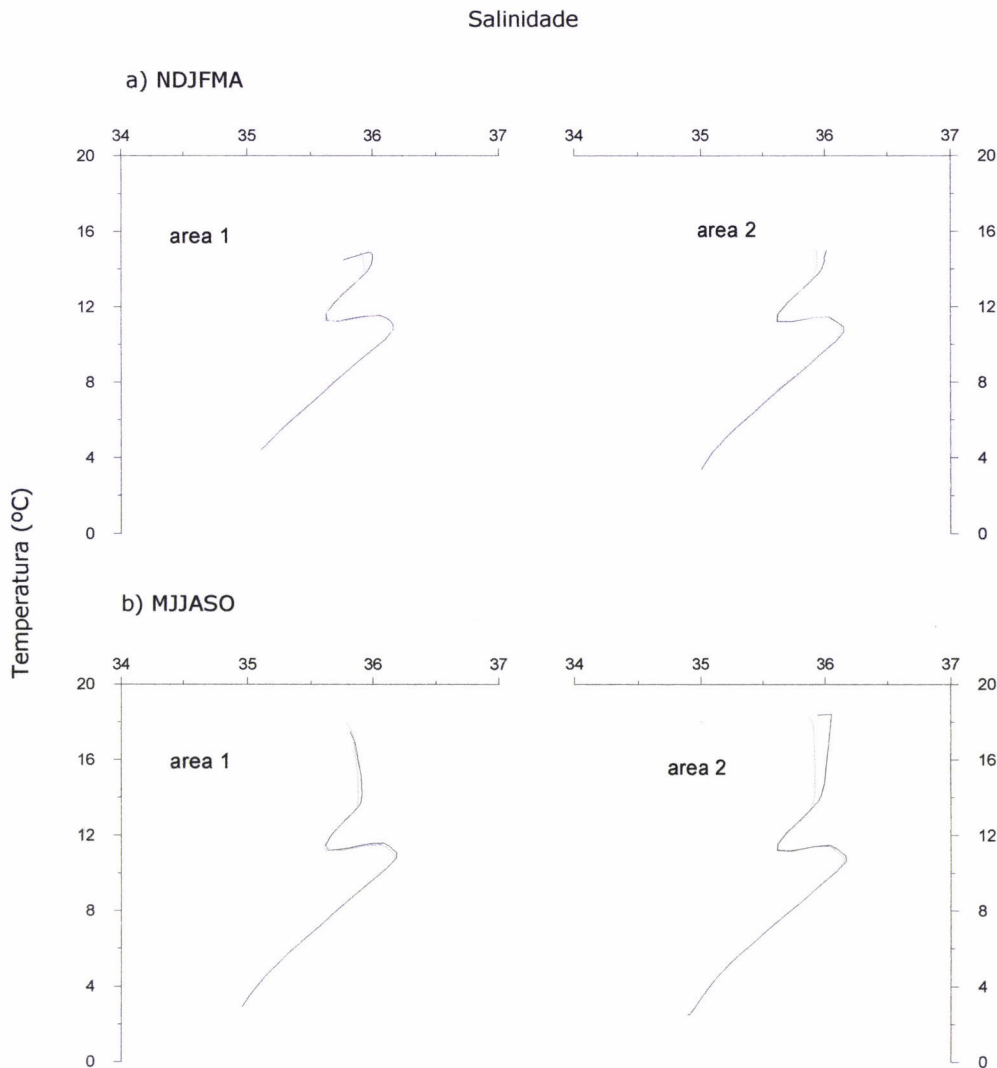


Figura 5 – Diagramas T-S. Comparação entre climatologia de Levitus (a cinzento) e a construída (a preto). Climatologia semestral para a área 1 e 2, no período de Inverno (NDJFMA) (a) e período de Verão (MJJASO) (b).

A comparação visual entre os perfis climatológicos semestrais confere aos resultados aqui obtidos uma validação empírica, verificando-se porém que a climatologia de Levitus de 1998 subestima por vezes (e.g. salinidade na área 2) os valores médios da camada superficial e sub – superficial do oceano (em outras áreas não apresentadas aqui).

A caracterização sazonal do domínio em estudo é interpretada na secção seguinte onde se descreve a estrutura destas propriedades físicas em análise.

3.1 Características climatológicas sazonais

Nesta secção apresentam-se as características sazonais da estrutura vertical do oceano na região em estudo. A Figura 6 esquematiza as massas de água referidas anteriormente, no espaço T-S.

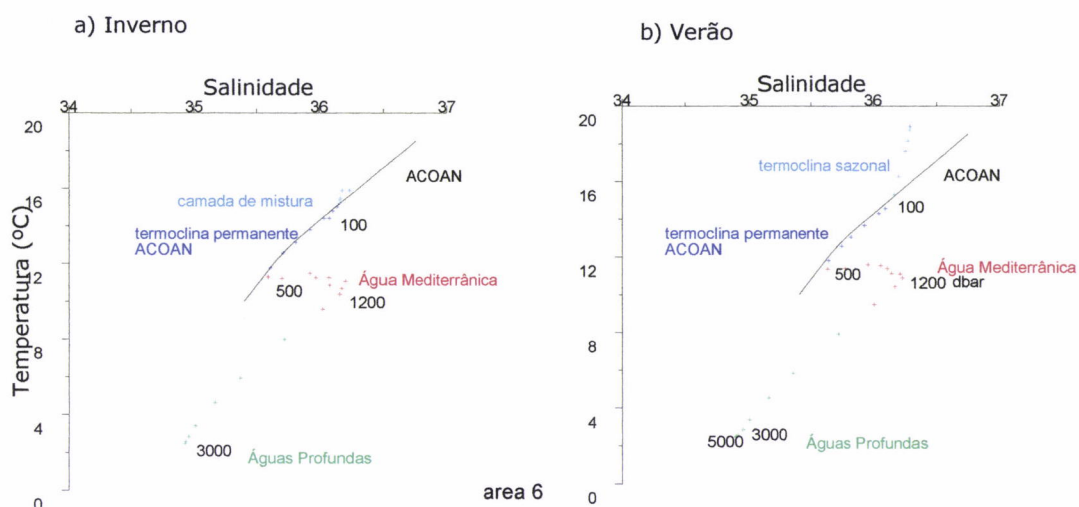


Figura 6 – Esquema de caracterização da coluna de água na região de estudo, para o semestre de Inverno (a) e Verão (b).

3.1.1 Inverno

No Inverno, as condições atmosféricas da Europa são influenciadas pela Oscilação do Atlântico Norte (NAO). O índice da NAO, determinado pela diferença de pressão normalizada entre o anticiclone dos Açores e a depressão da Islândia, condiciona o regime de ventos, que afectam a península Ibérica e a passagem de depressões transientes (Hurrell, 1995). Durante a fase positiva da NAO (com diferenças de pressão acima do normal) os ventos de oeste e a passagem de depressões transientes intensificam-se no norte da Europa. Na Península Ibérica, a fase positiva da NAO favorece a ocorrência de ventos menos intensos e cria condições atmosféricas amenas (anticiclone dos Açores mais intenso e mais a norte). Na fase negativa da NAO invertem-se estas situações (a depressão da Islândia e o anticiclone dos Açores enfraquecidos) e o regime de ventos nesta região é intensificado, predominando ventos do quadrante sul. Estas condições atmosféricas induzem ao processo de empilhamento de água e ao seu afundamento – downwelling – junto da costa. A camada de mistura induzida pela tensão superficial do vento e pela perda de calor à superfície, forma uma camada fina de mistura de poucos metros, promovida pela forte convecção vertical. Estas condições favorecem o escoamento para norte de água quente e salina, a corrente para o pólo.

Abaixo desta camada de mistura encontra-se a termoclina permanente, caracterizada por um forte gradiente vertical de temperatura, e que caracteriza a Água Central Oriental do Atlântico Norte. Abaixo desta massa de água, entre as profundidades de 700 a 1300 dbar encontra-se a zona de influência do escoamento da Água mediterrânica.

3.1.2 Verão

No Verão, o índice NAO enfraquece, exercendo aquela oscilação uma fraca influência sobre as condições atmosféricas que caracterizam o regime de ventos na

Península Ibérica. Neste semestre verifica-se uma predominância dos ventos de Norte, resultantes da circulação de brisa que domina o escoamento atmosférico sobre a Península Ibérica, dando origem à formação de uma depressão térmica sobre esta região. Este regime de circulação prevalece sobre a península devido à sua geometria. O aquecimento da massa continental peninsular dá origem à circulação de brisa marítima, sendo esta circulação reforçada pela brisa de vale (devido à crescente altitude no interior desta península). Este sistema mantém-se ao longo de várias horas, e neste hemisfério, a força de Coriolis ao deflectir a brisa para a direita, transforma esta circulação paralela à costa. Gera-se assim uma circulação fechada, ciclónica, no centro da península.

Este regime de ventos promove o afloramento costeiro – upwelling – na costa oeste de Portugal fazendo ressurgir águas mais frias das camadas sub-superficiais e, a corrente de vertente muda o sentido, escoando agora para o equador. O contraste térmico entre o oceano costeiro e terra mantém-se durante a noite. Neste período, o aquecimento à superfície juntamente com o relaxamento da intensidade dos ventos, gera uma camada superficial sazonal com uma forte estratificação térmica. Na Figura 6 – b), essa estratificação térmica é caracterizada pelo forte gradiente de temperatura que forma a termoclina sazonal. O excesso de evaporação característico deste semestre causa um aumento de salinidade à superfície.

Nos próximos capítulos investiga-se a variabilidade interdecadal presente nos dados da região em estudo.

4. Variabilidade Decadal

Investiga-se agora a variabilidade temporal de baixa frequência presente nos dados. Para averiguar a presença de variabilidade de baixa frequência, reduziu-se o período de estudo em intervalos de 10 anos. Desta forma analisam-se os diagramas T-S médios para cada intervalo de tempo (1971-80, 1981-90 e 1991-2001), para os períodos de Inverno e de Verão alargados para 6 meses, conforme referido anteriormente. Impôs-se um número mínimo de 3 estações por área, em cada década, em cada cálculo efectuado. Os números de estações que contribuíram para este estudo são apresentados nos apêndices B e C.

4.1 Semestre de Inverno

Na Figura 7 estão representadas as condições médias de cada década, nas áreas que reúnem observações no período de Inverno (NDJFMA). Em cada diagrama apresenta-se também a média climatológica de Levitus (1998) determinada para o correspondente semestre, de forma a confrontar a sua climatologia com as flutuações decadais. Nas áreas a sul do paralelo 36°N (7, 8, 9, 10 e 11) não existe informação suficiente para analisar variações decadais, em profundidade, pelo que se desconhece a variabilidade neste semestre (ver apêndice B e C).

As condições do semestre de Inverno apresentam os valores mínimos de salinidade e temperatura superficial e sub-superficial, sendo esta época do ano caracterizada pelo arrefecimento superficial e rápida mistura vertical (com convecção

profunda) que cria condições de menor variabilidade na camada superficial e sub-superficial.

A Figura 7 revela que as características médias de cada área no último triénio sofreram alterações expressivas na camada superior do oceano. Na comparação interdecadal do semestre de Inverno observa-se que as condições médias são semelhantes ao analisar meridionalmente as áreas, pelo que se opta daqui em diante pela análise por secções meridionais, das áreas em estudo.

Região costeira – áreas 1 e 4

Camada superficial:

As condições de Inverno apresentam evidentes flutuações interdecadais de salinidade e temperatura nesta camada. Observa-se que na segunda década, a água superficial esteve mais quente. A camada de mistura de Inverno é mais acentuada na área 4, verificando-se uma transição para valores mais salinos na última década. Na terceira década observa-se um gradiente de salinidade à superfície. Este facto sugere uma descarga maior da água proveniente dos rios ou um excesso de precipitação. A climatologia de Levitus nestas áreas apresenta valores mais frios e menos salinos relativamente às duas últimas décadas.

Camada intermédia – ACOAN:

Nesta camada observa-se que na segunda década os valores de salinidade diminuiriam. Encontramos a curva correspondente a esta água desfasada para valores mais salinos na primeira e terceira décadas.

Água Mediterrânica:

Entre aproximadamente 700 e 1300 dbar a influência do escoamento da Água Mediterrânica faz-se notar, pela presença do núcleo superior mais quente e pelo núcleo inferior mais salino. Na área 1 a sua influência é menor, uma vez que as suas propriedades vão-se atenuando pela mistura e intrusão com a ACOAN ao progredir para norte. Verifica-se nesta camada que a sua assinatura é maior (mais salina e quente) na década de 1990-2001, em ambas as áreas. Em particular na área 4, verifica-se um ligeiro

aumento de temperatura ao nível dos 700 dbar, o que sugere que esta propriedade da
Água Mediterrânea terá aumentado nesta década.

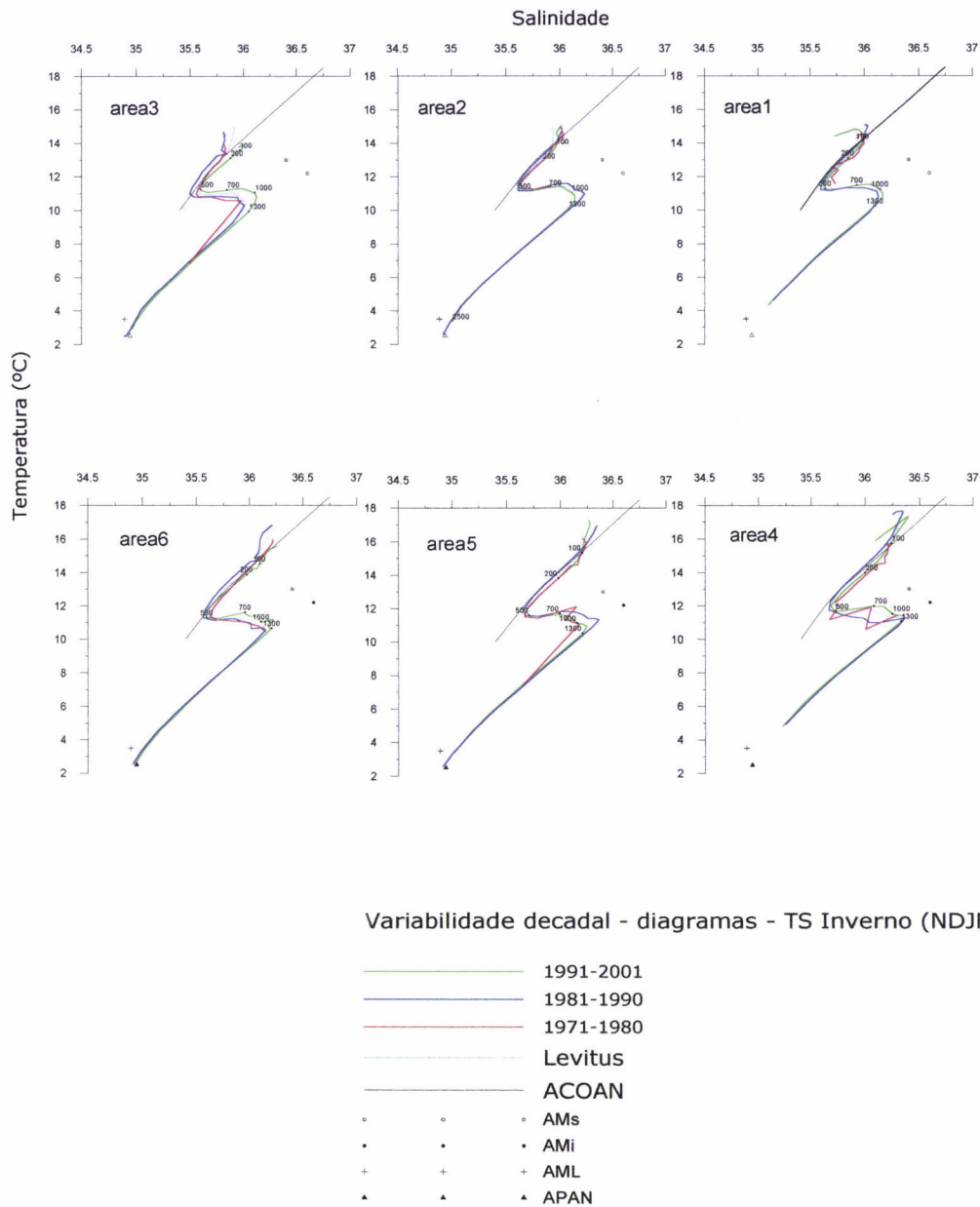


Figura 7 – Variabilidade decadal em cada domínio de estudo para o semestre de Inverno (NDJFMA).

Áreas intermédias – vertente continental (áreas 2 e 5):

Camada superficial:

A camada de mistura de Inverno apresenta, nestas áreas, maior variabilidade na área 5, observando-se que ocorreu uma transição para valores mais salinos nas duas últimas décadas, atingindo valores ligeiramente mais quentes na última (1991-2001) e mais salinos na segunda. A climatologia de Levitus ajusta-se ao perfil da primeira década (1971-1980).

Camada intermédia – ACOAN:

Nesta camada, observa-se que a água ACOAN esteve em média mais salina e fria na primeira e última décadas, verificando-se novamente um desfasamento com a curva ACOAN definida por Fiúza (1984).

Água Mediterrânica:

É relevante observar que nesta camada, a segunda década se destaca, em ambas as áreas, por valores mais salinos e mais quentes ao nível do núcleo inferior da veia de água mediterrânica.

Áreas de oceano aberto – áreas 3 e 6:

Camada superficial:

Nestas áreas de oceano aberto observam-se valores superiores de salinidade, mas simultaneamente mais frios na primeira (1971-1980) e última décadas (1991-2001), sendo a segunda década, por comparação, mais quente e menos salina, à superfície.

Camada intermédia – ACOAN:

Ao analisar a camada intermédia nestas duas áreas, vê-se que na segunda década (1981-90) a água central apresenta condições menos salinas, salientando-se um mínimo de salinidade do ramo subtropical mais frio relativamente às outras duas décadas e outras áreas.

Água Mediterrânica:

A primeira e segunda década apresentam nestas áreas valores mais frios e menos salinos na zona de influência da água mediterrânica. A menor intrusão de água mediterrânica nas primeiras duas décadas a estas profundidades, poderá ter permitido a extensão do ramo subpolar da água central, atingindo este um mínimo de salinidade e de temperatura superiores aos da terceira década. Na terceira década observa-se claramente, em ambas as áreas, os valores mais salinos e quentes.

Em resumo:

As propriedades médias apresentam variações interdecadais não monótonas. A camada superficial apresenta, nas áreas estudadas, uma transição para valores mais salinos na última década. Verifica-se que a temperatura apresenta valores mais elevados na segunda década, evidentes nas áreas de oceano aberto.

A água central (ACOAN) apresenta variabilidade em torno da curva definida em Fiúza (1984). Nos diagramas das áreas de oceano aberto (3 e 6), o segmento de recta desta água distingue-se na segunda década, apresentando valores de salinidade abaixo da curva de referência ACOAN, e sobreposto a esta nas restantes áreas. Nas restantes áreas, observa-se que os perfis médios desta camada apresentam um deslocamento para valores mais salinos relativamente à curva ACOAN na primeira e últimas décadas, estando esta abaixo das curvas dos perfis.

Os picos de salinidade mínima relativa, ao nível do ramo subpolar da massa de água ACOAN, não apresentam variações significativas entre décadas, excepto nas áreas de oceano aberto, onde a menor influência das veias de Água Mediterrânica, atenua a mistura com o ramo subpolar, conservando a sua presença a maior profundidade. A comparação zonal entre estas áreas revela uma intrusão maior do ramo subtropical nas regiões a sul (áreas 4, 5 e 6).

As áreas costeiras e de oceano aberto indicam uma presença de Água Mediterrânica mais acentuada nestas latitudes, apresentando o perfil médio da última década valores mais salinos e mais quentes, sendo mais acentuados nas áreas 3 e 6. Contraditoriamente, as áreas intermédias (2 e 5) exibem nesta camada valores mais salinos e ligeiramente mais quentes na segunda década. Nas regiões a sul (4, 5 e 6), os

valores de salinidade máxima são superiores, evidenciando uma maior influência das veias superior e inferior da massa de Água Mediterrânica, tornando-se a sua influência cada vez mais atenuada ao escoar para norte.

A camada de transição para águas profundas (abaixo da zona de influência da água Mediterrânica) apresenta características semelhantes entre áreas costeiras (1 e 4), intermédias (2 e 5) e de oceano aberto (3 e 6), respectivamente.

É interessante referir que, nestes diagramas, o perfil climatológico de Levitus aproxima-se, na camada de água intermédia (de água ACOAN), do perfil da primeira e segunda década nas áreas de oceano aberto (3 e 6), sobrepondo-se ao perfil da última década, nas áreas intermédias, 2 e 5 e costeira 1, exibindo apenas características intermédias entre as décadas, na área 4.

4.2 Semestre de Verão

Analisa-se agora as médias decadais do semestre de Verão (MJASO). A Figura 8 revela que as características médias de cada área no último triénio sofreram alterações expressivas particularmente neste semestre. As condições de Verão apresentam variações interdecadais mais acentuadas, de salinidade e temperatura, na camada superficial do oceano. Neste semestre desenvolve-se a termoclina sazonal na camada superficial, que está presente em todos os diagramas. O semestre de Verão permite analisar todas as áreas seleccionadas para este estudo (Fig. 3, Capítulo 1), reunindo informação nas áreas mais a sul (áreas 7, 8, 9, 10 e 11), embora os dados existentes nestas áreas não completem a informação necessária em todas as décadas, analisando-se variações bi-decadais apenas. Procedeu-se igualmente a uma comparação meridional entre áreas.

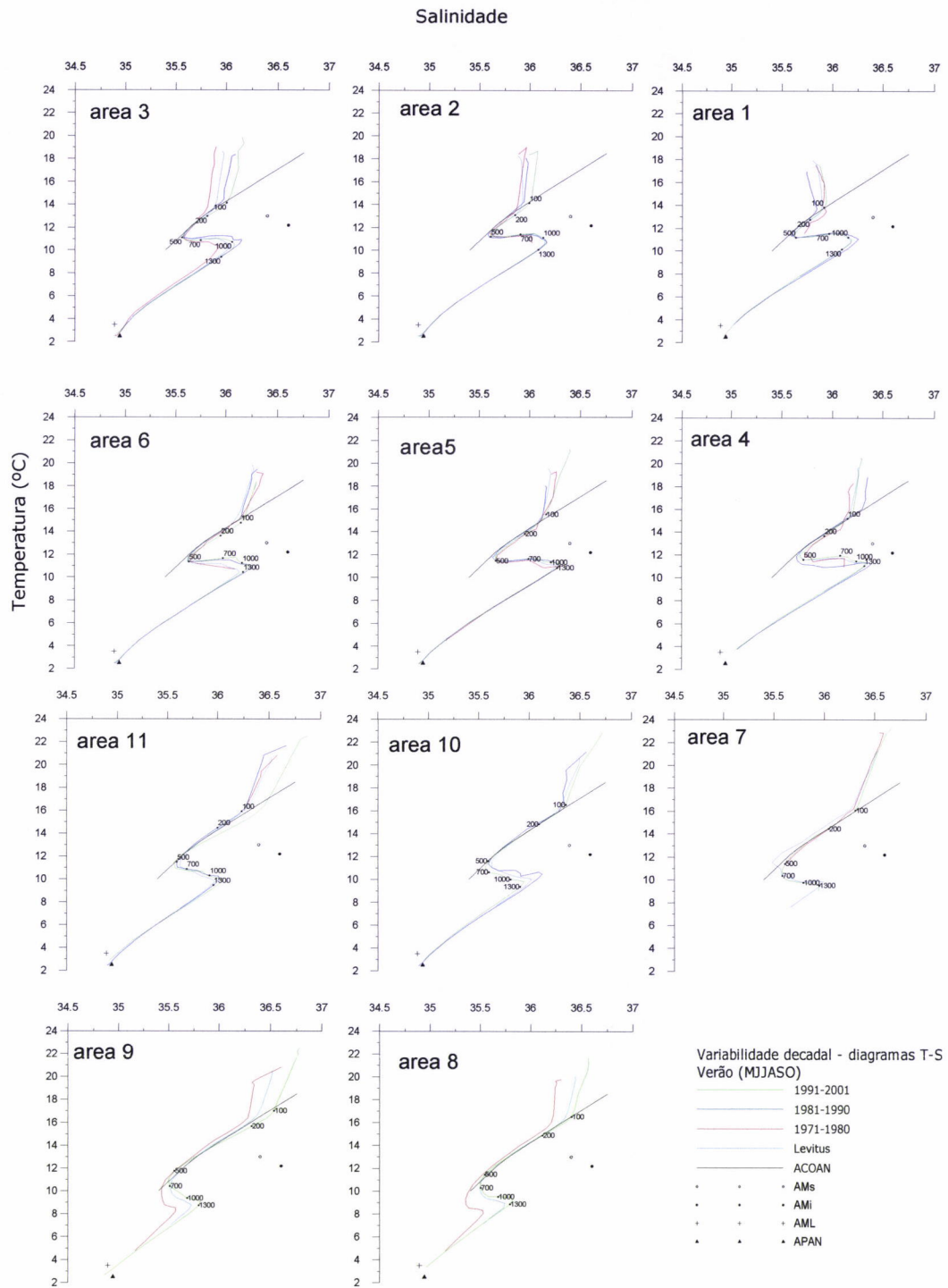


Figura 8 – Variabilidade decadal em cada área de estudo para o semestre de Verão (MJJASO).

Região costeira – áreas 1, 4 e 7:

Camada superficial:

Os valores máximos de salinidade e temperatura, nesta camada, ocorrem no semestre de Verão, onde a estratificação térmica da camada superior do oceano é bastante definida e pronunciada. Na área 7 detecta-se apenas um ligeiro aumento de salinidade à superfície. Na área 4, a terceira década distingue-se com valores mais quentes à superfície, no entanto a salinidade é maior na segunda década, e menor na primeira. Na área 1 apenas a segunda década revela salinidade menor.

Camada intermédia – ACOAN:

Nestas áreas é relevante notar que a primeira década apresenta um desfasamento acentuado relativamente a curva ACOAN, observando-se um aumento de salinidade nesta massa de água.

Água Mediterrânica:

Verifica-se que na área 4, a água desta camada esteve mais fria na segunda década, atingindo contudo o máximo de salinidade coincidente com o das outras décadas. Na área 1 este máximo é mais pronunciado na segunda década.

Áreas intermédias – vertente continental (áreas 2,5, 8 e 10):

Camada superficial:

Novamente faz-se notar o acentuado aquecimento e maior salinidade na terceira década nesta camada. A amplitude da salinidade entre a primeira e terceira década é bastante pronunciada na área 8, com cerca de 0.4 unidades de diferença entre as duas décadas.

Camada intermédia – ACOAN:

Apenas se faz notar que na área 8, a água central (ACOAN) esteve menos salina na primeira década. Nas restantes áreas, a variabilidade decadal desta água não é pronunciada.

Água Mediterrânica:

Nas áreas 8 e 10, a influência desta massa de água é distinta entre as décadas disponíveis verificando-se um acentuado aumento na década mais recente. Nas áreas 2 e 5 a variabilidade não é relevante.

Áreas de oceano aberto – áreas 3 e 6, 9 e 11:

Camada superficial:

Nestas regiões de oceano aberto, a variabilidade interdecadal é igualmente saliente. Verifica-se a mesma assinatura na terceira década, com a camada de mistura mais quente e mais salina.

Camada intermédia – ACOAN:

Esta massa de água apresenta valores mais salinos nas regiões mais a sul, 9 e 11. Tal como na área adjacente 8, a área 9, na primeira década, esta massa de água apresenta valores menos salinos e frios. Nas restantes áreas não se verificam grandes flutuações entre décadas.

Água Mediterrânica:

Novamente na terceira década encontra-se um registo mais salino e quente desta água, excepto na área 6, onde a média decadal revela estas características na década 2 (1981-1990). A área 9 revela a amplitude maior entre as duas décadas apresentadas, com um máximo de salinidade bastante pronunciado, tal como foi identificado na área 8.

Em resumo:

Neste semestre detectam-se variações mais pronunciadas entre os perfis médios decadais de cada área. A camada superficial, que desenvolve uma estratificação térmica neste período do ano, exhibe uma grande variação de valores de salinidade e temperatura entre décadas. Em todas as áreas, com excepção das áreas 1, 6 e 7, o perfil médio da última década (1991-2001) distingue-se dos anteriores, exibindo valores de salinidade e temperatura claramente superiores aos das décadas anteriores. As áreas 1, 6 e 7 mostram perfis médios similares entre a primeira e última décadas, sendo a segunda década caracterizada por uma camada superficial mais fria e menos salina (em 1 e 6 apenas). A oeste da costa ocidental africana (áreas 8 e 9) apenas a primeira e última décadas são comparáveis, identificando-se na primeira década uma camada mais fria e menos salina. Mais a norte, na área 10, observa-se o mesmo aumento de valores na última década, relativamente à segunda década apenas.

Na camada intermédia, a massa de água ACOAN, apresenta menor variabilidade interdecadal entre os perfis, comparativamente ao semestre de Inverno. É apenas perceptível em algumas áreas (1, 4, 5, e 6) a existência de valores mais salinos no perfil da primeira década. É relevante notar que neste semestre o ramo subtropical de água ACOAN, a sul de 36° N, atinge valores de temperatura e salinidade mais elevados, ao longo da curva definida por Fiúza (1984).

Na camada de influência da água mediterrânica, identifica-se também menor variabilidade comparativamente ao semestre de Inverno. Salienta-se nas regiões de oceano aberto e nas áreas mais a sul, uma transição entre décadas de valores mais frios e menos salinos na primeira década (áreas 3 e 6, e 8, 9 e 10) para valores gradualmente mais quentes e mais salinos, nas restantes décadas, sendo esta característica já detectada no correspondente semestre de Inverno (nas áreas a norte). Distingue-se na área 3 apenas, uma transição monótona entre décadas, não se verificando esta transição gradual nas outras áreas.

Nas áreas a sul de 33° N (áreas 7, 8, e 9), a influência da descarga da Água Mediterrânica é mais fraca, Richardson *et al.* (1995). Observa-se nestas áreas que os mínimos de salinidade da água ACOAN observados ocorrem sobre o limite inferior da componente subpolar da água ACOAN, mais acentuado nestas áreas, o que segundo

Ríos *et al.* (1992), estará relacionado com a menor penetração da veia de água mediterrânica no ramo subpolar da água ACOAN.

4.3 Análise trimestral

Para uma análise mais detalhada, investigou-se a variabilidade temporal de baixa frequência em cada trimestre do ano. No apêndice D, Figura 1, encontram-se os diagramas T-S dos quatro trimestres. Neste estudo trimestral impôs-se um número mínimo de 2 valores por nível standard em cada área, de forma a evitar o aparecimento de valores isolados que por vezes se distinguem do perfil médio, gerando características dissonantes, especialmente nas áreas a sul onde o número de estações é insuficiente para obter um perfil médio. Com este esquema, evidencia-se melhor a transição sazonal das condições do oceano assim como a existência de variações de longo termo entre os perfis.

A variabilidade decadal observada nos dois semestres mantém as mesmas características nos trimestres de Inverno (JFM) e Verão (JAS). Os perfis médios decadais apresentam características semelhantes neste período do ano, embora se verifique menor variabilidade no trimestre de Inverno nas áreas de oceano aberto, nas várias camadas. Verifica-se igualmente que no trimestre de Inverno as variações decadais não têm o mesmo comportamento ao comparar as áreas na mesma faixa meridional. Evidenciam-se melhor na área 4 condições mais frias e mais salinas na década 1 (1971-1980).

Os trimestres de Primavera (AMJ) e Outono (OND) manifestam condições de transição entre as estações adjacentes, observando-se o início da estratificação térmica da camada superficial em AMJ. No trimestre de OND registam-se ainda máximos, sazonais de salinidade. Neste semestre destacam-se nas áreas 1 e 2 valores elevados de salinidade e simultaneamente valores menores de temperatura nas áreas 1, 2, 3 e 6, na segunda década, verificando-se características semelhantes dos perfis da primeira e

última décadas. Esta singularidade sugere uma possível intensificação de afloramento costeiro na segunda década.

Estes quatro trimestres mostram uma transição não gradual entre décadas e entre áreas, notando-se que os perfis médios decadais apresentam variabilidade com características diferentes entre áreas adjacentes.

Para procurar conhecer em pormenor estas variações entre décadas, apresenta-se no Apêndice E o número de estações por meses e décadas para as áreas 2, 3, 5 e 6 apenas, de forma a investigar os meses que contribuíram para estes resultados. Com efeito, o peso mensal é bastante irregular, não só ao longo do ano como nas diferentes décadas. Desta forma a informação mensal poderá condicionar a análise dos resultados, embora no oceano não se verifiquem transições rápidas das propriedades físicas, entre meses. A contribuição mensal em cada década poderá influenciar a caracterização climatológica sazonal por semestres, podendo este efeito ser atenuado na análise trimestral. Podemos ver que no semestre de Inverno (NDJFMA) o perfil médio da década 3 (barra azul) na área 2, resulta das observações realizadas em todos estes meses, e comparativamente na área 3, a mesma década é ponderada pelo mês de Março e Abril apenas.

Porém, esta abordagem por trimestre não permite uma completa avaliação de todas as áreas por não existir informação suficiente para completar todos os trimestres em todas as áreas e décadas, tornando-se importante a caracterização semestral.

No próximo capítulo analisa-se a variação interdecadal encontrada nestas áreas, investigando o sinal das anomalias decadais em profundidade.

5. Anomalias Decadais de Temperatura e Salinidade

Para averiguar as variações da temperatura e de salinidade em profundidade, entre décadas, investigam-se as correspondentes anomalias decadais. Estas anomalias climáticas são calculadas removendo a cada perfil médio decadal a média climatológica de cada área, para cada semestre em estudo. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 9 e 11. Estas figuras permitem conhecer com mais pormenor a análise sobre a variabilidade interdecadal, detectadas no capítulo anterior.

Nestes gráficos, sobrepueram-se as anomalias de salinidade (vermelho e laranja) e temperatura (azuis) de modo a visualizar simultaneamente estes desvios com a profundidade. Para complementar esta análise de variações de temperatura e salinidade afere-se também nesta secção a dependência linear (ver apêndice F) entre estas duas propriedades, em cada área e em cada década assim como no período total em estudo (Figuras 10 e 12).

5.1 Semestre de Inverno

As anomalias de temperatura e salinidade vêm confirmar as variações interdecadais observadas na camada superior do oceano, apresentadas na secção anterior. Os gráficos mostram uma variação em fase das anomalias de temperatura com a salinidade. Observamos, excepto à superfície, que anomalias positivas de temperatura são acompanhadas de anomalias também positivas de salinidade e vice-versa. Ou seja, estes gráficos indicam que a água esteve, em média, mais salina e mais quente e, mais fria e menos salina, à mesma profundidade. Esta particularidade é reflectida pela elevada dependência linear destas duas variáveis de estado, como o confirma a Figura 10.

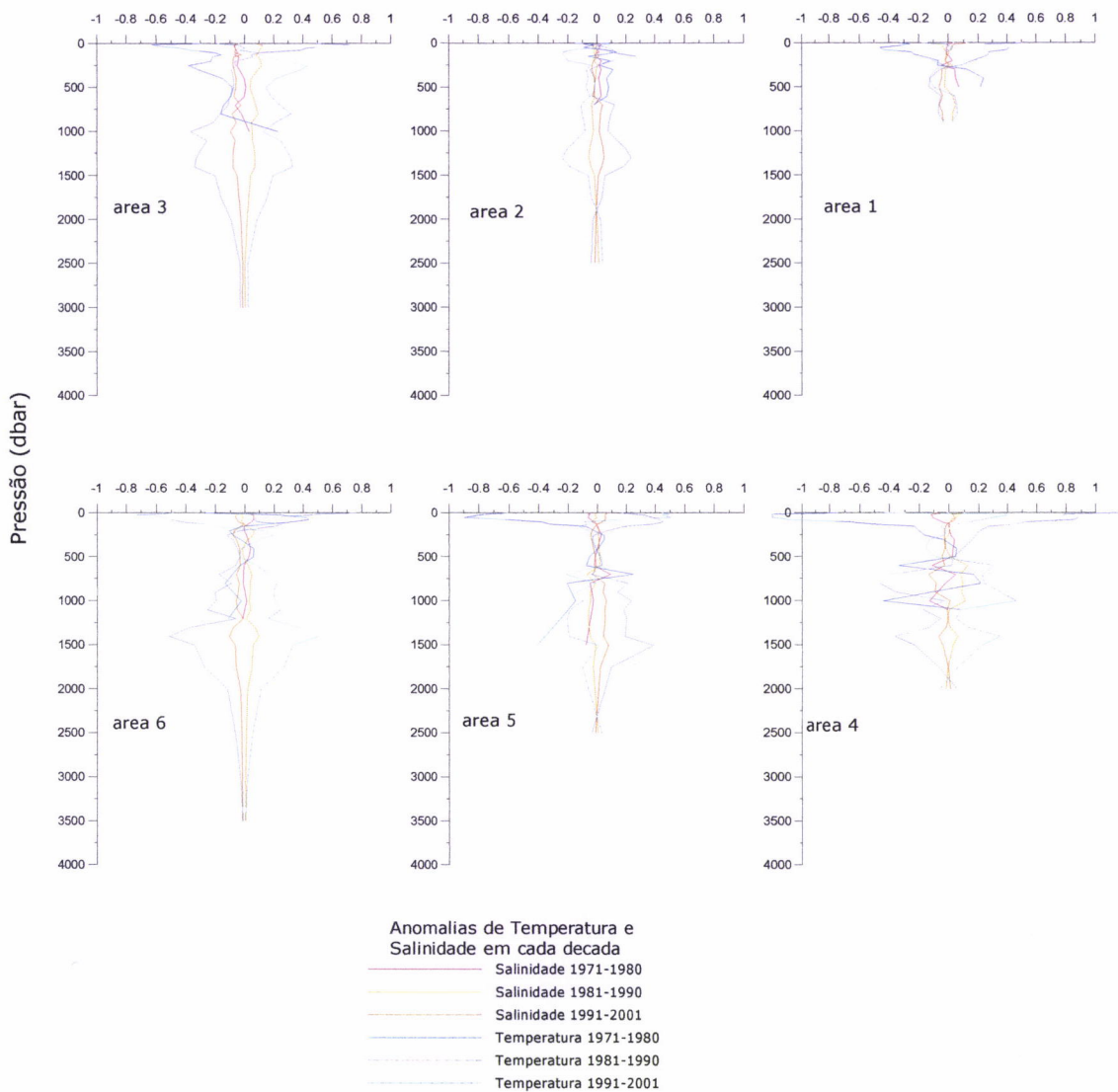


Figura 9 – Anomalias climáticas de cada década para o semestre de Inverno. O eixo horizontal representa o desvio da média climatológica de cada variável, sendo-lhe atribuído a unidade física correspondente.

Os desvios de temperatura e salinidade exibem, nas várias áreas, uma inversão de sinal entre a camada sub-superficial (primeiros 100 a 200 dbar aproximadamente) e as camadas abaixo desta. Esta mudança de sinal comprova a variação interdecadal encontrada entre a camada sub-superficial e a camada intermédia (água ACOAN), onde se observaram variações opostas nos perfis, a níveis diferentes.

Observa-se na Figura 9 que as variações de temperatura são, em todas as áreas, bastante pronunciadas. Estes desvios de temperatura entre décadas são mais acentuados nas áreas de oceano aberto (3 e 6).

Região costeira – áreas 1 e 4

Observa-se que à superfície e sub-superfície, a área 4 apresenta desvios climatológicos decadais de cerca de 1°C na segunda década e de cerca de 0.4°C na última, apresentando a primeira década um arrefecimento acentuado relativamente à média climatológica dos 31 anos. Na área 1, este arrefecimento na década 1 é de menor amplitude, mas verifica-se que a temperatura foi mais elevada na segunda década.

Na área 4, observamos abaixo dos 500 dbar, desvios positivos de temperatura e de salinidade na terceira década. Perto dos 1000 dbar, observa-se o pico de temperatura de cerca de 0.4 C.

Áreas intermédias – vertente continental (áreas 2 e 5):

Verifica-se nestas duas áreas que a segunda década esteve, em média mais quente e salina que as décadas adjacentes. Na área 5, contudo, a camada superficial apresenta um desvio positivo também na terceira década. Observamos novamente um desvio máximo de temperatura e salinidade ao nível dos 1500 dbar, sendo esta a profundidade do núcleo inferior da Água Mediterrânica.

Áreas de oceano aberto – áreas 3 e 6:

Estas áreas apresentam maior variabilidade entre décadas, como foi observado na secção 4. Na camada superficial, a figura indica que a segunda década esteve mais quente, verificando-se um arrefecimento relativo na terceira década, na área 6. Em profundidade, a área 3 e 6 revelam um aquecimento pronunciado, juntamente com valores de salinidade maiores, na terceira década. O desvio maior de temperatura e salinidade ocorre a cerca de 1500 dbar, ao nível da Água Mediterrânica.

Coefficientes de correlação entre Temperatura e Salinidade para as 3 décadas,
e para os 31 anos (1971-2001), para o semestre de Inverno

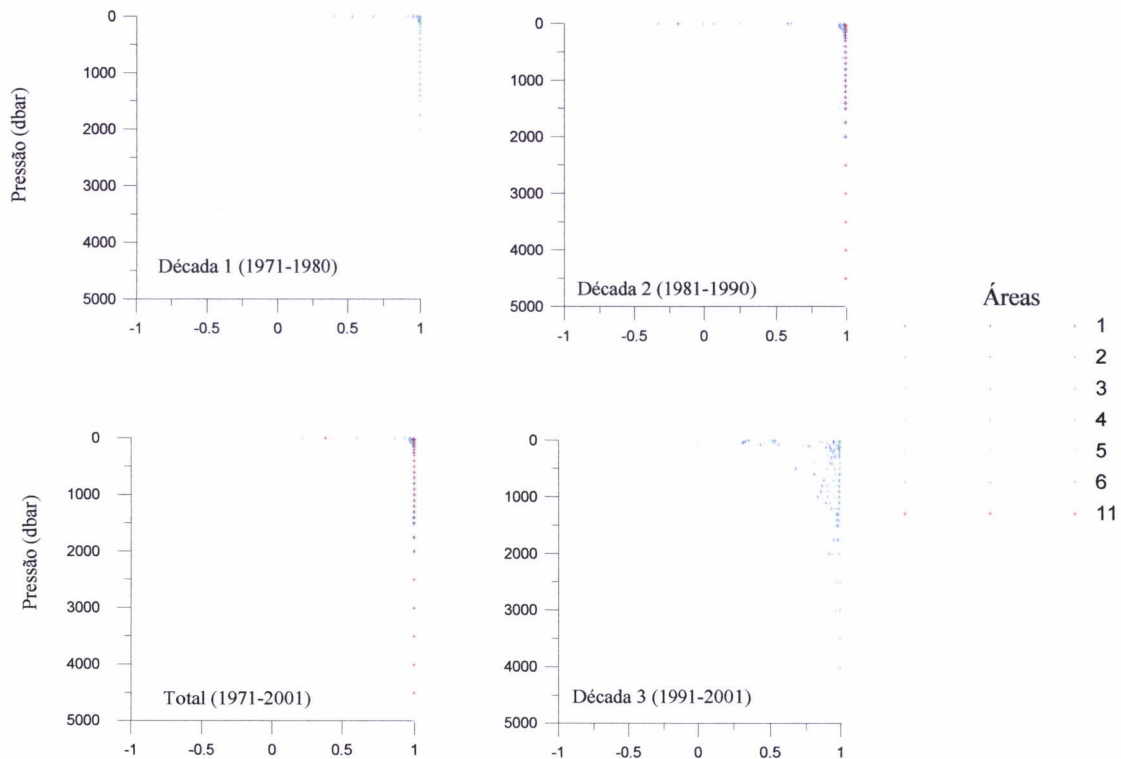


Figura 10 – Coeficientes de correlação linear entre Temperatura e Salinidade, nas profundidades standard, para as 3 décadas e para o período total de estudo, no semestre de Inverno. Intervalo de confiança de 95%.

Em resumo:

As anomalias de temperatura do semestre de Inverno revelam um aumento de temperatura na última década, abaixo dos 500 dbar nas áreas costeiras e de oceano aberto e, arrefecimento, nas áreas intermédias (2 e 5).

A profundidade de maior variabilidade ocorre perto dos 1200-1500 dbar antes da zona de transição para a Água Profunda do Atlântico Norte, onde ocorre a intrusão e mistura do núcleo inferior da Água Mediterrânica, com as águas profundas do Atlântico Oriental.

A salinidade apresenta em algumas áreas, desvios da ordem de ± 0.1 à superfície e na região de máxima variabilidade, onde a correspondente anomalia de temperatura se

torna também mais pronunciada ($\sim \pm 0.2$ a 0.4 °C). O nível mínimo de variabilidade característico em todas as áreas coincide com o nível inferior do ramo subpolar da água central, acima dos 500dbar. A Figura 10 mostra que estas duas variáveis têm uma forte dependência linear, contudo, na última década, esta dependência é ligeiramente relaxada nas áreas costeiras (1 e 4).

5.2 Semestre de Verão

Na Figura 11, verificamos que o semestre de Verão apresenta maior variabilidade interdecadal. Os desvios climatológicos de cada década são mais pronunciados à superfície e nas profundidades da Água Mediterrânica. As áreas 1, 3, 8, 9, 10 e 11 apresentam anomalias bem definidas em toda a profundidade. Verifica-se, nas várias áreas, que ocorre uma inversão de sinal dos desvios de temperatura entre a camada superficial e a camada intermédia, tal como foi identificado no semestre de Inverno, mas o nível de transição deste padrão ocorre agora perto dos 500 dbar. A dependência linear destas variáveis e entre estas décadas é apresentada na Figura 12.

Região costeira – áreas 1, 4 e 7:

Salienta-se nestas áreas um aumento na terceira década, de temperatura na camada superficial, de cerca de 0.6°C nas áreas 1 e 4 e, 0.2°C na área 7. Abaixo dos 500 dbar, a área 4 apresenta, na terceira década, uma anomalia positiva de cerca de 0.4°C e 0.1 de salinidade na zona do núcleo superior de Água Mediterrânica, invertendo o sinal abaixo de 1250 dbar. Na área 1, verifica-se que a segunda década apresenta desvios positivos de temperatura e de salinidade ao nível dos 1500 dbar.

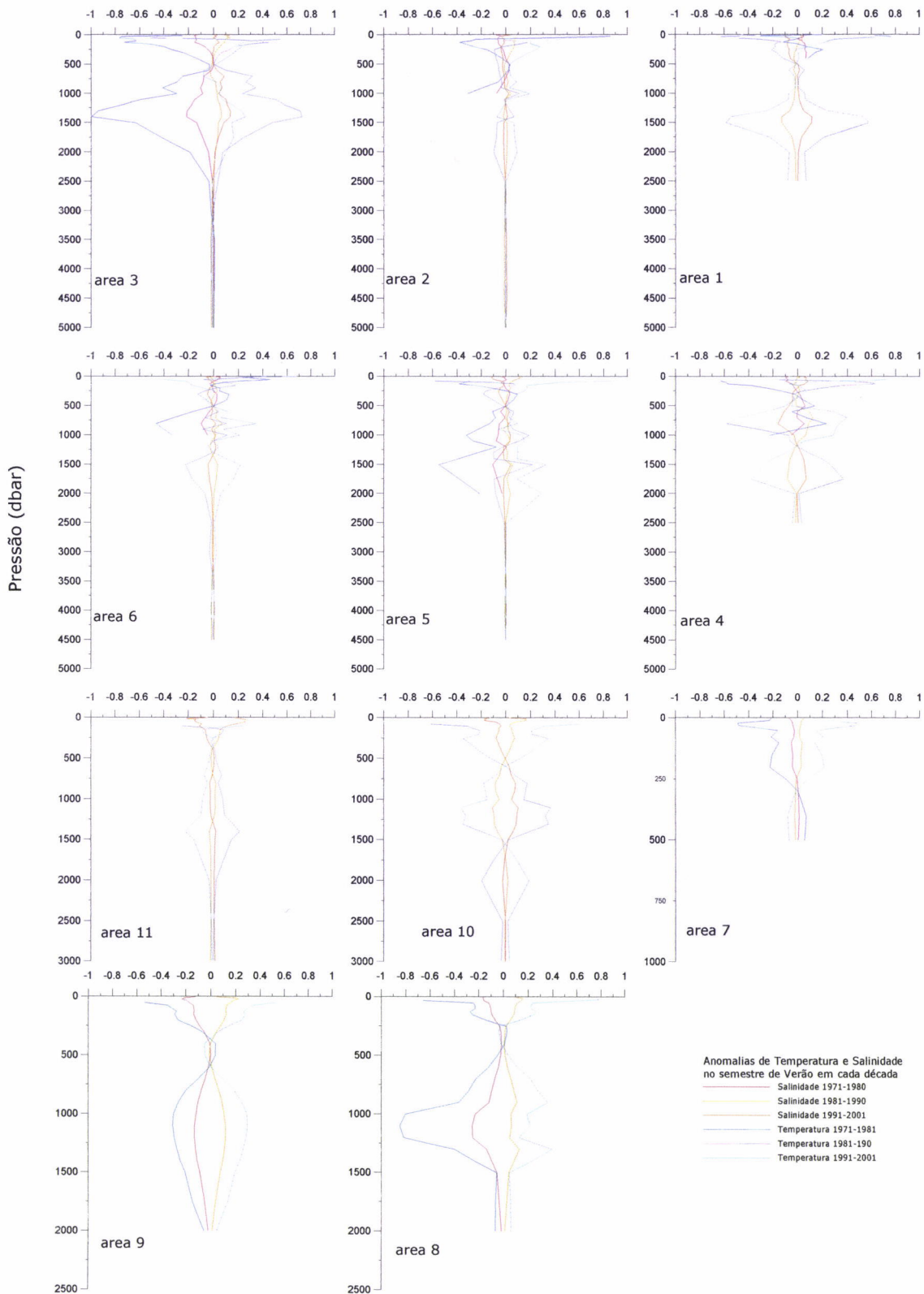


Figura 11 – Anomalias climáticas de cada década para o semestre de Verão. O eixo horizontal representa o desvio da média climatológica de cada variável, sendo-lhe atribuído a unidade física correspondente.

Áreas intermédias – vertente continental (áreas 2,5, 8 e 10):

A camada superficial apresenta anomalias positivas na terceira década, observando-se desvios máximos de cerca de 0.9 °C nas áreas 8 e 10, na terceira década. Nestas duas áreas distingue-se melhor o sinal da anomalia da salinidade, onde a Figura 11 indica que a camada superficial sofreu um aumento de salinidade na terceira década.

Abaixo dos 500 dbar, as áreas 8 e 10, mostram uma diferença significativa entre décadas, tal como se visualiza na Figura 8 da secção anterior. Na área 8 o aquecimento da última década é bem definido em toda a profundidade. Mas na área 10, este aquecimento é interrompido por um arrefecimento entre os 500 e 1500 dbar, tornando a aquecer abaixo desta profundidade.

Áreas de oceano aberto – áreas 3 e 6, 9 e 11:

Nas áreas de oceano aberto, verificamos o mesmo aquecimento da terceira década, excepto na área 3, onde a segunda década apresenta valores anómalos positivos maiores que os da terceira década e, na área 11 onde estes desvios são negativos. O aumento de temperatura e salinidade na última década é bem definido e identificado na área 9, em toda a profundidade.

Coefficientes de correlação entre Temperatura e Salinidade para as 3 décadas,
e para os 31 anos (1971-2001), para o semestre de Verão

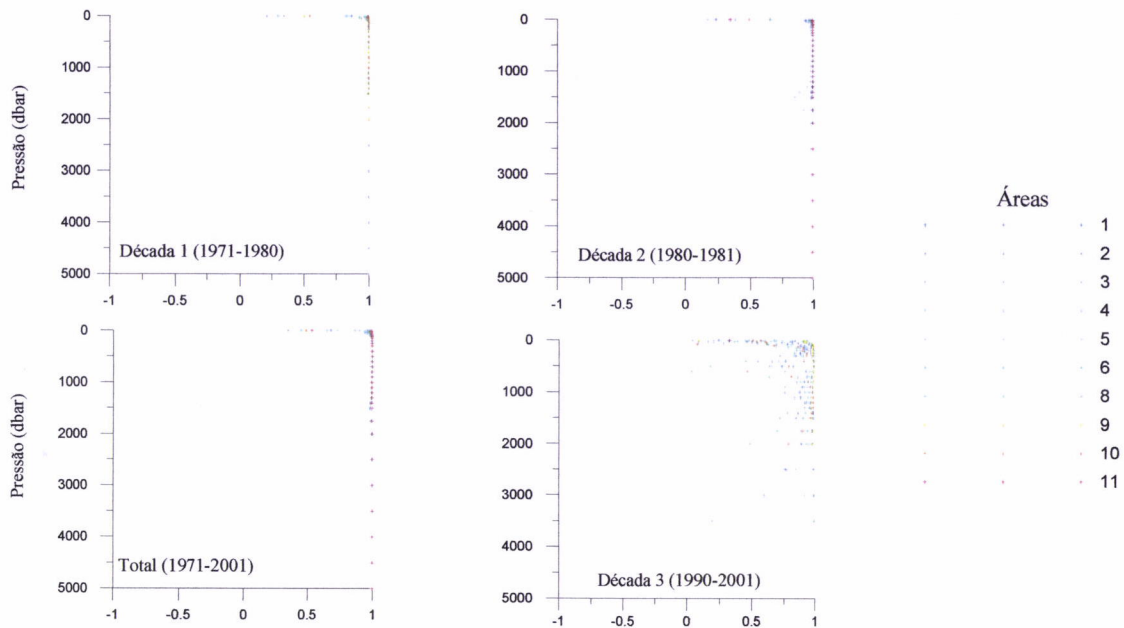


Figura 12 – Coeficientes de correlação linear entre Temperatura e Salinidade, nas profundidades standard, para as 3 décadas e para o período total de estudo, no semestre de Verão. Intervalo de confiança de 95%.

Em resumo:

Em todas as áreas verifica-se que a primeira década apresenta anomalias negativas de temperatura e de salinidade. Na transição para as outras duas décadas identifica-se um aquecimento e maior salinização, pelo que a transição entre as duas últimas décadas não é monótona. A profundidade de menor variabilidade é maior neste semestre. As áreas a sul de 33°N mostram uma variabilidade estável em profundidade, apresentando anomalias bem definidas. Encontramos na área 3 um aumento de temperatura e de salinidade mais acentuados, e melhor pronunciados na segunda década. A dependência entre estas duas variáveis é elevada, mas na terceira década esta relação é ligeiramente atenuada.

Considerações finais

Neste trabalho investigou-se a variabilidade decadal das propriedades médias da temperatura e salinidade na região oceânica portuguesa. A metodologia estatística utilizada neste trabalho permitiu detectar a presença de variações de baixa frequência nas diferentes regiões estudadas.

No primeiro capítulo aborda-se a dificuldade de construção de uma climatologia do oceano assente em medições irregulares, pelo que a análise de variabilidade climatológica dos dados existentes está sujeita a alguma incerteza.

Nos capítulos 4 e 5 investigou-se a variabilidade interdecadal dos últimos 31 anos, analisando as médias decadais em cada área e o sinal das respectivas anomalias em profundidade. Este estudo decadal revela que as condições oceânicas têm vindo a sofrer variações de salinidade e temperatura entre as últimas 3 décadas. Esta variabilidade decadal está presente em todas as áreas abordadas neste estudo, sendo observada em todas as áreas nos semestre e trimestre de Verão. Identificou-se a variação sazonal das propriedades físicas médias, evidenciada pela forte termoclina sazonal do semestre de Verão. Identificaram-se variações interdecadais entre os níveis superficiais, a massa de água ACOAN e a camada de mistura de Água Mediterrânica. Estas variações mostram na maioria das áreas, que o perfil decadal sofreu variações opostas em profundidade.

No semestre de Inverno identificaram-se transições entre décadas nas propriedades físicas em estudo. Detectou-se que a camada superficial esteve mais quente e salina na segunda década, excepto nas regiões de oceano aberto. A massa de Água Central Oriental do Atlântico Norte apresenta na segunda década valores de salinidade mais baixos. Verifica-se que neste semestre os máximos de salinidade, resultantes da mistura com a Água Mediterrânica, atingiram valores superiores na última década (1991-2001), nas regiões costeiras (1 e 4), e nas de oceano aberto (3 e 6).

O semestre de Verão apresenta maior variabilidade interdecadal na camada superior, onde se observa um aquecimento e correspondente aumento de salinidade à superfície, na última década.

Nas regiões a sul de 36°N detectou-se a presença do ramo subtropical da Água Central Oriental do Atlântico Norte em níveis mais superficiais. E, nas áreas a sul de 33°N, detecta-se no semestre de Verão a assinatura mais proeminente do ramo subpolar da ACOAN, que segundo Ríos *et al.* (1992) se deve à fraca influência do escoamento da Água Mediterrânica a estas latitudes.

Em trabalhos anteriores, a variabilidade da massa de Água Central Oriental do Atlântico Norte foi identificada em anos independentes. Perez *et al.* (1995) detectou valores menos salinos entre 1970 e 1990, em áreas a norte de 42°N, verificando um aumento abrupto em 1991 e nos dois anos seguintes. Fiúza *et al.* (1998), verificou um desfasamento nas suas medições, realizadas no mês de Maio de 1993 acima dos 39°N, entre o perfil da ACOAN e o perfil das suas medições, indicando valores mais salinos.

No estudo trimestral interdecadal distingue-se a transição sazonal das propriedades médias do oceano, observando-se que os dois semestres estudados (Inverno e Verão), mantêm a mesma assinatura interdecadal embora no trimestre de Inverno exista menos informação. No trimestre de Outono distingue-se o perfil da segunda década com temperaturas mais frias e menor salinidade na camada superficial.

A distribuição espacial e temporal é irregular, pelo que o peso mensal em cada década poderá estar a influenciar a análise semestral. No entanto, torna-se necessária esta abordagem para o conhecimento das condições médias do oceano.

As anomalias climáticas destas décadas revelam que a temperatura e salinidade estão a variar em fase, apresentando desvios em simultâneo, mais acentuados a cerca de 1500 dbar e quase nulos na zona de transição das camadas sub-superficial e intermédia. Estas anomalias mostraram também a variação vertical do sinal da anomalia no perfil de cada década, verificando-se variações opostas entre as camadas.

A influência da Água Mediterrânica relevada nesta análise indica que, em ambos os semestres, esta sofreu um aumento de temperatura e salinidade nas duas últimas décadas. Este aumento está de acordo com os resultados de Potter *et al.* (2004). Os seus resultados baseados nos dados recolhidos entre 1955 a 1993 indicam que as propriedades da Água Mediterrânica apresentam um aumento de temperatura e salinidade. Mostram ainda que a temperatura da Água Mediterrânica tem aumentado na

ordem de 0.1°C por década e a salinidade cerca de 0.03 por década. Sugerem ainda que o ganho de calor resultante desta massa de água é fonte de aquecimento das camadas intermédias do Atlântico Norte.

Uma contribuição importante para o conhecimento da variabilidade do oceano foi o trabalho de Levitus *et al.* (2000). Este trabalho revela que a energia interna no oceano mundial tem consistentemente aumentado nos últimos 50 anos. Em particular, o Oceano Atlântico Norte passou de um período frio (arrefecimento persistente) até meio dos anos 70, para um ganho de energia interna a partir dessa altura. O seu estudo indica que este aquecimento está relacionado com a persistente fase positiva da NAO nas duas últimas décadas.

A análise interdecadal aqui apresentada quantifica as variações de temperatura e salinidade da região oceânica portuguesa e fornece uma linha de base para se poderem quantificar variações futuras, nesta região. As aplicações como as previsões das condições oceanográficas, previsões da variabilidade climática sazonal, requerem observações frequentes do oceano. É importante o conhecimento continuado das condições climáticas do oceano de forma a validar a aptidão dos modelos numéricos para representar adequadamente a circulação oceânica e a sua variabilidade, como elucida Grassl (2001).

Este estudo pretende contribuir para um melhor conhecimento da variabilidade climática da zona oceânica portuguesa.

Referências Bibliográficas

- Aken, H., 2001:** The hidrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean – Part III: the subducted thermocline water mass, *Deep-sea research I*, **48**, no 1, 237-267.
- Anon., 1983:** UNESCO Technical Paper in Marine Science, **44**- Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, *UNESCO*.
- Boyer, T. and Levitus, S., 1994:** Quality Control and Processing of Historical Temperature, Salinity, and Oxygen Data, *National Oceanographic Data Center, Technical Report NESDIS 81*
- Fiúza, A., 1984:** Hidrologia e Dinâmica das águas costeiras de Portugal, *Dissertação de Doutoramento*, Universidade de Lisboa.
- Fiúza, A., Hamann, M., Ambar, I., Río, G., González, N., Cabanas, J., 1998:** Water masses and their circulation off western Iberia during May 1993, *Deep-sea research I*, **45**, 1127-1160.
- Gaspar, J., 1990:** *in* Introdução à Oceanografia Física, *Apontamentos da escola de hidrografia e oceanografia*, Instituto Hidrográfico.
- Grassl, H., 2001:** *in* Ocean Circulation and Climate, *International Geophysics Series 77*, Academic Press
- Hurrell, J., 1995:** Decadal changes in the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation, *Science*, **269**, 676-679.
- Jorge da Silva, A., Marreiros, M., Almeida, S., 1990:** Metodologia de processamento de dados de CTD desenvolvida no Instituto Hidrográfico, *Anais do Instituto Hidrográfico*, **11**, 7-17.
- Juliano, M., 2002:** Determinação e Análise do sistema de circulação oceânica tridimensional e clima de oceano. Uma visão integrada, *Dissertação de Doutoramento*, Universidade dos Açores.
- Leach, H., 1990:** Interannual variability in the upper ocean in the North Atlantic, summer 1983 and 1986, *Deep-sea research I*, **37**, no 7, 1169-1175.
- Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T., Stephens, C., 2000:** Warming of the world ocean, *Science*, **287**, 2225-2229.
- Lozier, S., Owens, W., Curry, 1995:** The Climatology of the North Atlantic, *Progress in Oceanography*, **36**, 1-44
- Kreyszig, E., 1970:** Introductory Mathematical Statistics – Principles and Methods, *John Wiley and Sons*
- Pérez, F, Ríos, A., King, B, and Pollard, R. 1995:** Decadal changes of the θ -S relationship of the Eastern North Atlantic Central Water, *Deep-sea research I*, **42**, no. 11/12, 1849-1864.
- Potter, R. Lozier, S., 2004:** On the warming and salinification of the Mediterranean outflow waters in the North Atlantic, *Geophysical Research Letters*, **31**.
- Reverdin, G., Dooley, H., Ellett, D., Levitus, S., Penhoat, Y., Dessier, A., 1994:** Surface salinity of the North Atlantic: Can we reconstruct its fluctuations over the last hundred years?, *Progress in Oceanography*, **33**, 303-346

Richardson, P., Bower, A., Zenk, W., 1995: A census of Meddies tracked by floats, *Progress in Oceanography*, **46**, 209-205.

Ríos, A., Pérez, F., Fraga, 1992: Water masses in the upper and middle North Atlantic Ocean East of the Azores, *Deep-sea research I*, **39**, no. 3/4, 645-658.

Wilks, D., 1995: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences - *An Introduction*, Academic Press.

Fonte de dados

ICES – www.ices.dk

Climatologia de Levitus (1998) – www.cdc.noaa.gov

Apêndice A – Níveis Standard

Nível standard	Pressão (dbar)	Limite superior da camada (dbar)	Limite inferior da camada (dbar)
1	0	0	5
2	10	5	15
3	20	15	25
4	30	25	35
5	50	40	60
6	75	65	85
7	100	90	110
8	125	115	135
9	150	140	160
10	200	180	220
11	250	230	270
12	300	280	320
13	400	350	450
14	500	450	550
15	600	550	650
16	700	650	750
17	800	750	850
18	900	850	950
19	1000	950	1050
20	1100	1050	1150
21	1200	1150	1250
22	1300	1250	1350
23	1400	1350	1450
24	1500	1450	1650
25	1750	1650	1850
26	2000	1850	2150
27	2500	2250	2750
28	3000	2750	3250
29	3500	3250	3750
30	4000	3750	4250
31	4500	4250	4750
32	5000	4750	5250

Tabela – Níveis standards, pressão correspondente e camadas usadas na interpolação dos valores para estes níveis

Apêndice B – Número de estações

Tabela 1 – Número total de estações (entre 1971 e 2001) de equipamentos CTD e garrafas existentes e aceites no controlo de qualidade, para a área de estudo (30° N - 42° N e 5° W- 15°W).

Garrafas	Total	Aceites*	Superficiais**
Número de estações existentes na área total de estudo	4664	3162	2272
CTD			
Número de estações existentes na área total de estudo	1673	1673	0

* – Número de estações aceites no controlo de qualidade.

** – Número de estações com medições superficiais apenas, aceite no controlo de qualidade.

Tabela 2 – Número total de estações com dados em profundidade de equipamentos CTD e garrafas em cada década (década 1 - 1971-1980, década 2 – 1981-1990 e década 3 - 1991-2001), no respectivo semestre e área de estudo.

Inverno -NDJFMA											
Áreas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Década1	121	89	40	106	93	75	2	2	4	3	54
Década2	120	49	28	37	105	34	0	0	0	7	18
Década3	1392	50	28	236	21	80	8	2	0	0	5
Verão -MJJASO											
Década1	223	86	68	123	103	83	8	33	75	6	75
Década2	60	40	61	13	36	47	0	8	10	22	28
Década3	203	132	32	126	155	68	12	22	30	24	14

Tabela 3 – Número de estações com dados de equipamentos CTD em cada década (década 1 - 1971-1980, década 2 – 1981-1990 e década 3 - 1991-2001), no respectivo trimestre e área de estudo.

Inverno - JFM											
Áreas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Década1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Década2	0	6	8	13	72	15	0	0	0	4	4
Década3	68	15	3	12	7	0	8	2	0	0	1
Primavera - AMJ											
Década1	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
Década2	114	52	29	8	34	28	0	0	1	3	7
Década3	117	61	31	13	12	71	0	7	6	0	0
Verão - JAS											
Década1	0	0	0	0	0	0	0	25	15	0	0
Década2	18	1	1	0	0	3	0	0	0	1	3
Década3	77	64	14	95	118	23	12	12	20	24	10
Outono - OND											
Década1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Década2	34	5	0	20	29	1	0	0	0	0	0
Década3	79	25	11	33	28	0	0	3	1	0	1

Tabela 4 – O mesmo que na tabela 3 mas para estações de garrafas, superficiais e em profundidade.

Inverno - JFM											
Áreas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Década1	83	44	28	70	47	47	2	1	1	1	32
Década2	5	8	9	3	2	6	0	0	0	3	10
Década3	1253	8	0	209	0	14	0	0	0	0	2
Primavera - AMJ											
Década1	93	51	24	69	60	64	0	0	11	1	41
Década2	1	5	21	0	1	19	0	0	1	0	4
Década3	0	3	1	0	0	37	0	0	0	0	2
Verão - JAS											
Década1	70	37	22	53	37	46	8	7	50	6	54
Década2	5	7	10	4	0	9	0	8	7	18	18
Década3	1	4	0	0	1	3	0	0	3	0	3
Outono - OND											
Década1	98	43	9	37	52	1	0	2	2	1	2
Década2	3	5	11	2	3	0	0	0	1	0	0
Década3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice C – Distribuição espacial das estações oceanográficas

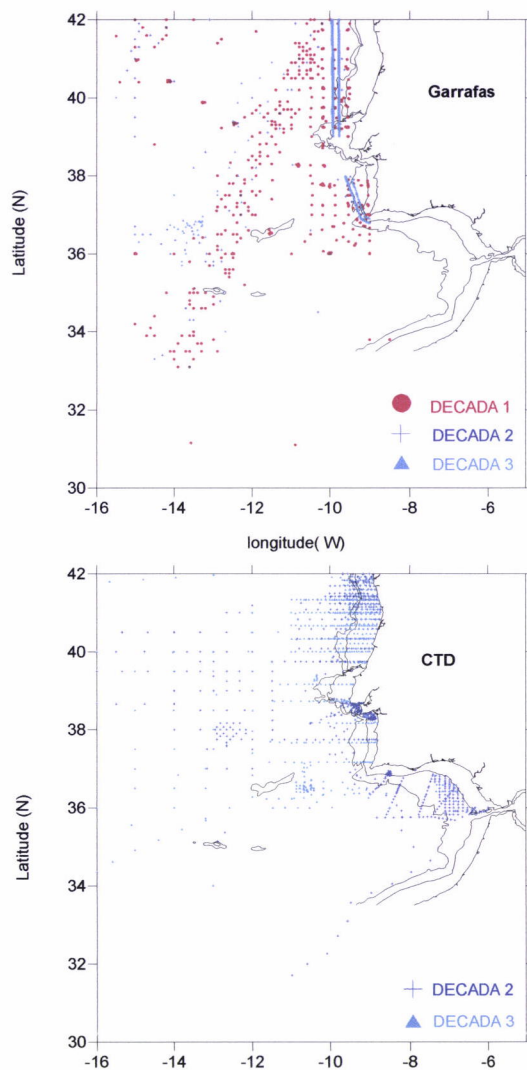


Figura C – 1. Distribuição geográfica das estações oceanográficas com medições de CTD e garrafas, no semestre de Inverno, para a década 1 (1971-80), década 2 (1981-1990) e década 3 (1991-2001)

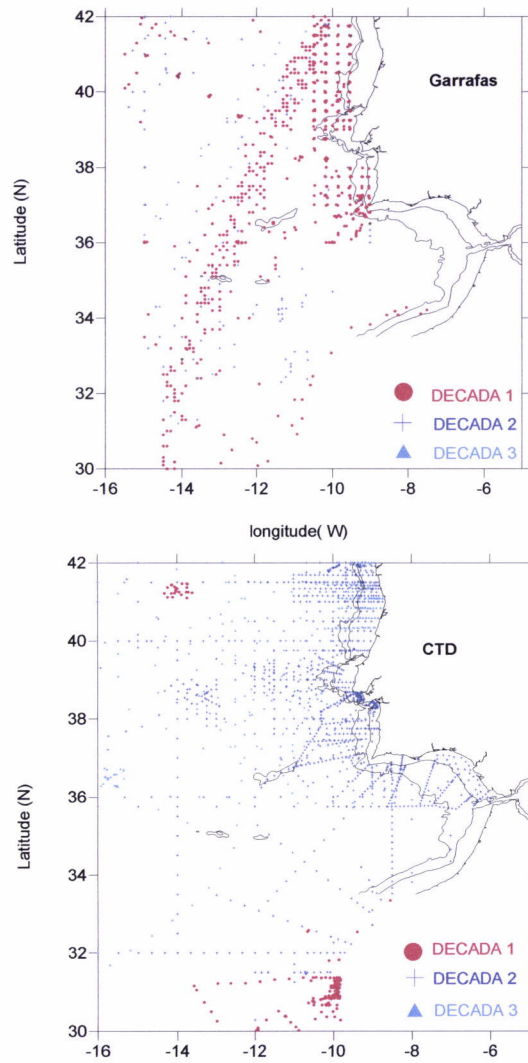


Figura C – 2. Distribuição geográfica das estações oceanográficas com medições de CTD e garrafas no semestre de Verão, para a década 1 (1971-80), década 2 (1981-1990) e década 3 (1991-2001)

Apêndice D – Variabilidade decadal em cada trimestre

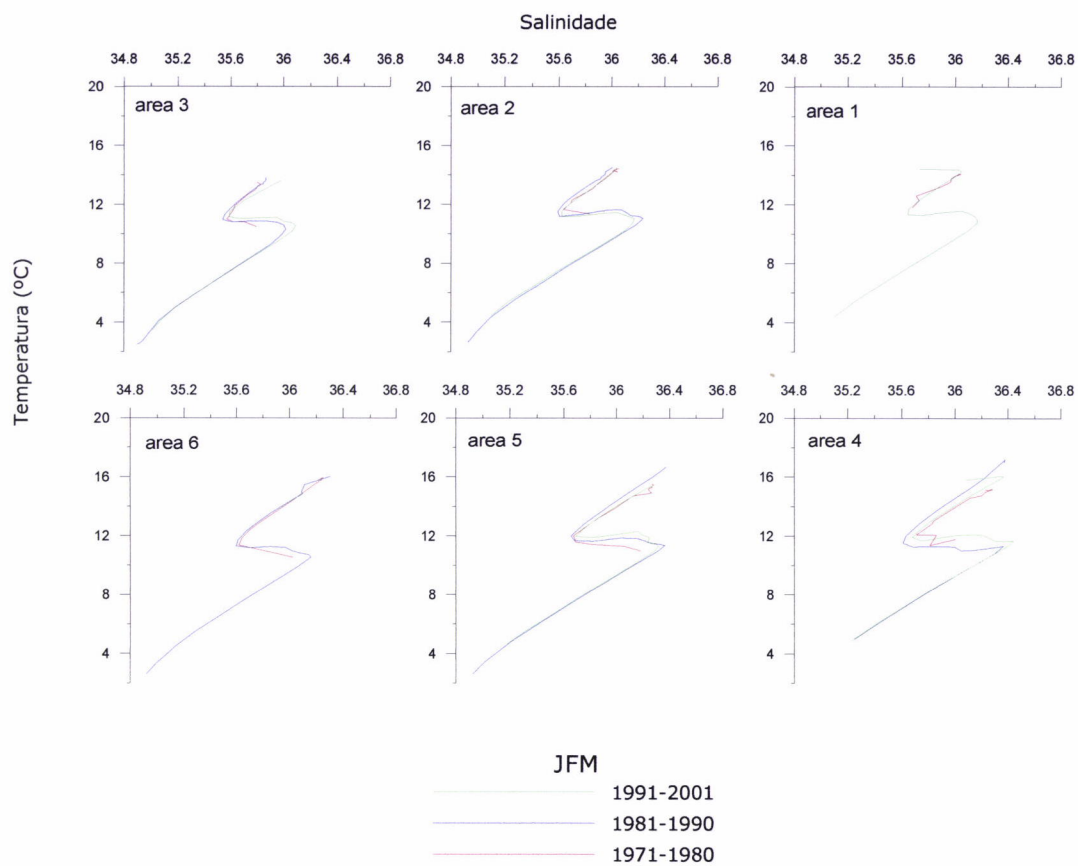


Figura D – 1. Variabilidade decadal no trimestre de Inverno – Janeiro, Fevereiro e Março.

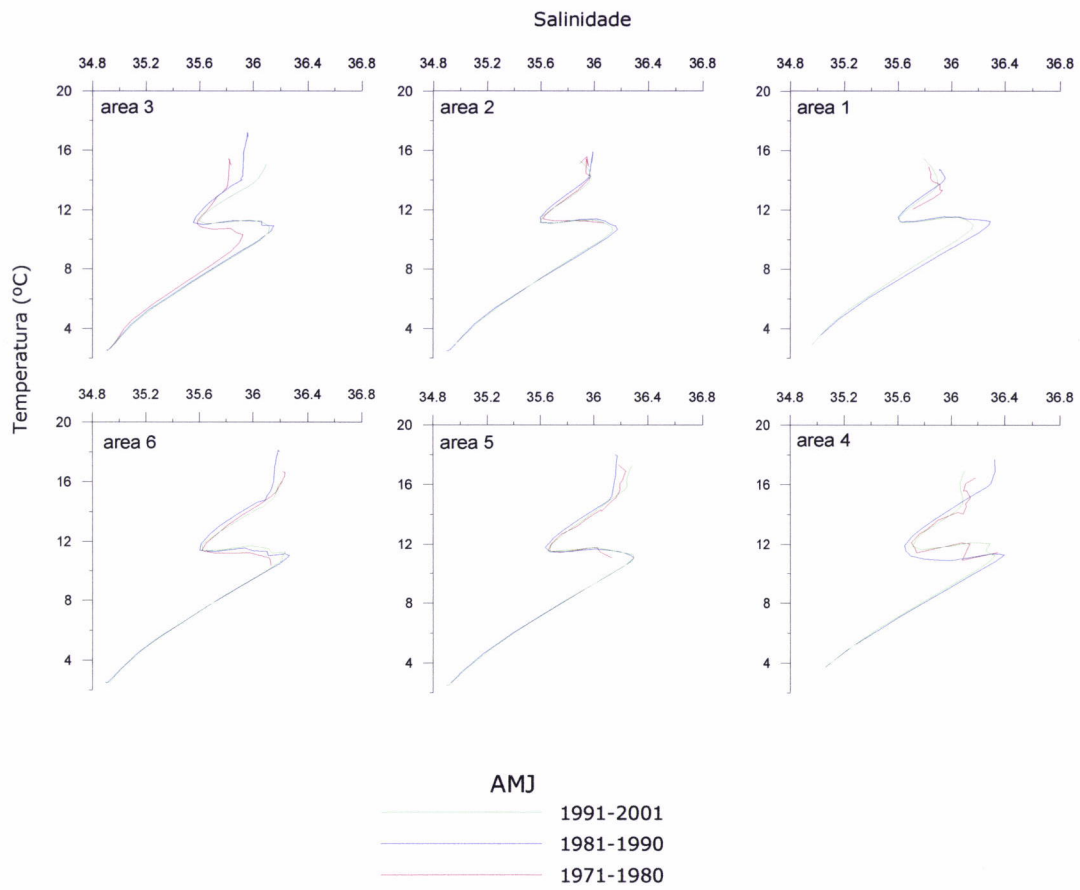


Figura D –2. Variabilidade decadal no trimestre de Primavera – Abril, Maio e Junho

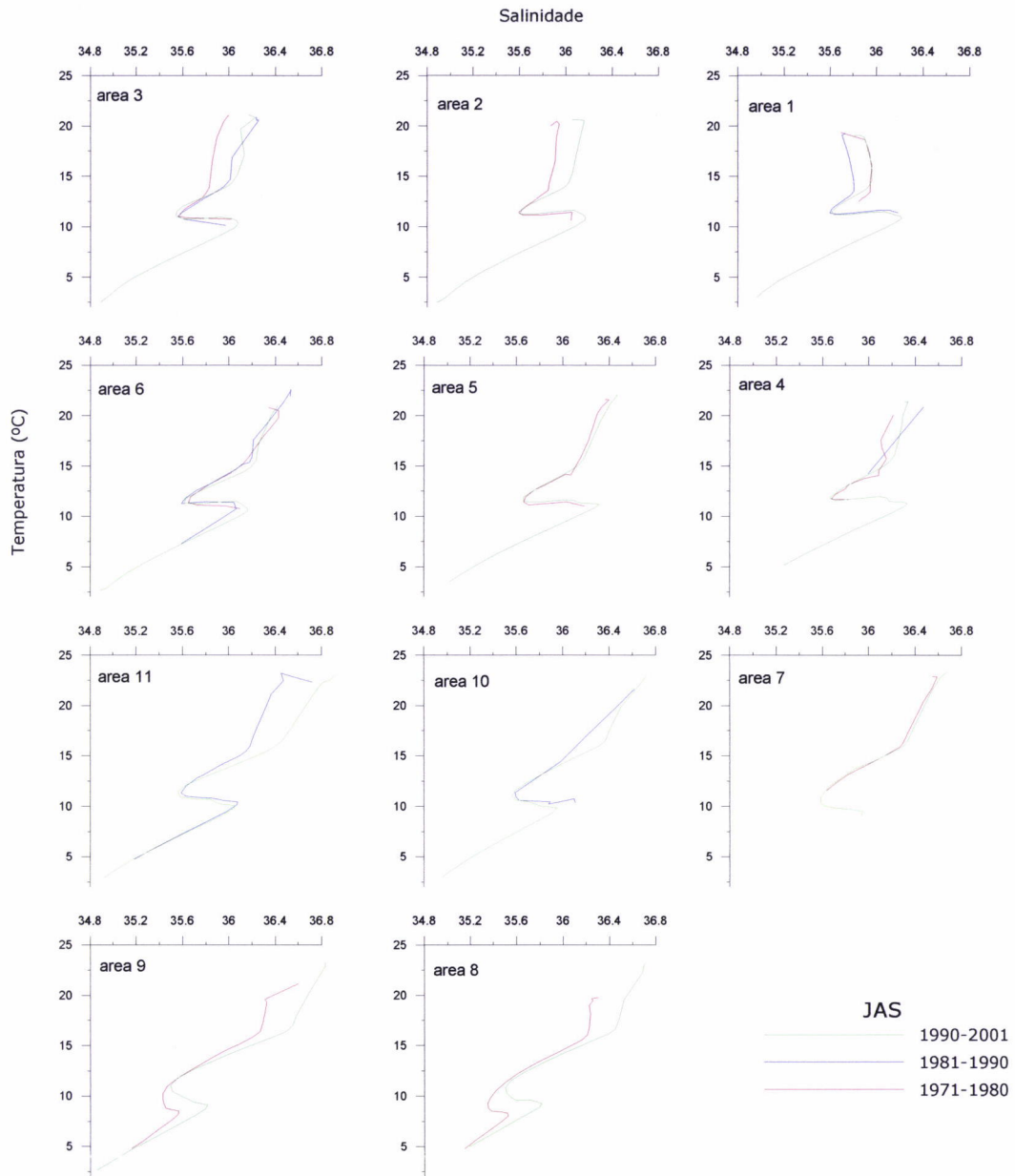


Figura D-3. Variabilidade decadal no trimestre de Verão – Julho, Agosto e Setembro

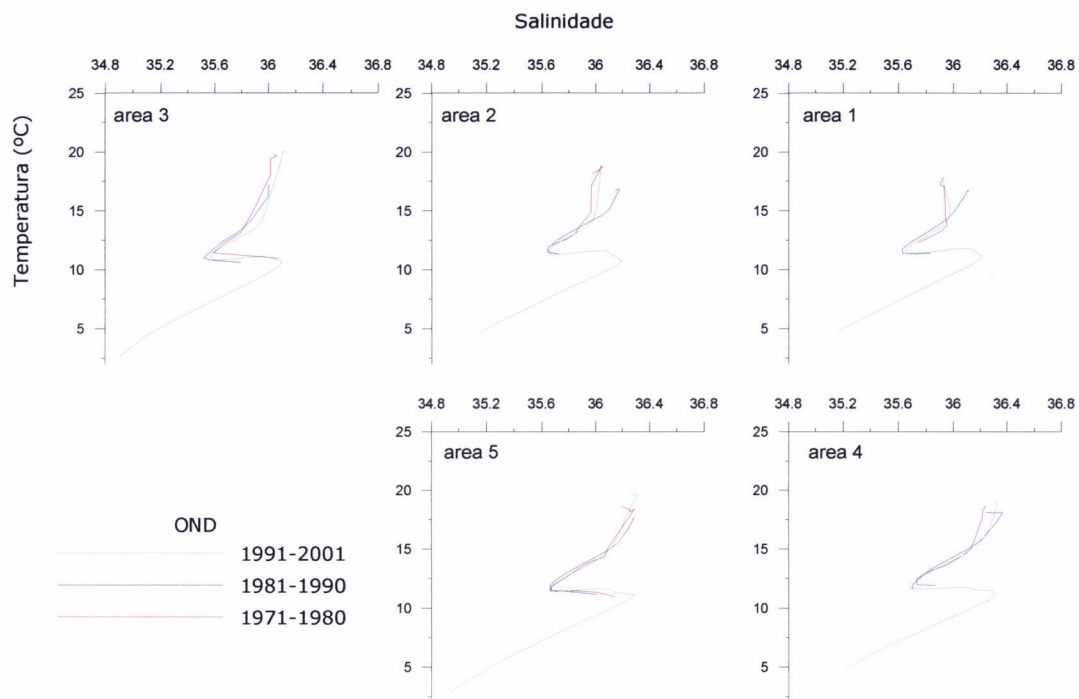


Figura D – 4. Variabilidade decadal no trimestre de Outono – Outubro, Novembro e Dezembro.

Apêndice E – Número de estações por mês

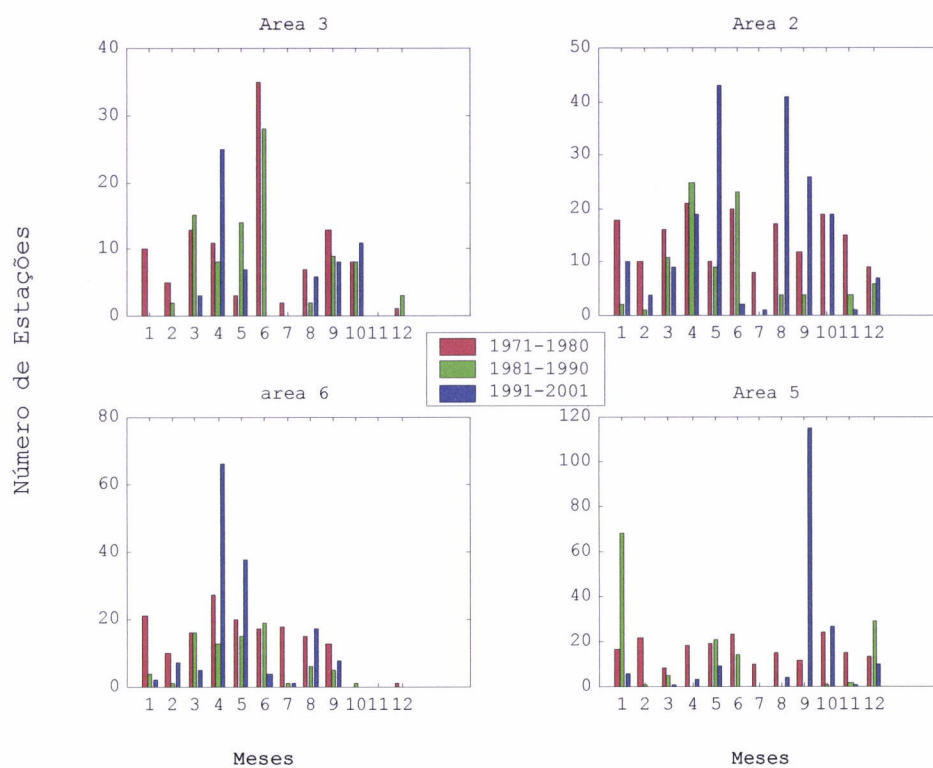


Figura E-1. Número de estações por mês, em cada década, para as áreas 2, 3, 5 e 6.

Apêndice F – Correlação linear e teste de correlação

O coeficiente de correlação linear, de Pearson, entre duas variáveis, x e y , mede a associação linear entre elas. Esta relação é expressa pela razão da covariância entre as duas variáveis e o produto dos seus desvios padrões, $R_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{S_x S_y}$.

A sua forma computacional, após alguma manipulação algébrica (Wilks, 1995), traduz-se na seguinte relação:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (1/n) \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\left[\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 + (1/n) \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 + (1/n) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right) \right]^{1/2}}$$

Uma propriedade importante deste coeficiente é que o seu quadrado especifica a porção de variância de uma variável que é explicável pela outra. Outra propriedade é que este coeficiente toma apenas valores no intervalo $(-1,1)$. Embora este coeficiente não forneça uma explicação física da relação entre as variáveis, é uma técnica estatística usada para explorar as possíveis relações entre as variáveis climáticas.

Para testar a significância dos coeficientes de correlação, aplicou-se o teste de transformação Z de Fisher (Kreyszig, 1970), determinado o intervalo de confiança do coeficiente de correlação. Neste teste, aplica-se a transformação auxiliar $Z = 1/2 \ln \frac{1-R}{1+R}$, que converge para a distribuição normal e tem variância $\sigma = 1/(n-3)$. O intervalo de confiança é dado por: $\text{tgh}(Z - \alpha_{1/2}\sigma) \leq R \leq \text{tgh}(Z + \alpha_{1/2}\sigma)$, onde α representa o nível de significância.

