



Universidade de Aveiro Departamento de Física  
2009

**Rita Luísa Jesus  
Soares**

**Estudo de um evento de afloramento e relaxamento  
na região costeira de Aveiro**



Universidade de Aveiro Departamento de Física  
2009

**Rita Luísa Jesus  
Soares**

**Estudo de um evento de afloramento e relaxamento  
na região costeira de Aveiro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sob a orientação científica do Doutor Jesus Manuel Pedreira Dubert, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro e co-orientação da Doutora Maria Manuel Pimenta Angélico, Investigadora Auxiliar do INRB-IPIMAR.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor José Fortes do Nascimento Lopes**  
Professor auxiliar do departamento de física da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Jesus Manuel Pedreira Dubert**  
Professor auxiliar do departamento de física da Universidade de Aveiro

**Doutora Maria Manuel Pimenta Angélico**  
Investigadora auxiliar do INRB-IPIMAR

**Doutor Paulo Nogueira Brás de Oliveira**  
Investigador auxiliar do INRB-IPIMAR

## **agradecimentos**

Este trabalho chegou à fase final devido ao apoio de muitas pessoas, que directa ou indirectamente para ele contribuíram e para as quais quero deixar os mais sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador, Professor Doutor Jesus Manuel Pedreira Dubert por ter aceite orientar este trabalho, pelo apoio e tempo disponibilizado.

À Doutora Rita Nolasco, pelo contributo a nível informático, sobretudo de modelação e pelo seu apoio a todos os níveis.

À equipa do IPIMAR pelo fornecimento dos dados, pela ajuda no seu tratamento e análise e pelo apoio disponibilizado.

À minha família e aos meus amigos, que muito contribuíram para levar avante este projecto.

Este trabalho foi realizado no âmbito da campanha NeoMav, realizada pelo IPIMAR em Julho de 2007, sendo também uma contribuição para o projecto "ISCAD - Inner Shelf Circulation and dispersion patterns: Interaction with structures Systems" "PTDC/MAR/65760/2006".

**A todos muito obrigada!**

## **palavras-chave**

Afloramento costeiro; relaxamento; modelo numérico; temperatura; salinidade; concentração de clorofila-a; contracorrente

## **resumo**

Este trabalho, realizado no âmbito do Mestrado em Meteorologia e Oceanografia Física da Universidade de Aveiro, surge ligado à campanha realizada pelo IPIMAR (NeoMav), a bordo dos Navios de Investigação Noruega e Tellina em Julho de 2007.

Nele se faz uma análise dos dados recolhidos pelo CTD a bordo dos dois navios, caracterizando os campos de temperatura, salinidade, densidade e concentração de clorofila-a na área mais costeira, ao largo de Aveiro, para o período de 2 a 7 de Julho de 2007.

A informação recolhida por estes navios foi complementada com: i) uma configuração numérica de circulação, realizada com o modelo ROMS-AGRIF, com uma resolução aproximada de 900m, forçado em condições realistas; ii) dados obtidos por satélite para temperatura de superfície (da série NOAA, sensor AVHRR) e concentração de clorofila-a (sensor MODIS, satélite Terra).

São estudadas as respostas da plataforma média e plataforma interior aos forçamentos atmosféricos que consistiram na alternância entre um regime de ventos de Norte, seguido de relaxamento e nova intensificação do vento de Norte, no Verão, na zona em estudo.

As características mais marcantes são: a ascensão de água fria, durante o afloramento; o aparecimento de uma contracorrente para Norte na plataforma interior, junto à costa, durante o relaxamento; o aparecimento de uma frente que separa as águas afloradas mais frias das águas oceânicas mais quentes; a assinatura das descargas do rio Douro na salinidade, com uma pluma de água menos salgada a deslocar-se para Sul, associada ao jacto e para o largo, associada ao transporte de Ekman induzido pelo vento.

Os resultados obtidos através do modelo demonstraram ser bastante consistentes com as observações e com as Imagens de Satélite, pelo que este modelo numérico reproduz realisticamente os resultados.

**keywords**

Coastal upwelling; relaxation; numerical model; temperature; salinity; chlorophyll-a concentration; counter current

**abstract**

The present work, as a dissertation of the Master's Degree Programme in Meteorology and Physical Oceanography at the University of Aveiro, is associated with a survey (NeoMav), conducted by the IPIMAR, with two Investigation boats, Noruega and Tellina, in July of 2007.

An analysis of the data provided by the CTD is made in order to characterize temperature, salinity, density and chlorophyll-a concentration, in the region near the coast of Aveiro, in the western Iberian region.

The information of the both cruises was complemented with: a fine resolution model ROMS-AGRIF, with 900 m of resolution approximately, forced in realistic conditions; ii) data from satellite imagery of surface temperature (series NOAA, sensor AVHRR) and chlorophyll-a concentration (sensor MODIS, Satellite Terra).

The responses of middle and inner shelves are studied due to the forcing of the atmospheric conditions, during the alternation between Southward winds and relaxation, in the summer, in the region of the study.

The most striking features are: the upwelled water during the upwelling; the appearance of a Northward counter current during the relaxation; the appearance of a front, which separates cold upwelled waters from warmer oceanic water; the signature of less salinity lens from Douro river, with a plume going Southward, associated to the flow, and offshore, associated to the Ekman transport induced by the wind.

There is plenty of agreement between the results from the numeric model, the observations and the satellite imagery.



## Índice

1 Introdução.....	1
2 Objectivos do trabalho.....	5
3 Descrição da área de estudo e o método experimental .....	6
3.1 Campanha oceanográfica.....	6
3.2 Enquadramento teórico.....	8
4 Modelação numérica.....	9
5 Resultados.....	10
5.1 Apresentação dos resultados.....	10
5.2 Distribuições verticais.....	15
5.2.1 Distribuições verticais observadas .....	15
5.2.1 Distribuições verticais do modelo.....	20
5.3 Distribuições horizontais.....	32
5.3.1 Distribuições horizontais observadas.....	32
5.3.2 Distribuições horizontais do modelo.....	33
5.3.3 Distribuições horizontais do satélite.....	36
6 Discussão.....	39
7 Conclusões.....	43
8 Bibliografia.....	45

## Lista de Figuras

- Figura 1 – Geografia da Costa Oeste Portuguesa, mostrando os principais cabos, canhões e rios da região, alguns deles referidos no texto.....1*
- Figura 2 – a) Região de Portugal Continental e a vermelho a região em estudo; grelha das estações de: b) N.I.Tellina; N.I.Noruega: c) do primeiro período da campanha e d) segundo período da campanha. NN1- radial Norte do primeiro período para o N.I.Noruega, NC1- radial central do primeiro período para o N.I.Noruega, NS1- radial Sul do primeiro período para o N.I.Noruega, o mesmo critério é aplicado para o segundo período. T3 e T4- Radial do N.I. Tellina para o dia 3 e 4 respectivamente. TN5 e TS5- radial Norte e Sul, respectivamente, do N.I.Tellina para o dia 5. Na figura 1a) o ponto NCEP corresponde ao local onde foi extraída a série de ventos. .... 6*
- Figura 3 – Intensidade da velocidade do vento desde 15/06/07 até 14/07/07. A sombreado está marcado o período correspondente às duas coberturas.....8*
- Figura 4 – Configuração dos domínios para o modelo numérico ROMS. FD – First domain; LD – Large domain; SD – Short domain. ....9*
- Figura 5 – Perfis verticais dos dados observados do N.I.Noruega: a),c),e) Temperatura no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1), respectivamente; b),d),f) Salinidade no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1), respectivamente; g),i),l) Densidade no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1), respectivamente; h),j),m) [Chl<sub>a</sub>] no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup> e para T, S, D e [Chl<sub>a</sub>], respectivamente. Todas as secções se encontram a uma profundidade máxima de 100m. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45.....16*
- Figura 6 – Perfis verticais dos dados observados do N.I.Noruega: a),c),e) Temperatura no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC2), 40.4°N (NS2), respectivamente; b),d),f) Salinidade no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS2), respectivamente; g),i),l) Densidade no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC2), 40.4°N (NS2), respectivamente; h),j),m) [Chl<sub>a</sub>] no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC2), 40.4°N (NS2). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup> e para T, S, D e [Chl<sub>a</sub>], respectivamente. Todas as secções se encontram a uma*



*profundidade máxima de 100m. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45.....17*

*Figura 7 – Perfis verticais referentes ao dia 3 de Julho (T3) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45. ....18*

*Figura 8 – Perfis verticais referentes ao dia 4 de Julho (T4) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45. ....19*

*Figura 9 – Perfis verticais referentes ao dia 5 de Julho (40.5°N) (TN5) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. ....19*

*Figura 10 – Perfis verticais referentes ao dia 5 de Julho (40.4°N) (TS5) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. ....20*

*Figura 11 – Perfis verticais do dia 15 de Junho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....21*

*Figura 12 – Perfis verticais do dia 26 de Junho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....22*

*Figura 13 – Perfis verticais do dia 29 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....23*

*Figura 14 – Perfis verticais do dia 2 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....24*

*Figura 15 – Perfis verticais do dia 3 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....25*

*Figura 16 – Perfis verticais do dia 4 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....26*

*Figura 17 – Perfis verticais do dia 5 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....27*

*Figura 18 – Perfis verticais do dia 6 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....28*

*Figura 19 – Perfis verticais do dia 7 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). ....29*

*Figura 20 – Perfis verticais do dia 10 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....30*

*Figura 21 – Perfis verticais do dia 13 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente. ....31*

*Figura 22 – Perfis horizontais à superfície da primeira a cobertura do N.I.Noruega (2-3 de Julho): a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. ....32*



- Figura 23 – Perfis horizontais à superfície da segunda cobertura do N.I.Noruega (6-7 de Julho): a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0.15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. ....33*
- Figura 24 – Perfis horizontais de temperatura do modelo, à superfície, dos dias: a) 15 de Junho, b) 26 de Junho, d) 29 de Junho, c) 2 de Julho, d) 3 de Julho, e) 4 de Julho, f) 5 de Julho, g) 6 de Junho, h) 7 de Junho, i) 10 de Julho, j) 13 de Julho. Espaçamento entre isolinhas é de 0.5°C. As batimétricas utilizadas são, da costa para o largo, 30m, 50m, 100m, 500m, 1000m. ....34*
- Figura 25 – Perfis horizontais de salinidade do modelo, à superfície, dos dias: a) 15 de Junho, b) 26 de Junho, d) 29 de Junho, c) 2 de Julho, d) 3 de Julho, e) 4 de Julho, f) 5 de Julho, g) 6 de Junho, h) 7 de Junho, i) 10 de Julho, j) 13 de Julho. Espaçamento entre isolinhas é de 0.05. As batimétricas utilizadas são, da costa para o largo, 30m, 50m, 100m, 500m, 1000m. ....35*
- Figura 26 – Imagens de satélite de temperatura superficial (SST) nos dias: a) 15 de Junho (12h), b) 26 de Junho (10h), d) 29 de Junho (10h), c) 2 de Julho (10h), d) 4 de Julho (10h), e) 5 de Julho (02h), f) 6 de Junho (02h), g) 7 de Junho (02h), h) 10 de Julho (02h), i) 13 de Julho (20h). As batimétricas utilizadas são, da costa para o largo, 30m, 50m, 100m, 500m, 1000m. Escala de cores de 14°C a 20°C. ....37*
- Figura 27 – Imagens de satélite da concentração de clorofila<sub>a</sub> [Chl<sub>a</sub>] dos dias: a) 28 de Junho, b) 4 de Julho, c) 5 de Julho, d) 8 de Julho. ....38*

## **Lista de Símbolos**

*P.I – Península Ibérica*

*WIBP - Western Iberian Buoyant Plume*

*N.I.Tellina – Navio de Investigação Tellina*

*N.I.Noruega – Navio de Investigação Noruega*

*IPIMAR – Instituto Português de Pescas e do Mar*

*INRB – Instituto Nacional de Recursos Biológicos*

*NCEP2 – National Centers for Environmental Prediction*

*CTD – Conductivity, Temperature and Depth*

*ROMS – Regional Oceanic Modelling System*

*NN1 –Noruega Norte 1ª cobertura*

*NC1 – Noruega Centro 1ª cobertura*

*NS1 – Noruega Sul 1ª cobertura*

*NN2 – Noruega Norte 2ª cobertura*

*NC2 – Noruega Centro 2ª cobertura*

*NS2 – Noruega Sul 2ª cobertura*

*T3 – Tellina dia 3*

*T4 – Tellina dia 4*

*TN5 – Tellina Norte dia 5*

*TS5 – Tellina Sul dia 5*

*LD – Large Domain*

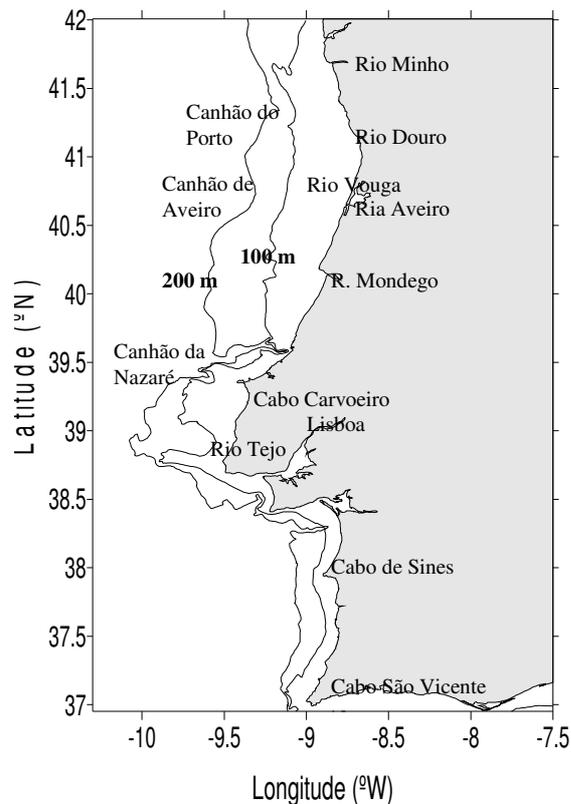
*SD – Short Domain*

*FD – First Domain*



## 1. Introdução

A circulação na Costa Oeste da Península Ibérica (P.I.) é caracterizada por um sistema complexo de correntes, submetido a uma forte sazonalidade e variabilidade de mesoescala. Os ventos predominantemente para o Equador observados no verão, na costa Oeste Ibérica, levam a um transporte de Ekman para o largo e estão na origem do afloramento de águas sub-superficiais, frias e ricas em nutrientes ao longo da costa (ver revisão de Relvas et al., 2007).



**Figura 1** – Geografia da Costa Oeste Portuguesa, mostrando os principais cabos, canhões e rios da região, alguns deles referidos no texto.

Durante o Inverno, ventos fracos de Norte, intercalados ocasionalmente por ventos fortes de componente Sul, favorecem a convergência costeira. Durante esta estação, caracterizada pela quase ausência de afloramento costeiro, a circulação superficial na costa Oeste da P.I. é predominantemente para Norte. Esta circulação é parcialmente forçada pelos gradientes meridionais de densidade e está caracterizada por uma língua de água mais quente e salgada em direcção aos pólos, característica do declive superior e no bordo da plataforma. (Peliz et al., 2003).

Quando os ventos em direcção ao Equador começam a prevalecer (Abril/Maio), uma banda estreita de águas frias, com uma largura relativamente uniforme é observada ao longo da costa Oeste da Península Ibérica, orientada na direcção N-S. Perturbações de pequena escala (20-30 Km) e de escalas maiores (70-100 Km) são normalmente observadas ao longo da frente térmica. Estas perturbações são associadas a processos de instabilidade do jacto associado ao afloramento e surgem aproximadamente várias semanas após o início de ventos favoráveis ao afloramento, dando lugar a estruturas em forma de filamentos que se começam a desenvolver. Estas estruturas apresentam correntes para fora, no seu flanco Norte, que chegam aos  $0,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , com retorno para a costa, pelo flanco Sul, levando à imagem mais comum, denominada de afloramento bem desenvolvido, onde vários (tipicamente 4-5) filamentos de água fria são vistos em simultâneo, com extensões para fora da costa da ordem dos 150 Km até 200 Km. (Relvas et al., 2007).

Janowitz e Pietrafesa em 1980, explicaram o afloramento costeiro induzido pelo vento, através de um modelo de circulação. Este modelo aplica-se à Costa Portuguesa, na presença de ventos de Norte ou ventos de Sul. Em especial no Verão, devido à tensão do vento para sul, surge um fluxo na camada de Ekman superior para fora da costa. Para compensar este transporte, há um fluxo para a costa no interior, denominada de corrente de compensação  $u$ . Esta corrente é deflectida para a direita pelo efeito de Coriolis, levando ao aparecimento de uma corrente longitudinal para sul. Associada a esta corrente longitudinal, surge uma camada limite de fundo, que transporta massa para a costa. O transporte na camada de fundo permite que a corrente de compensação  $u$  diminua em magnitude, tendendo para zero quando o tempo tende para infinito, o que implica que quase todo o transporte de água para a costa seja feito pela camada limite de fundo. A corrente de compensação  $u$  aumenta quando a profundidade diminui, isto é, junto à costa,  $u$  é mais intensa porque a mesma corrente (mesma quantidade de água) está distribuída por uma profundidade menor, supondo o tempo sempre constante. Esta água da camada de Ekman de fundo vai ocupar a camada superficial, pelo que surgem velocidades verticais positivas. Estas velocidades são mais significativas junto à costa, uma vez que é na costa que há divergência do escoamento na camada superficial de Ekman.

Na Costa Oeste da Península Ibérica há várias características topográficas, consistentes em canhões e promontórios que influenciam a circulação. Na região de Aveiro, a região em estudo, a característica topográfica mais relevante é o canhão de Aveiro. A região a Norte



de Aveiro é conhecida por ser um local de grande actividade de filamentos (Haynes et al., 1993; Peliz et al., 2003).

As condições oceanográficas na plataforma interior dependem basicamente dos ventos. Ventos de Norte favorecem o afloramento costeiro e as águas frias e ricas em nutrientes ascendem à superfície, junto à costa, deslocando-se para fora da costa, enquanto os ventos de Norte não cessam. Associado a esta frente de afloramento e em equilíbrio geostrófico através do vento térmico, um jacto de corrente para Sul estabelece-se. A velocidade e a largura do jacto dependem da duração e da intensidade dos ventos de Norte. Com a intensificação do vento de Norte, o jacto pode expandir-se pelo declive superior e eventualmente mais para o largo. Os ventos de Sul favorecem a situação oposta, a água do largo é trazida para a costa. Vários estudos relativos a estes ventos mostraram a existência de uma contracorrente para o pólo, no declive superior. A alternância entre pulsos de ventos de Sul e ventos de Norte, muda as condições de afloramento para convergência costeira, e a corrente para o pólo identificada no interior da costa advecta águas quentes para Norte. A termoclina e a nutriclina estão dentro da camada fótica superficial (Sordo et al., 2001).

Resultados recentes avivaram a importância da estrutura espacial e temporal do afloramento para compreender os níveis elevados de produtividade de sistemas de afloramento costeiro (Oliveira et al., 2009). Flutuações temporais, fornecidas por pulsos alternados de afloramento e relaxamento, e estruturas espaciais fornecidas pelo alternar entre afloramento nos promontórios e retenção nas baías, favorecem a distribuição de nutrientes em condições de pouca turbulência. O transporte induzido pelo vento tem três papéis fundamentais na produtividade primária: provimento de nutrientes para a zona fótica; controlo de luz na mistura vertical dos produtores primários; e exportação para fora da costa de plâncton superficial. No entanto, enquanto o primeiro processo provoca uma resposta biológica positiva, os restantes têm uma resposta negativa ao aumento do vento. Durante o afloramento, as águas profundas e ricas em nutrientes, com algas armazenadas, ao longo da plataforma, ascendem à superfície. Estas novas águas afloradas são caracterizadas por baixa concentração de clorofila, muitos nutrientes, baixas temperaturas e os processos são mínimos. À medida que esta água é trazida para a zona fótica, as algas respondem à luz da superfície e aos nutrientes, iniciando a fotossíntese (Largier et al., 2006).

Do ponto de vista hidrológico, a região exterior próxima de Aveiro, está sob a influência de quatro rios: Minho e Douro a Norte, Mondego a Sul e localmente o rio Vouga. A descarga dos rios está sobretudo dependente da precipitação e da abertura das barragens sobretudo do rio Douro e Minho, e, portanto, é mais intensa no Inverno, apesar de estar presente todo o ano. O efeito da descarga dos rios é a geração de uma lente de água mais doce, denominada de “Western Iberian Buoyant Plume” (WIBP). A WIBP é uma lente de água de baixa salinidade ( $< 35.5$ ) alimentada pela intensificação invernal das descargas de vários rios da costa NW da Península Ibérica, que em condições inverniais típicas (i.e, sem afloramento costeiro) se circunscreve à zona da plataforma junto à costa, intensificada a norte da foz do rio Mondego (Peliz et al., 2002).

Em situações de afloramento costeiro, a WIBP pode estender-se para além dos limites da plataforma sob a forma de uma camada pouco espessa da ordem dos 20-40 m de profundidade, sobrepondo-se às correntes da plataforma e vertente, cuja temperatura e salinidade são mais elevadas (Santos et al., 2004).



## 2. Objectivos do trabalho

O principal objectivo deste trabalho de mestrado é complementar o trabalho iniciado em 2008, aquando da conclusão da licenciatura em Meteorologia e Oceanografia Física, intitulado “Estudo dos campos de temperatura, salinidade e fluorescência na área junto a Aveiro durante uma situação de afloramento costeiro”. Este trabalho foi elaborado no âmbito da campanha oceanográfica (Neo-Mav), realizada pelo IPIMAR (Instituto Português das Pescas e do Mar), ao largo de Aveiro e consistiu num estudo, sobre as propriedades físicas da água do mar, desde a obtenção dos dados, até ao seu tratamento, levando a um trabalho com uma forte componente descritiva. Agora pretende-se fazer uma abordagem mais profunda dos dados da campanha, juntando os dados mais costeiros do N.I.Tellina, a modelação numérica, e mais observações de satélite, analisando assim as estruturas formadas e os fenómenos encontrados nos campos da temperatura, salinidade, velocidade da corrente e concentração de clorofila<sub>a</sub>.

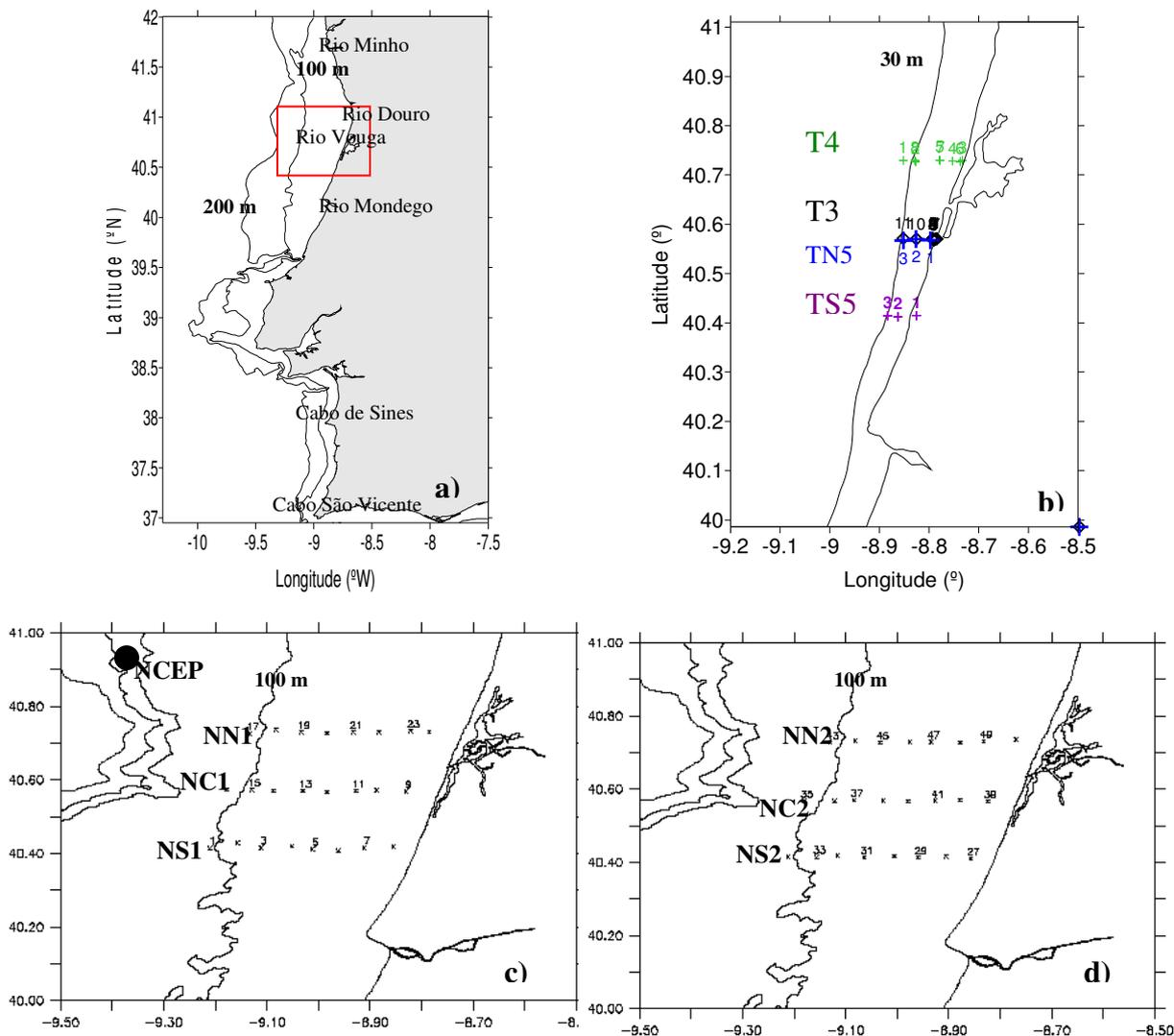
Assim, entre os objectivos principais, pretende-se:

- i) Contribuir para a compreensão do fenómeno de afloramento na região da plataforma interior, ao largo de Aveiro;
- ii) Perceber as respostas rápidas do sistema oceânico aos forçamentos principais: ventos e rios (Douro e Vouga). Em particular perceber o aparecimento de correntes na plataforma interior (em direcção a Norte) em resposta ao relaxamento do sistema de vento em direcção ao Equador.
- iii) Estudar a inter-relação entre a modelação e as observações como métodos para a compreensão dos fenómenos acima mencionados.
- iv) Relacionar os padrões e as estruturas encontradas na temperatura, salinidade e nas correntes, com as estruturas, localização e concentração da clorofila<sub>a</sub>.

Como objectivos pessoais, pretende-se, como já foi dito, aprofundar o trabalho de conclusão da licenciatura. Aprofundar e consolidar os conhecimentos em oceanografia física e dinâmica, sobretudo na plataforma interior junto a Aveiro, que é uma zona ainda relativamente pouco estudada. Contribuir assim para o desenvolvimento da ciência, em particular da ciência dos Oceanos, tão susceptível a variações temporais, meteorológicas, rios, etc.

### 3. Descrição da área de estudo e o método experimental

#### 3.1. Campanha Oceanográfica



**Figura 2** – a) Região de Portugal Continental e a vermelho a região em estudo; grelha das estações de: b) N.I.Tellina; N.I.Noruega: c) do primeiro período da campanha e d) segundo período da campanha. NN1- radial Norte do primeiro período para o N.I.Noruega, NC1- radial central do primeiro período para o N.I.Noruega, NS1- radial Sul do primeiro período para o N.I.Noruega, o mesmo critério é aplicado para o segundo período. T3 e T4- Radial do N.I. Tellina para o dia 3 e 4 respectivamente. TN5 e TS5- radial Norte e Sul, respectivamente, do N.I.Tellina para o dia 5. Na figura 1a) o ponto NCEP corresponde ao local onde foi extraída a série de ventos.



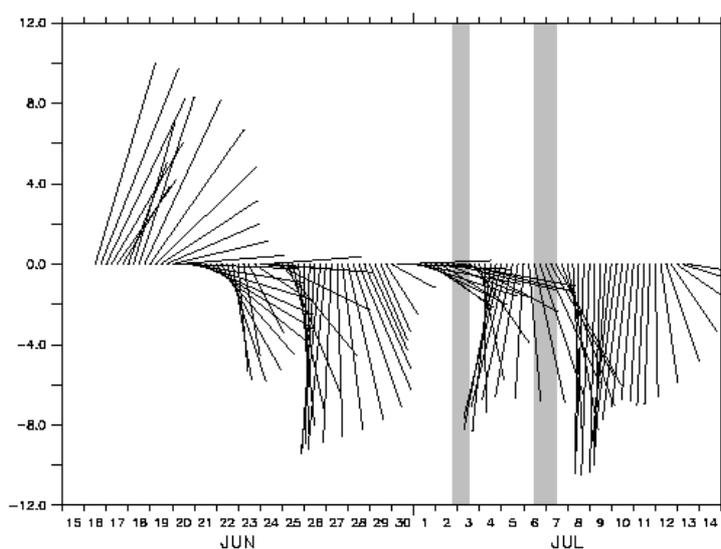
Este trabalho surge no âmbito da campanha oceanográfica (Neo-Mav), realizada pelo IPIMAR (Instituto Português das Pescas e do Mar), na região ao largo de Aveiro, a bordo dos navios de investigação N.I.Noruega e N.I.Tellina entre os dias 2-7 de Julho de 2007.

Durante a campanha foram realizadas diversas amostragens (informação não mostrada neste trabalho) que incluíram rastreio hidrológico com recurso a dois perfiladores de temperatura, salinidade e fluorescência. No N.I.Noruega foi utilizada uma sonda SeaBird 9 plus e no N.I.Tellina uma sonda FSI 3MCTD.

A amostragem foi efectuada, no N.I. Noruega ocupando uma grelha de 24 estações, ao longo de 3 radiais perpendiculares à costa, entre os 15 e os 100 m de profundidade (figura 2c) e 2d)), em duas ocasiões (dias 2, 3 e 6,7 Julho), respectivamente. A primeira radial (NS1, de Noruega Sul, cobertura 1), perto dos 40,4°N, a segunda radial (NC1, de Noruega Centro, cobertura 1) perto dos 40,6°N e a terceira radial (NN1, de Noruega Norte, cobertura 1) um pouco abaixo dos 40,8°N. Cada radial é constituída por 8 estações diferentes. No N.I. Tellina, os perfis foram obtidos sobre as mesmas radiais mas na zona mais costeira, entre os 10-30 m de profundidade (Figura 2b)) e consistem numa radial por dia (T3, de Tellina 3 de Julho aos 40,5°N) e (T4, de Tellina 4 de Julho aos 40,7°N), com excepção do dia 5, que se puderam extrair duas radiais em localizações diferentes (TN5, de Tellina Norte 5 de Julho aos 40,5°N e TS5, de Tellina Sul 5 de Julho aos 40,4°N).

### 3.2. Enquadramento Meteorológico

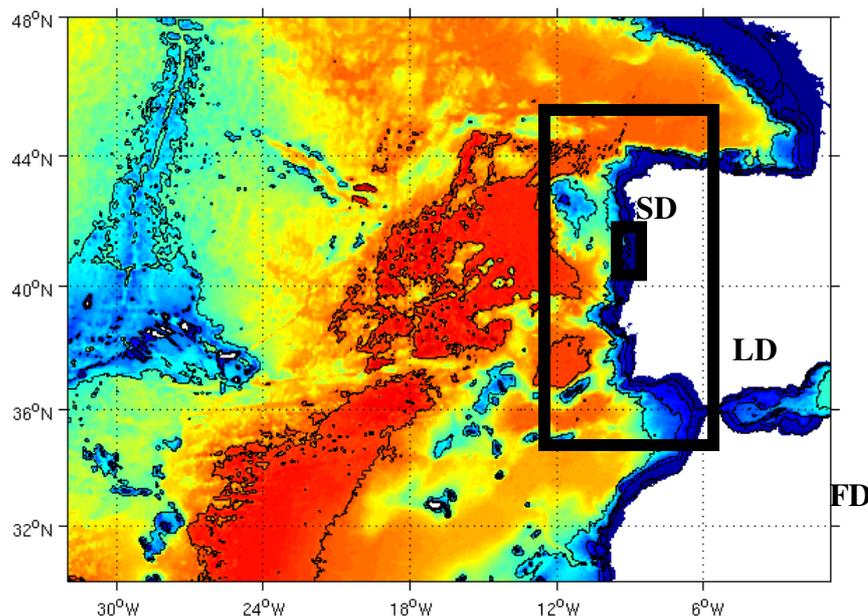
No ponto (9,375°W e 40,95°N) da fig. 2c) foi extraída de 6 em 6 horas, da base de dados do NCEP os dados relativos à intensidade e direcção do vento entre 15 de Junho e 15 de Julho de 2007. Aquando da campanha, ocorreram dois ciclos de intensificação e relaxamento de ventos favoráveis ao afloramento, no final de Junho e princípio de Julho de 2007, dentro de um regime de ventos de Norte, típicos de Verão (Fig. 3). A partir do dia 25 de Junho, começam a soprar ventos fortes de Norte, favoráveis ao aparecimento de um pulso de afloramento. Este evento dura até ao dia 30, condicionando a circulação no dia anterior à campanha, dia em que os ventos mudam para um regime de componente Oeste até ao dia 4 de Julho, em que um segundo pulso de vento de afloramento se desenvolve. A primeira cobertura foi efectuada entre os dias 2 e 3 de Julho (relaxamento). A intensidade da componente Norte do vento intensificou-se novamente entre os dias 4 a 8 de Julho com velocidades a rondar os 7 m /s, altura em que foi efectuada a segunda cobertura (6 e 7 de Julho). As duas coberturas do N.I. Noruega foram efectuadas em dois regimes de ventos distintos. A primeira cobertura numa situação de vento reduzido e a segunda cobertura numa situação de nortada intensa, tal como se ilustra na figura 3 (sombreado), enquanto que as observações do N.I.Tellina foram efectuadas entre esses dias.



**Figura 3** – Intensidade da velocidade do vento desde 15/06/07 até 14/07/07. A sombreado está marcado o período correspondente às duas coberturas.

#### 4. Modelação Numérica

Para compreender e fundamentar os resultados obtidos com os dados da campanha, procedeu-se à utilização dos resultados do modelo numérico do oceano ROMS (Regional Oceanic Modelling System). O ROMS é um modelo tridimensional de equações primitivas, em coordenadas sigma, de superfície livre 3D e com aproximações hidrostáticas e de Boussinesq (Peliz et al., 2007; Oliveira et al., 2009).



**Figura 4** – Configuração dos domínios para o modelo numérico ROMS. FD – First domain; LD – Large domain; SD – Short domain

A configuração LD, consiste no sistema do modelo ROMS-AGRIF, representando uma extensão da configuração usada por Peliz et al., 2007, para a Costa Oeste da Península Ibérica, incluindo o Golfo de Cádiz de 34,5°N até 45,5°N e desde 12,5°W até 5,5°W, com 60 níveis verticais nos anos 2001 até 2009. Os limites da configuração mais pequena (SD), usada no presente trabalho, são os seguintes: desde 32,0°N até 41,9°N e desde 10,5°W até 8,5°W. Nesta configuração SD, foram impostos os forçamentos dos rios: Cávado, Lima, Vouga, Mondego, Douro e Minho, sendo que destes dois últimos foram usados dados reais e dos restantes foram usados dados climatológicos. Esta configuração foi preparada e corrida pela Doutora Rita Nolasco (CESAM), no âmbito do projecto CONNECT (TDC/BIA/BDE/65425/2006) e ISCAD (PTDC/MAR/65760/2006).

Aninhada à configuração LD dispõe-se de outro domínio (ver caixa pequena (SD) da fig.4), alimentado pelo domínio LD, com 900m de resolução e passo temporal de 60 segundos, corrido de 1 de Maio até 15 de Julho de 2007. As condições fronteira para o domínio pequeno (SD) são extraídas do domínio grande (LD fig.4), que por sua vez é alimentado pelo domínio maior (FD fig.4). As condições iniciais do domínio maior (FD) consistem na climatologia mensal (Levitus, 1994), e as condições fronteira de acordo com a metodologia de Marchesiello et al., (2001). O forçamento de superfície usado (ventos e fluxos de calor) consiste no forçamento NCEP2 para os fluxos e o vento dado pelo sensor Quikscat a bordo do satélite (Advanced Earth Observing Satellite, da Agência Espacial Japonesa). Este sensor foi desenhado por investigadores do J.P.L. e da NASA.

A partir dos dados simulados e com recurso a ferramentas associadas foram extraídos os dados apresentados neste trabalho. Essa informação consistiu em cortes verticais ao longo de uma latitude constante de T, S, V, com cortes a profundidades constantes das mesmas variáveis para o estudo.

## **5. Resultados**

Os resultados que se seguem dizem respeito às distribuições verticais e horizontais dos dados recolhidos a bordo do N.I.Noruega e N.I.Tellina, os resultados obtidos através do modelo numérico e as imagens dos satélites para SST e concentração de Clorofila<sub>a</sub> ou [Chl<sub>a</sub>]. Em primeiro lugar faz-se uma análise das distribuições verticais das secções e em seguida uma análise das distribuições horizontais à superfície.

### *5.1. Apresentação dos Resultados*

Como já foi referido, no período de tempo de 15 Junho a 15 Julho, ocorreram dois ciclos de intensificação/relaxamento de ventos favoráveis ao afloramento (fig.3), durante os quais foi efectuada a campanha em estudo (NeoMav).



No dia 15 de Junho, perante um regime de ventos de Sul (fig.3), observa-se, através dos resultados obtidos pelo modelo (fig.11), água quente na região costeira e uma forte convergência e afundamento das isolinhas. A corrente é para Norte, com velocidade máxima do jacto de aproximadamente 0,2m/s, em equilíbrio com o vento térmico. Nos mapas horizontais do modelo e do satélite, (fig.24a) e 26a)), respectivamente, observa-se uma banda de água mais quente junto à costa, dentro da batimétrica dos 30m. A salinidade (fig.25a) mostra uma língua de água menos salina, com origem provável no escoamento do rio Vouga, que é advectada para Norte, na região costeira na isobata dos 10m. Entre a batimétrica dos 30m e dos 50m é visível outra pluma, desta vez com origem provável no rio Douro.

No dia 20 de Junho, há uma mudança no regime de ventos (fig.3), passando para ventos predominantemente de Norte, favoráveis ao afloramento e que se prolongam até ao dia 30 de Junho.

Observa-se pelo modelo, no dia 26 de Junho (fig.12), que perto dos 8,9°W há uma zona de água mais fria, com deflexão das isolinhas para cima, indicando o início do afloramento. Pelos mapas superficiais (fig.24 b)), observa-se que este afloramento se inicia perto da batimétrica dos 30m, estendendo-se posteriormente para o largo, com o máximo de afloramento nos dias 28/29 de Junho, deixando no entanto, uma fina banda mais quente, junto à costa. Esta banda de água mais quente junto à costa, não é observada nos dados de satélite (fig.26 b)), de notar que o modelo tem um 1°C abaixo do satélite. Observa-se que a corrente é para Sul, com excepção de um núcleo aos 9,1°W, que tem direcção para Norte, devido ao afundamento das isolinhas mais ao largo. No dia 29 de Junho (fig.13) e (fig. 24 c)), dia em que o pulso de afloramento se encontra bem desenvolvido e já perto do seu final, o afloramento processa-se praticamente por toda a secção, e portanto, observam-se águas frias em toda a região, desde a costa até aos 100m. Associada a este afloramento surge uma corrente de componente Sul (fig. 13), que se corresponde com o jacto de afloramento, com velocidade máxima da ordem dos 0,25 m/s.

Este evento de afloramento dura até ao dia 30 de Junho e condiciona a circulação no dia anterior ao início da campanha (1 de Julho), dia em que os ventos mudam para um regime de componente principalmente de Oeste, até ao dia 4 de Julho. Neste período de tempo observa-se um relaxamento, consequência da diminuição dos ventos de Norte.

O relaxamento provoca um incremento de temperatura para as águas recentemente afloradas, ficando uma região fria na plataforma, no meio de duas regiões mais quentes, na costa e no largo (fig. 14).

Como consequência do relaxamento dos ventos de Norte (fig.3), no dia 2 de Julho (início da campanha, primeira cobertura), a temperatura modelada aumenta (fig. 14), ficando no entanto, uma região centrada em 9°W (latitude de Aveiro) com evidência de água mais fria. Pela observação das imagens superficiais do modelo (fig.24 d) e e)), verifica-se que esta água mais fria corresponde aos restos do afloramento anterior. As secções verticais do N.I.Noruega (fig.5), para este dia, mostram o relaxamento, sendo visível pelas isotermas quase planas, com alguma evidência de água fria na latitude de 8.9° na secção Norte (NN1) estendendo-se até à costa nas secções mais a Sul. O relaxamento aparece perturbado por oscilações no campo da temperatura (NC1), devido a actividade de maré interna. Há uma forte termoclina de aproximadamente 3°C em 25 m e uma fraca haloclina de aproximadamente 0,25, o que indica que a densidade é controlada pelo campo da temperatura. No modelo, esta banda de água fria remanescente do afloramento, permanece um pouco mais ao largo, tendo na zona costeira (fig.24 d) e e)) águas mais quentes, que provavelmente não é bem amostrada no N.I.Noruega, pois acaba na isobata dos 20-25m. Parece haver evidências desta banda muito costeira de água mais quente perto da costa, nas imagens de satélite do dia 2 de Julho às 10h (fig.26 d)). Na figura 14, observam-se dois núcleos de corrente para Norte e no meio (entre os 50 e os 100m), corrente para Sul.

Sendo assim, desde o dia 4 de Julho que estamos perante um regime de ventos predominantemente de Norte, o que implica o início de um novo ciclo de afloramento costeiro que se observa nas secções do Tellina (fig. 9 a)) para o dia 4 de Julho e (fig.10 a)) para o dia 5 de Julho. No dia 5 de Julho (fig. 24 g)), com o início de uma segunda intensificação do vento de Norte, observa-se que no interior da batimétrica dos 30m, começa a surgir uma banda fina de água mais fria. Este afloramento surge acompanhado de uma certa convergência e afundamento da isopícnicas na zona costeira (fig. 8) entre a isobata dos 20m e a costa, também observada no modelo (fig. 16), provavelmente associada à componente Oeste dos ventos observadas nos dias anteriores. Observando os resultados do modelo do dia 5 de Julho (fig.17 e fig.24g)), verifica-se que de facto o



afloramento, no modelo, acontece, da batimétrica dos 30m, para o largo. Nos dados de satélite (fig. 26 f)), isto não se verifica.

O campo de velocidade  $v$  é novamente em direcção a Sul, com velocidades da ordem de grandeza de 0.2 m/s (fig.17).

No que respeita ao campo de salinidades, nos dados do N.I.Noruega (fig.5 secção NS1) observa-se a formação de uma pluma de água menos salina no dia 2 de Julho, de forma similar ao modelo. Nos dados do N.I.Tellina também se observa uma lente de água menos salina no dia 3 (fig.7 b)) e no dia 4 (fig.8 b)).

O dia 6 de Julho corresponde ao início da segunda cobertura, coincidente com a intensificação da nortada e, tem, no geral, águas mais frias e menos salinas à superfície do que a primeira, uma vez que estamos em regime de afloramento. Nos dados observados (fig.6), a temperatura máxima é de 17,5°C e observa-se junto à costa, uma pequena deflexão das isolinhas em direcção à superfície. A camada de mistura e a termoclina são mais pequenas na secção NS2 e maiores nas secções seguintes. Na secção NN2 é de notar, perto dos 8,832°W, uma separação feita por água mais fria 0,5°C, do que nas estações vizinhas, padrão que já havia sido encontrado anteriormente e que nos indica que o afloramento ocorreu um pouco longe da costa. O afloramento no dia 6-7 de Julho, tal como se vê na imagem de satélite (fig.26 g) e h)) e do modelo (fig.24 h) e i)) é mais intenso a Norte do que a Sul, o que acontece frequentemente. Este fenómeno está provavelmente associado ao facto do vento ter componente NW, sendo que a orientação da costa é mais favorável ao aparecimento do afloramento a Norte de Aveiro.

Nos dados observados da salinidade (fig.6 NN2 e NC2), aparece uma lente de água menos salina por volta dos 9,03°W, com valores abaixo dos 35,3, que já tinha sido encontrada na primeira cobertura, embora não tão visível. Esta lente de água menos salgada tem a sua origem no escoamento do rio Douro, tal como se vê, pela análise das imagens superficiais da figura 25 do modelo. Esta lente é advectada para sul pelo jacto associado ao afloramento costeiro, ao mesmo tempo que é advectada para o largo pela camada de Ekman superficial.

Desde o final da segunda cobertura até ao dia 13 de Julho que se observa um afloramento intenso, entrando-se de seguida num novo relaxamento, como tal, observamos que no dia 10 de Julho (fig.20) o afloramento continua a ocorrer um pouco longe da costa, embora não se consiga obter esta percepção nas imagens de satélite (fig.25 j)). A corrente é

totalmente para Sul (fig.24 j)). No dia 13 de Julho, inicia-se uma fase de relaxamento, e como tal, na figura 25 l), não se observa a água fria junto da costa.

Fazendo uma comparação entre os mapas horizontais dos dados observados e os mapas horizontais do satélite e do modelo, verifica-se que, em relação à temperatura da primeira cobertura (fig.22 a)), aparece uma zona de água mais fria junto da costa sul, o que não se verifica nos mapas do modelo ou do satélite (fig.24 d) e fig.26 d)). Na segunda cobertura observa-se a zona mais fria junto a costa a Norte (fig.23 a)).

Relativamente à concentração de clorofila [ $Chl_a$ ], comparam-se os dados observados com imagens de satélite. Na primeira cobertura (fig.5), a [ $Chl_a$ ] é mais evidente na secção NS1, concentrando-se entre os 8,96°W e 8,85°W, desde a superfície até aos 30m, enquanto que na secção NC1 quase não se observa sinal, apenas junto à costa valores de 2 mg/m<sup>3</sup>, na secção NN1, o sinal da [ $Chl_a$ ] aparece em profundidade, ao longo da termoclina, com valores máximos de 5 mg/m<sup>3</sup>. Os dados mais costeiros de [ $Chl_a$ ], revelam valores elevados (talvez algo sobreestimados pelo efeito de matéria em suspensão), a rondar os 12 mg/m<sup>3</sup> (fig.9 d)), junto à costa e descendo em profundidade para sudoeste, não ultrapassando a faixa dos 15-20 m. Os mapas horizontais mostram que para a primeira cobertura (fig.22 d)) a [ $Chl_a$ ] aparece junto à costa, a Sul e na segunda cobertura (fig. 22 d)) aparece junto à costa, a Norte.

Na figura 27, temos representada a distribuição zonal da concentração de clorofila<sub>a</sub> à superfície, pelo satélite. No dia 28 de Junho, perante uma nortada intensa e pleno evento de afloramento, resulta uma pluma de [ $Chl_a$ ], afastada da costa, que se estende para o largo. No dia 4 de Julho, após a primeira cobertura do CTD e início da nortada, aparece uma banda fina de clorofila<sub>a</sub> ao longo da costa, devido aos nutrientes trazidos das águas de fundo, durante o afloramento. Na figura 7d) (3 de Julho) observa-se que a [ $Chl_a$ ] se encontra confinada abaixo da superfície, entre os 15-20m. Há um afundamento e possivelmente a [ $Chl_a$ ] aí existente seria do evento anterior, pois a distribuição da mesma relativamente à densidade, encontra-se na base da picnoclina, que é um local onde normalmente há bastante concentração, pois recebe os nutrientes e ainda tem luz suficiente.

Na imagem de satélite do dia 5 de Julho (fig. 27 c)) há um aumento da concentração de clorofila<sub>a</sub>, aumentando a banda para o largo, devido à intensificação da Nortada, a fotossíntese dá-se mais em superfície. Este aumento da concentração no dia 5 de Julho não é visto nos dados observados (fig. 9 d) e fig.10 d)), no entanto observa-se [ $Chl_a$ ] mais em

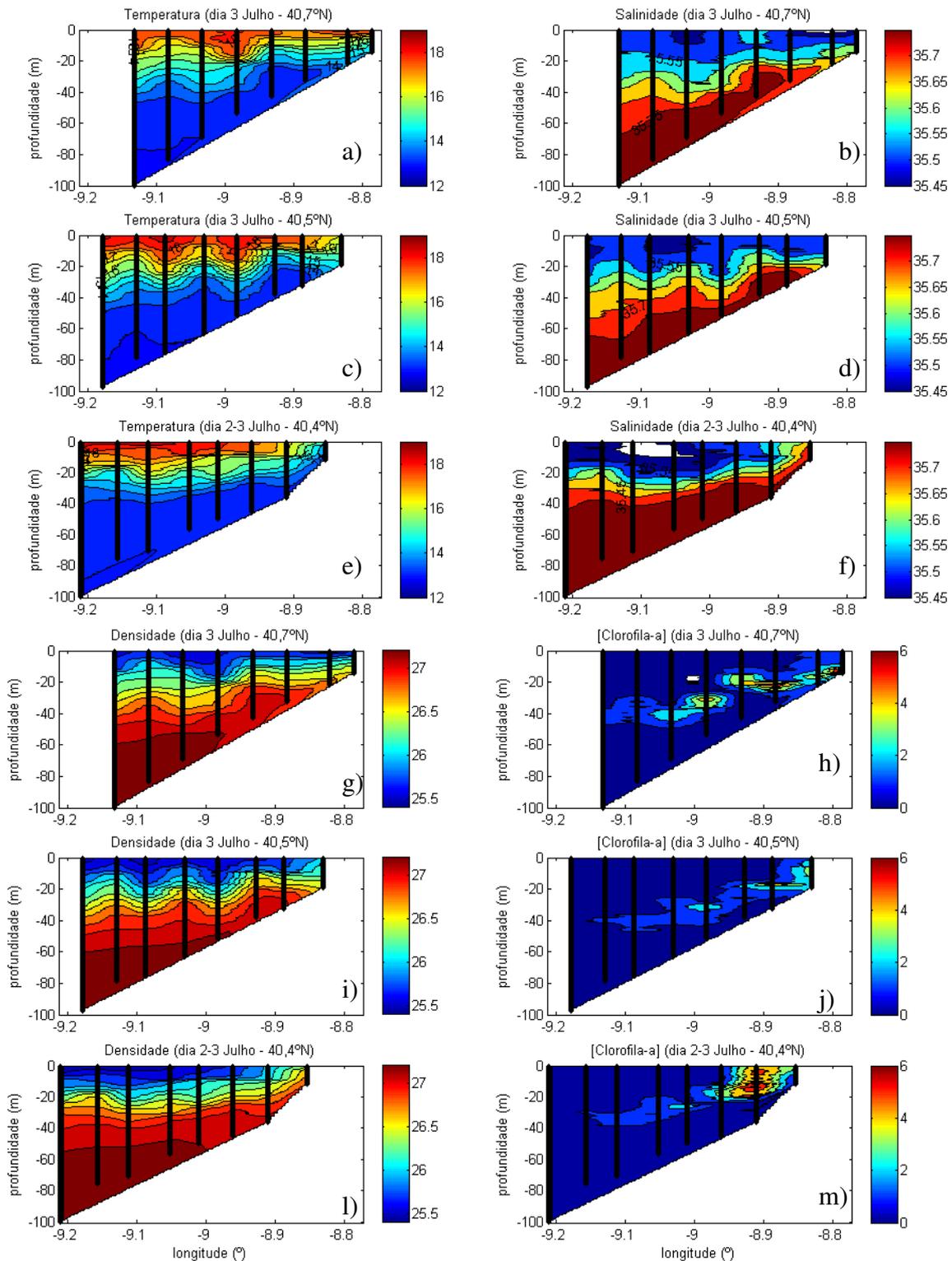


superfície. No dia 8 de Julho (fig.27 d)) há uma diminuição significativa da concentração de clorofila<sub>a</sub>, provavelmente porque há uma depleção de nutrientes na camada fótica, embora se possam também considerar outros factores para a diminuição da [Chl<sub>a</sub>] (ver discussão).

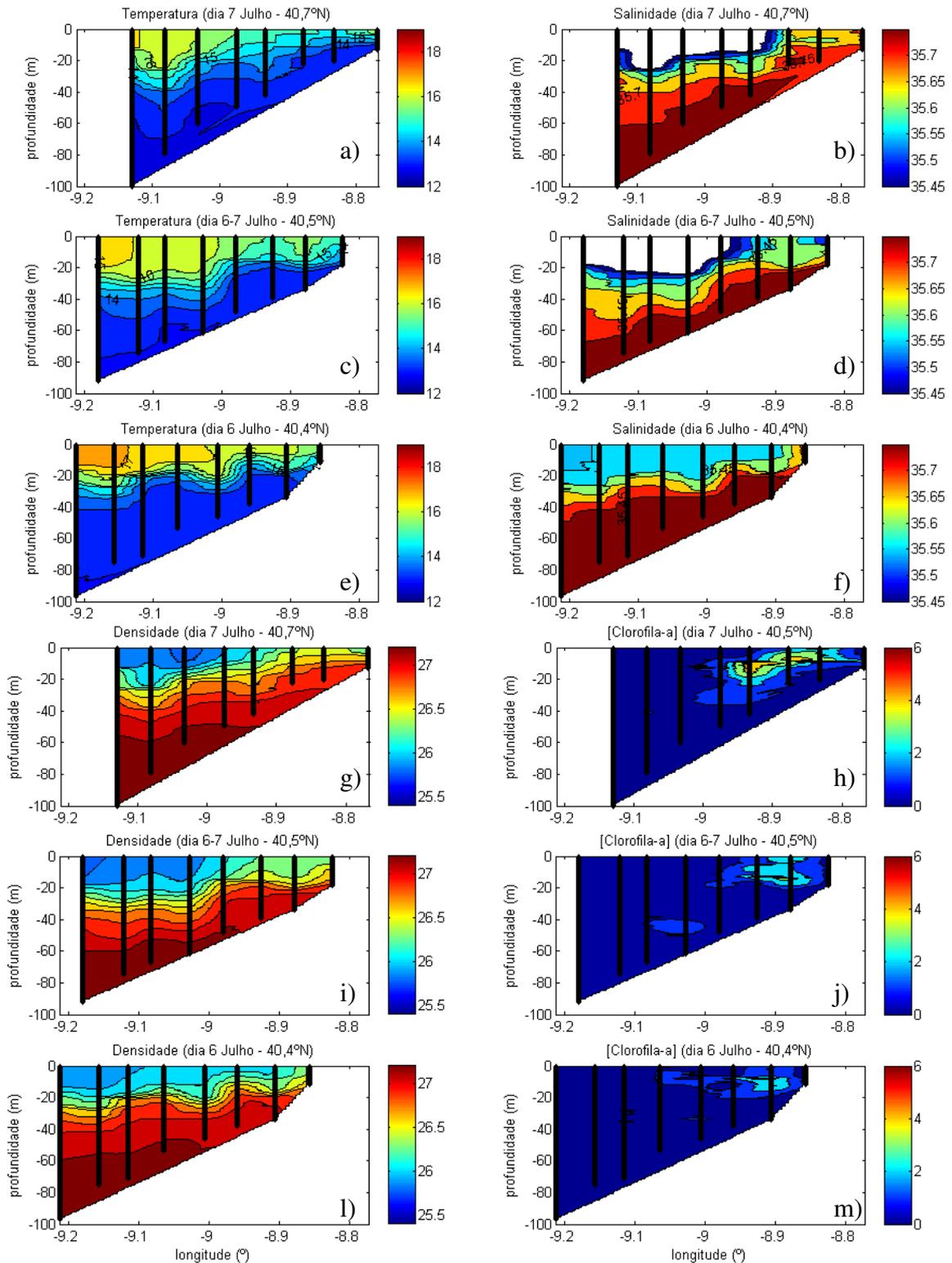
## *5.2. Distribuições verticais*

### *5.2.1 Distribuições verticais das observações*

As distribuições verticais do N.I Noruega e N.I.Tellina são agora apresentadas, sendo as primeiras relativas ao N.I.Noruega e distribuindo-se da seguinte forma: para as quatro grandezas em estudo (temperatura, salinidade, densidade e [Chl<sub>a</sub>]), apresentam-se primeiro, a temperatura com a salinidade e em seguida os perfis verticais da densidade e [Chl<sub>a</sub>]. Para os resultados do N.I.Tellina, são apresentadas em cada figura as distribuições por cada dia relativas às quatro grandezas em estudo desse dia.

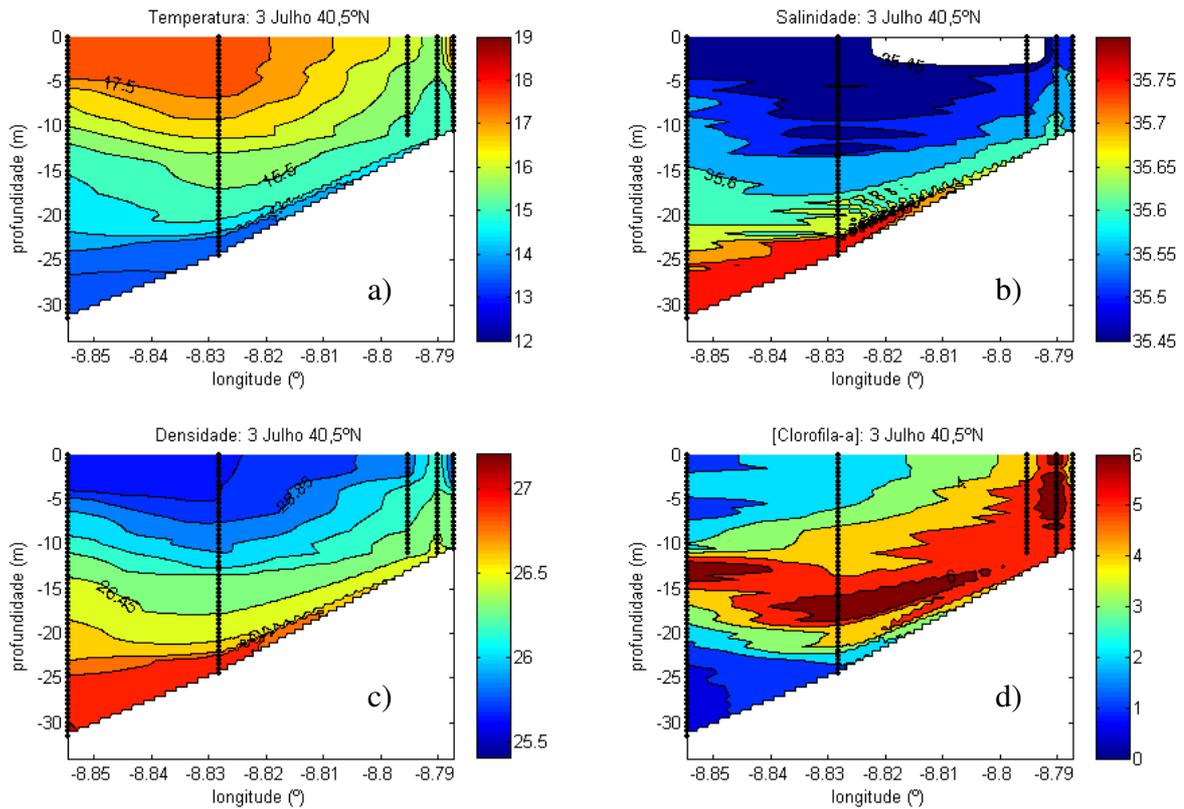


**Figura 5** – Perfis verticais dos dados observados do N.I. Noruega: a),c),e) Temperatura no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1), respectivamente; b),d),f) Salinidade no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1), respectivamente; g),i),l) Densidade no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1), respectivamente; h),j),m) [Chl<sub>a</sub>] no dia 2-3 de Julho aos 40.7°N (NN1), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS1). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.15 e 1 mg/m<sup>3</sup> e para T, S, D e [Chl<sub>a</sub>], respectivamente. Todas as secções se encontram a uma profundidade máxima de 100m. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45

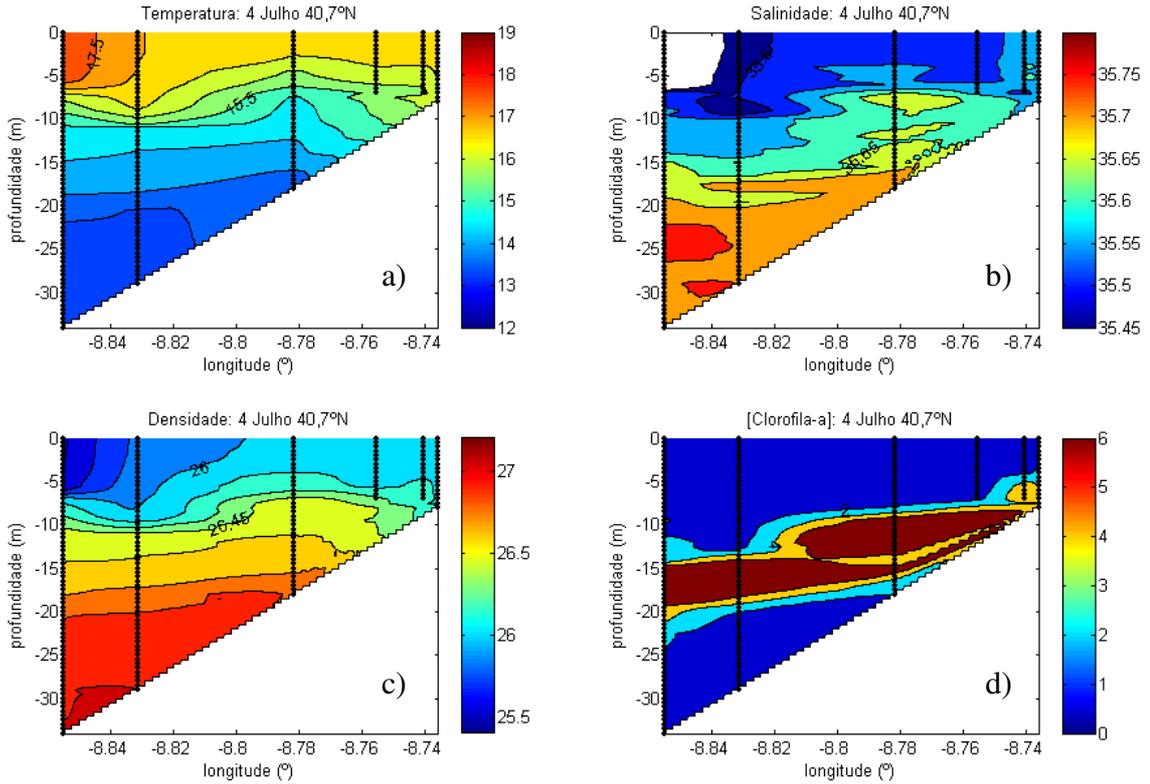


**Figura 6** – Perfis verticais dos dados observados do N.I. Noruega: a),c),e) Temperatura no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC2), 40.4°N (NS2), respectivamente; b),d),f) Salinidade no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC1), 40.4°N (NS2), respectivamente; g),i),l) Densidade no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC2), 40.4°N (NS2), respectivamente; h),j),m) [Chl<sub>a</sub>] no dia 6-7 de Julho aos 40.7°N (NN2), 40.5°N (NC2), 40.4°N (NS2). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.15 e 1 mg/m<sup>3</sup> e para T, S, D e [Chl<sub>a</sub>], respectivamente. Todas as secções se encontram a uma profundidade máxima de 100m. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45.

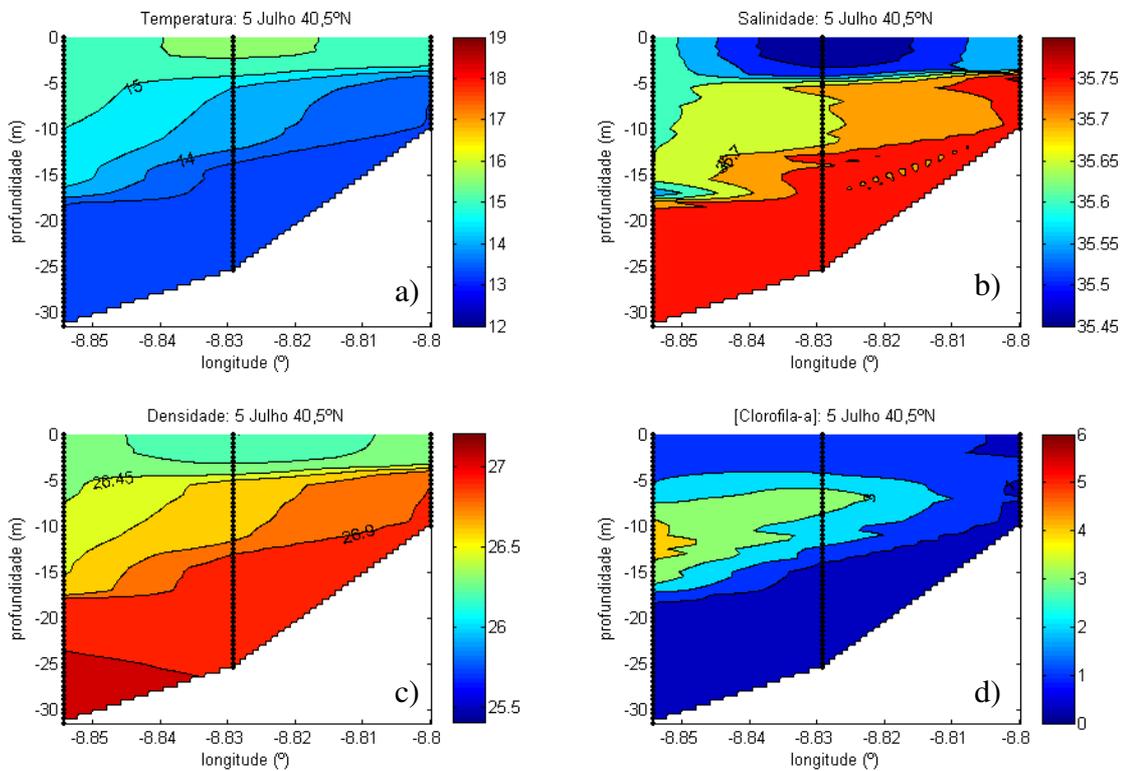
De seguida são apresentadas as distribuições verticais dos dados do N.I.Tellina, nos dias 3, 4 e 5 de Junho, sendo que para este último dia, há duas secções diferentes, uma mais a Norte (40.7°N) e outra mais a Sul (40,5°N). Em cada figura são mostradas as grandezas: temperatura, salinidade, densidade e [Chl<sub>a</sub>]. A profundidade é de aproximadamente 30 m e as grandezas variam entre os mesmos valores das distribuições aos 100m (fig.5 e fig.6).



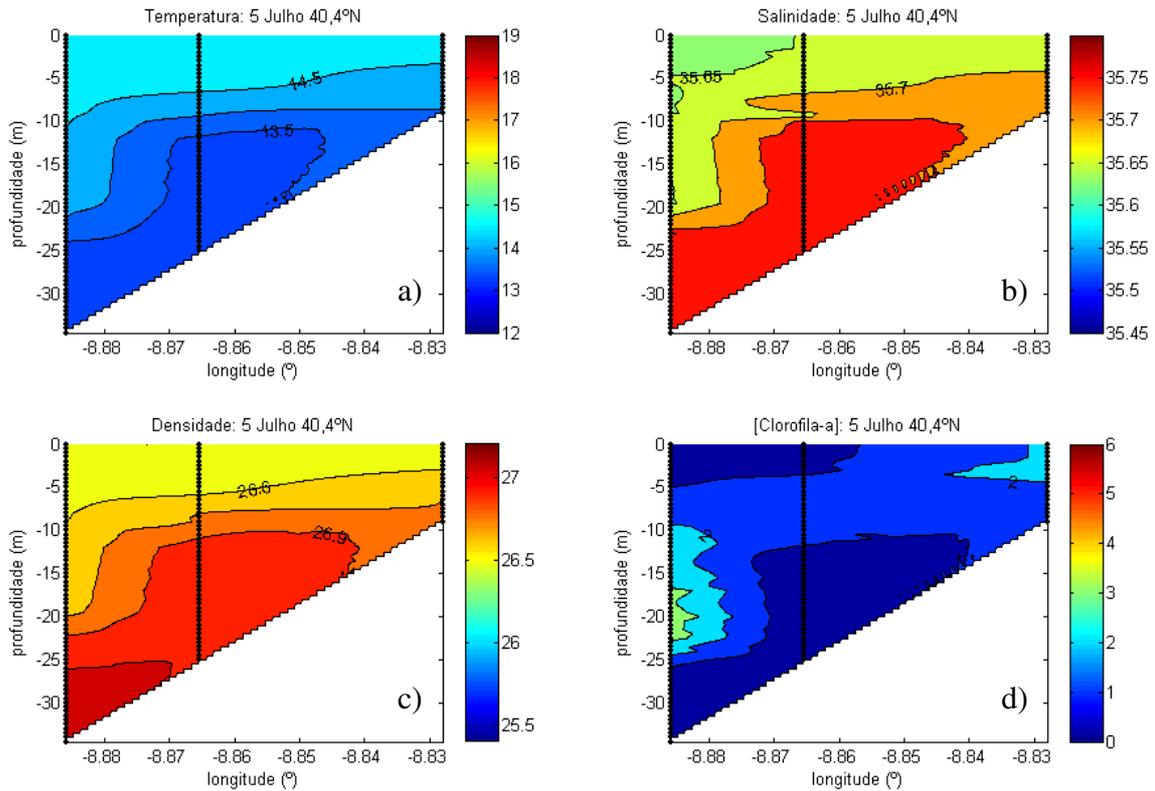
**Figura 7** – Perfis verticais referentes ao dia 3 de Julho (T3) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0.15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45.



**Figura 8** – Perfis verticais referentes ao dia 4 de Julho (T4) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d)  $[Chl_a]$ , com espaçamento entre isolinhas de  $0,5^\circ\text{C}$ ,  $0,05$ ,  $0,15$  e  $1\text{mg/m}^3$ , respectivamente. A zona branca corresponde a salinidades inferiores a 35.45.



**Figura 9** – Perfis verticais referentes ao dia 5 de Julho ( $40,5^\circ\text{N}$ ) (TN5) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d)  $[Chl_a]$ , com espaçamento entre isolinhas de  $0,5^\circ\text{C}$ ,  $0,05$ ,  $0,15$  e  $1\text{mg/m}^3$ , respectivamente.

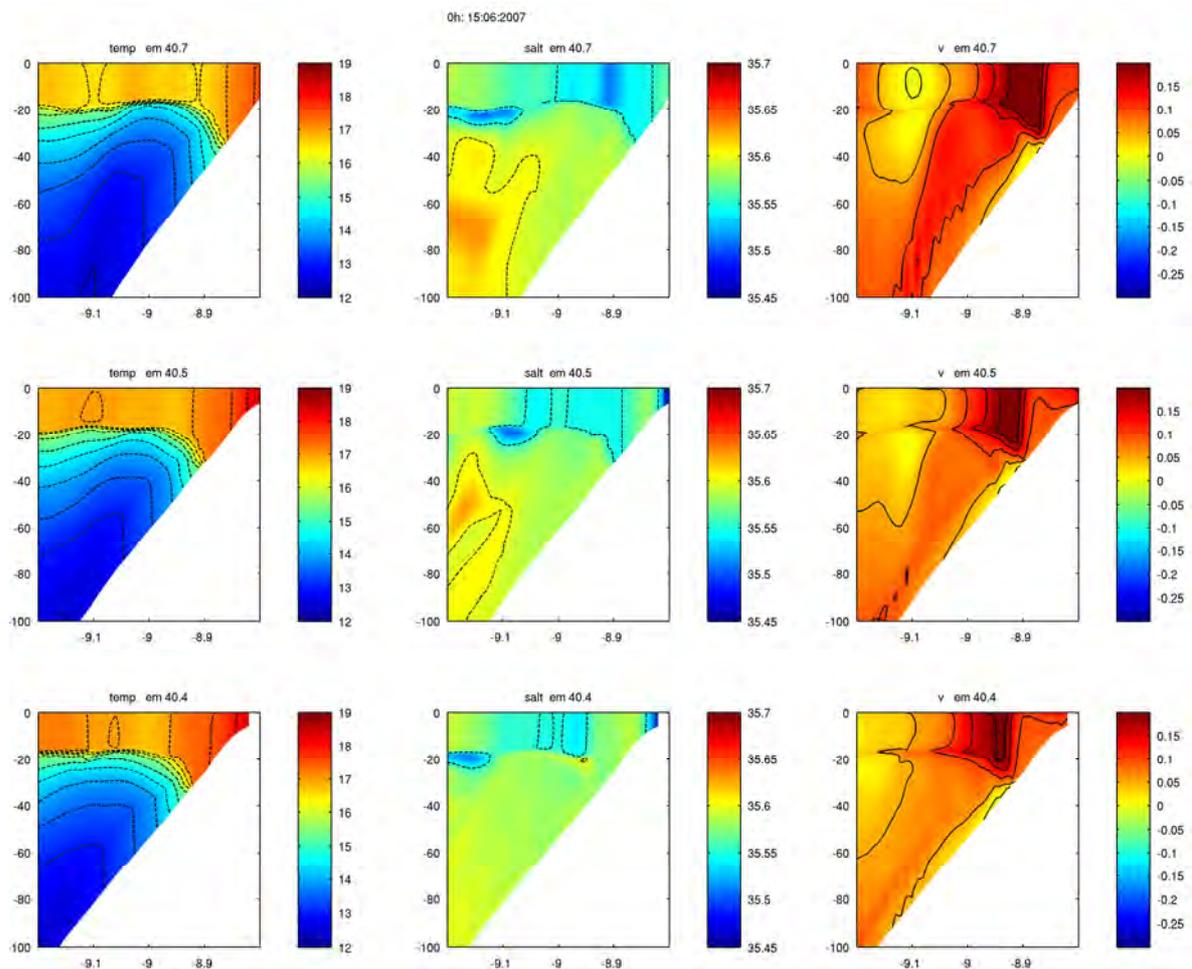


**Figura 10** – Perfis verticais referentes ao dia 5 de Julho (40,4°N) (TS5) dos dados do N.I.Tellina; a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05psu, 0.15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

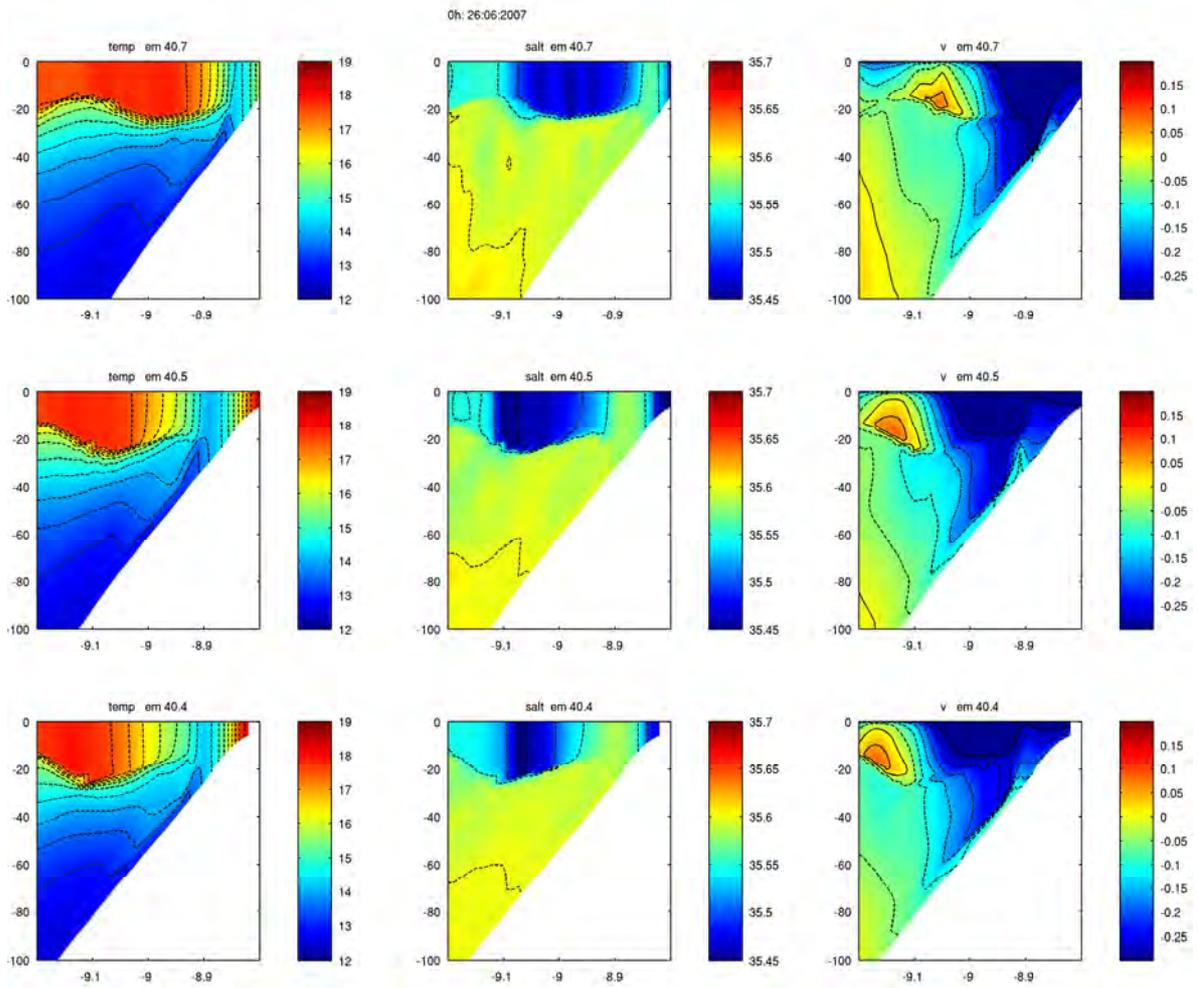
### 5.2.2. Distribuições verticais do modelo

Os resultados que se seguem dizem respeito às distribuições verticais, obtidas pelo modelo, para o seu domínio mais pequeno (SD). As grandezas em estudo são a temperatura, salinidade e a componente N-S da velocidade ( $v$ ). Fizeram-se cortes nas longitudes (9.2 até 8.8) e latitudes (40.7; 40.5; 40.4), profundidades máximas de 100m e escalas aproximadas às secções observadas, de forma a poder estabelecer uma comparação do modelo com as observações. As distribuições das grandezas são apresentadas para determinados dias, sendo que os dias escolhidos são representativos das várias fases do regime de ventos, às quais esta zona esteve sujeita, antes, durante e após o período em estudo (ver fig. 3). Foram então escolhidos o dia 15 de Junho, em que o regime de ventos era predominantemente de Sul, segue-se uma mudança para ventos de Norte, entre os dias 20 e 30 de Junho, aqui representada pelo dia 26 e 29 de Junho. Posto esta mudança, dá-se

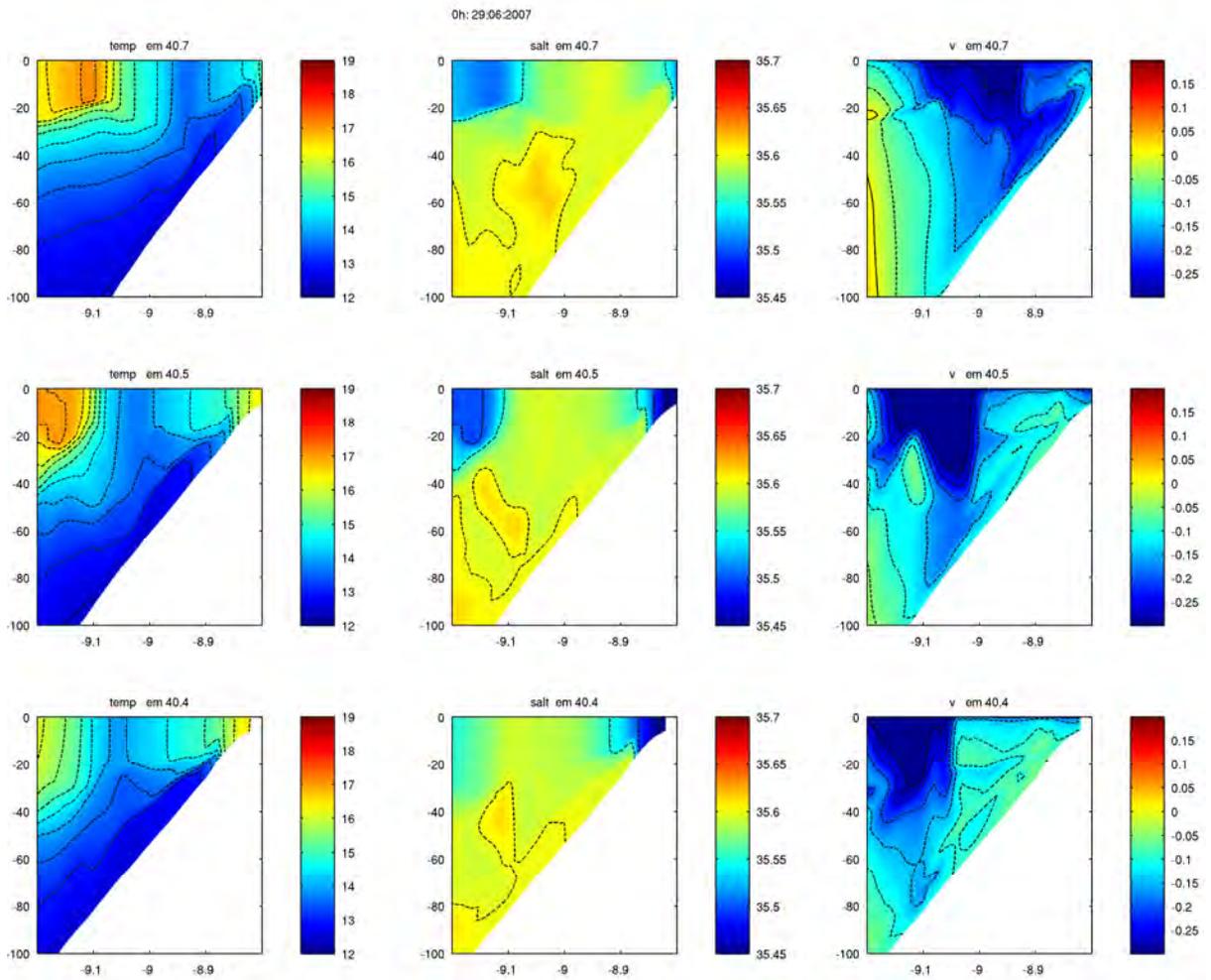
um relaxamento e inicia-se um regime de ventos predominantemente de Oeste, desde o dia 1 de Julho, representado pelos dias 2 e 3 de Julho (primeira cobertura do N.I.Noruega). No dia 4 de Julho inicia-se uma intensificação do vento de Norte, sendo que nos dois dias seguintes (4 e 5 de Julho), tem-se informação do N.I.Tellina, aqui apresentada. Em seguida os dias 6 e 7 de Julho (segunda cobertura do N.I.Noruega) representam a intensificação do vento de Norte. Foram também escolhidos os dias 10 e 13 de Julho, para observar a evolução durante uma nova intensificação dos ventos de Norte.



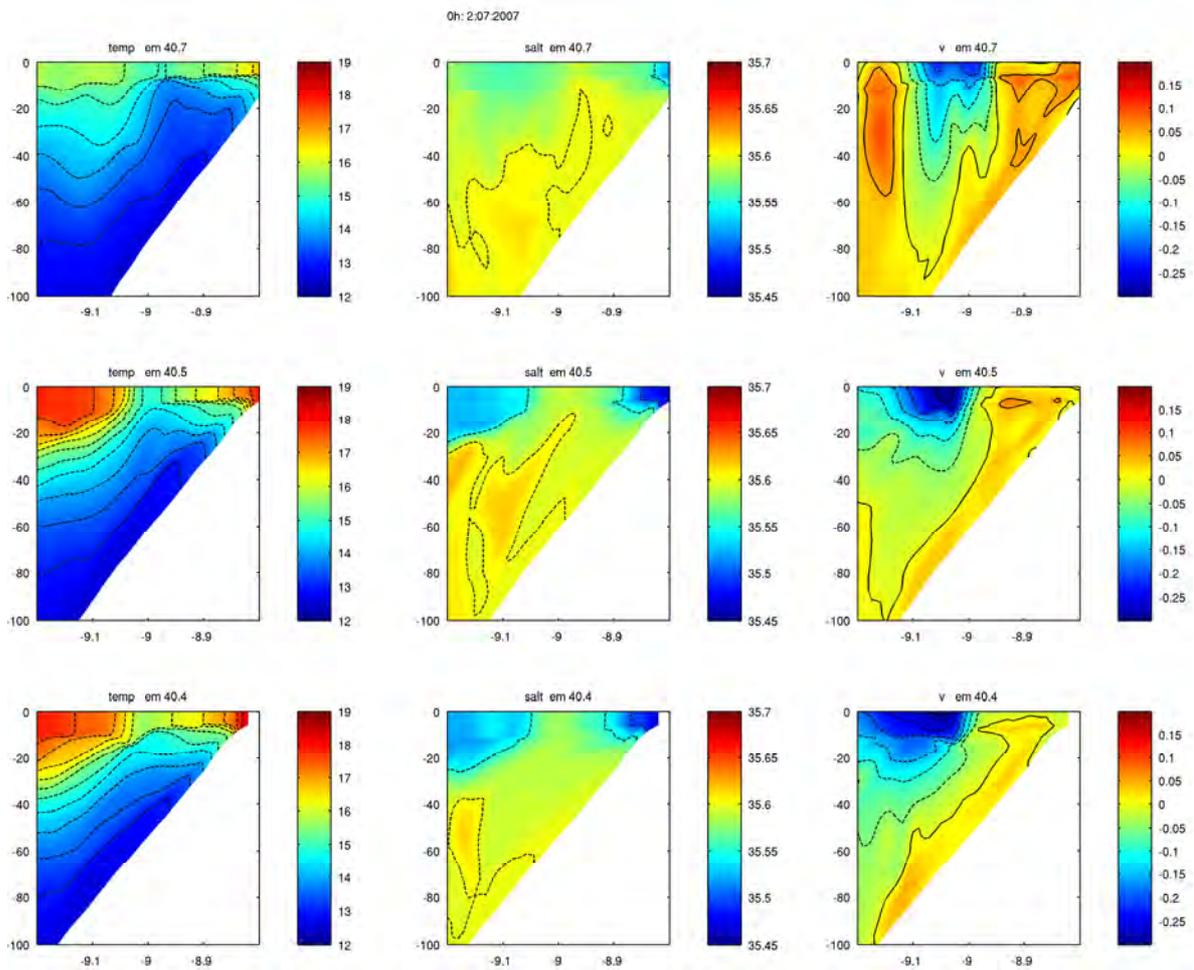
**Figura 11** – Perfis verticais do dia 15 de Junho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



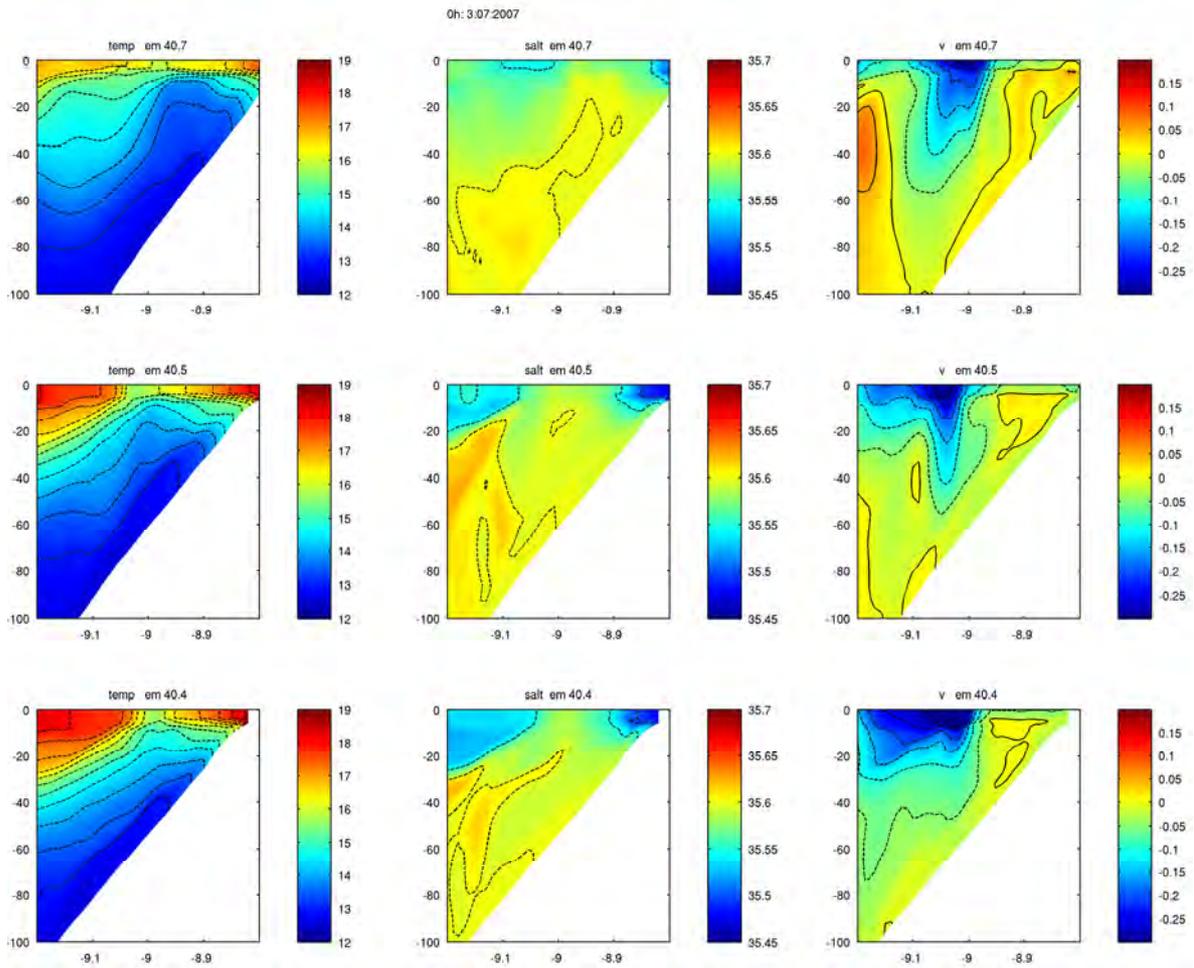
**Figura 12** – Perfis verticais do dia 26 de Junho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



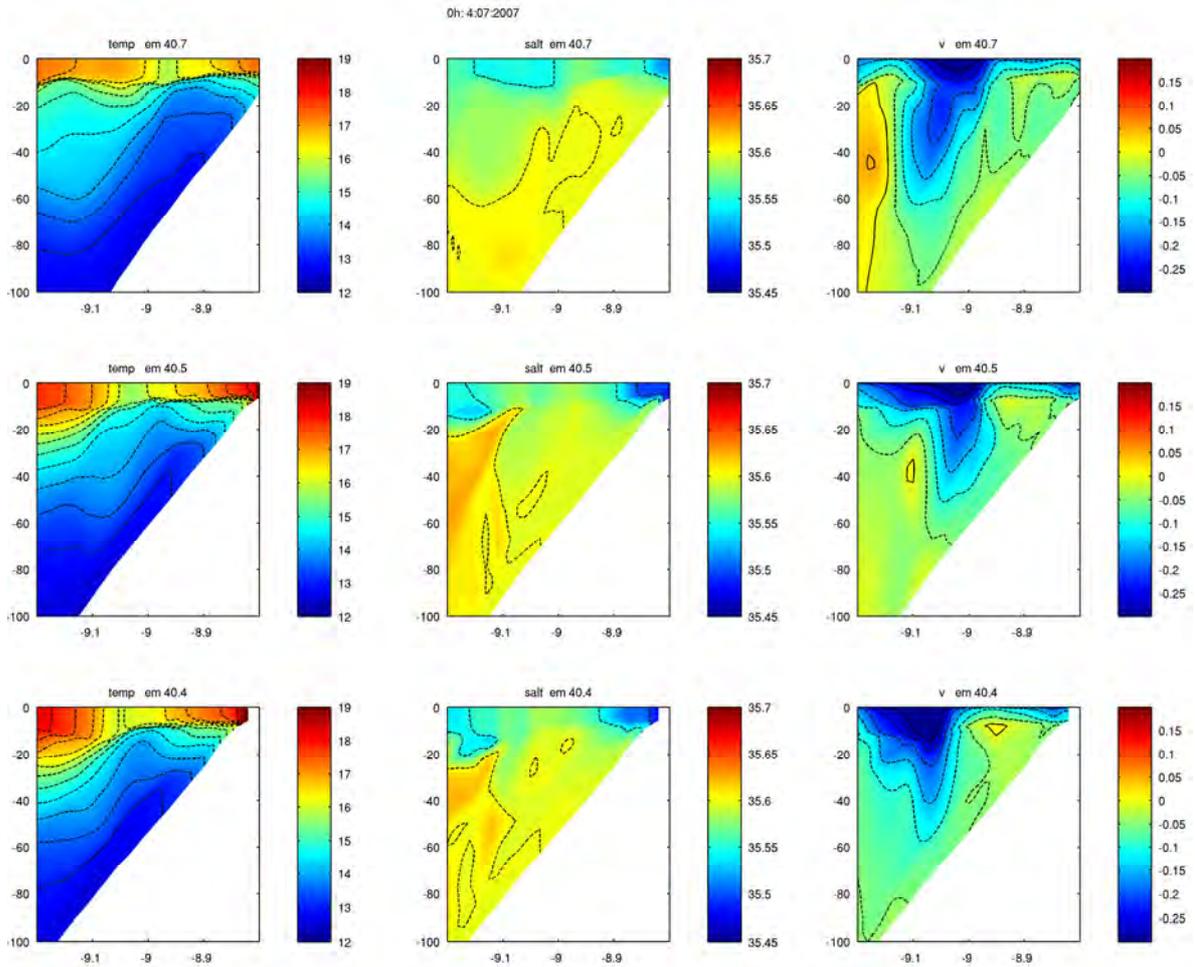
**Figura 13** – Perfis verticais do dia 29 de Junho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



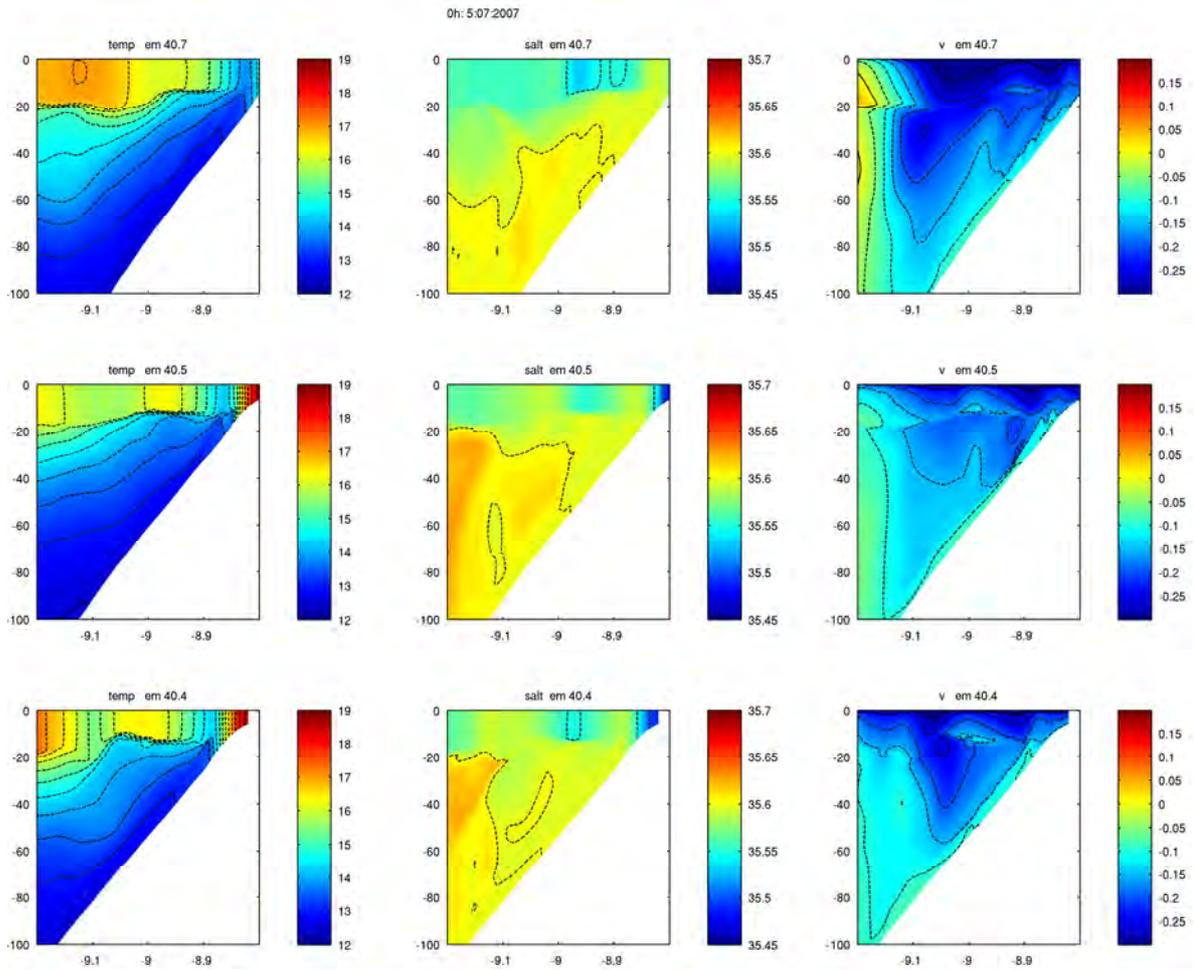
**Figura 14** – Perfis verticais do dia 2 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



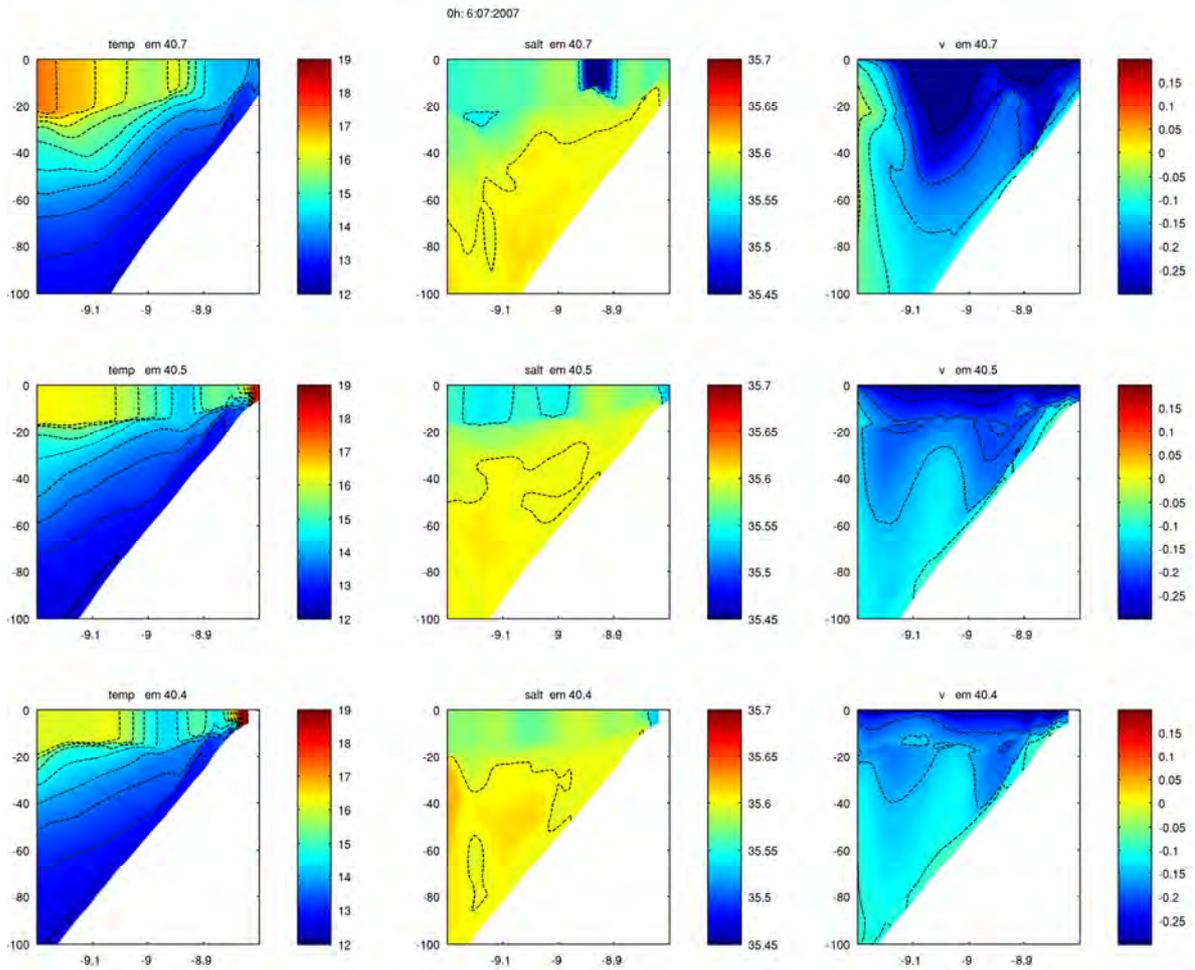
**Figura 15** – Perfis verticais do dia 3 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



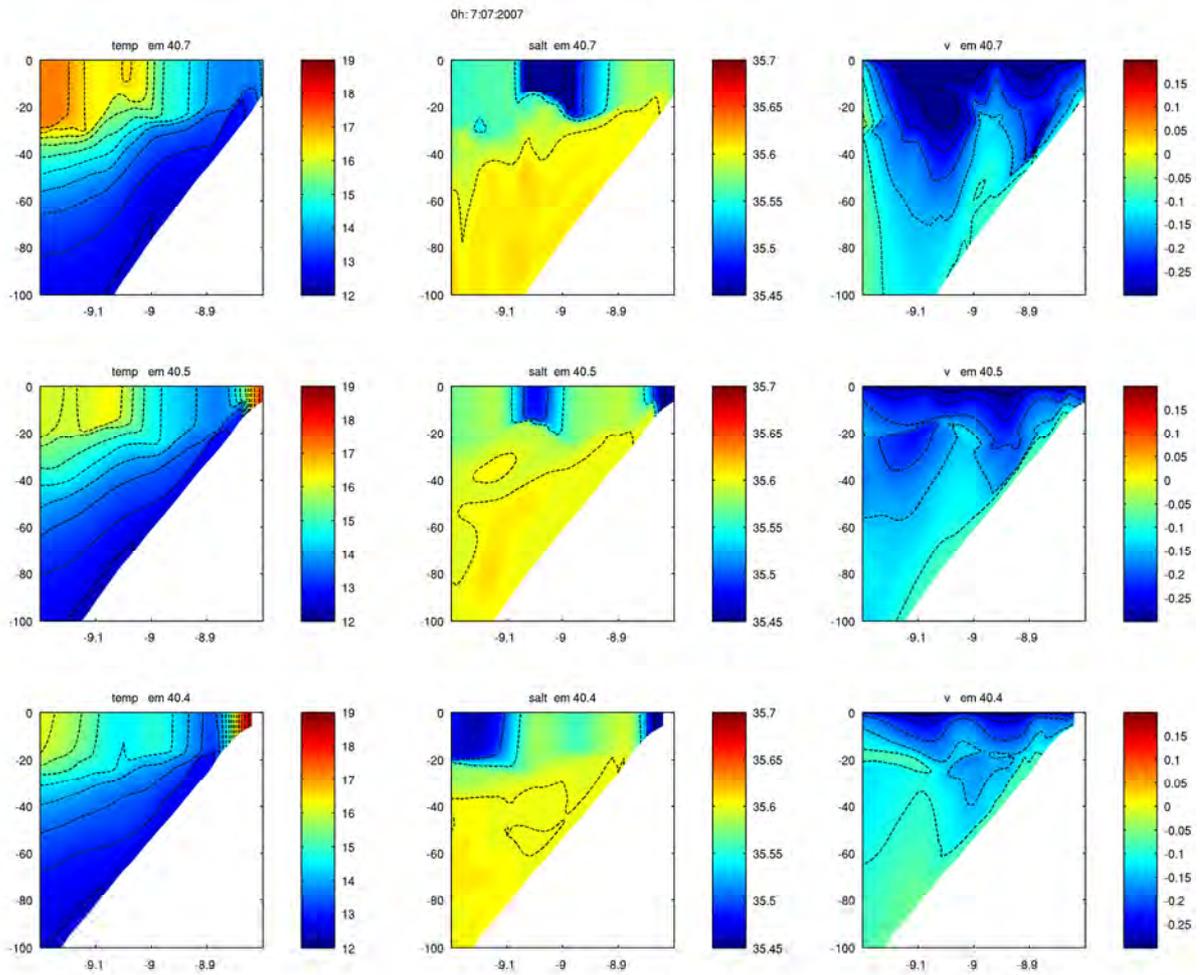
**Figura 16** – Perfis verticais do dia 4 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



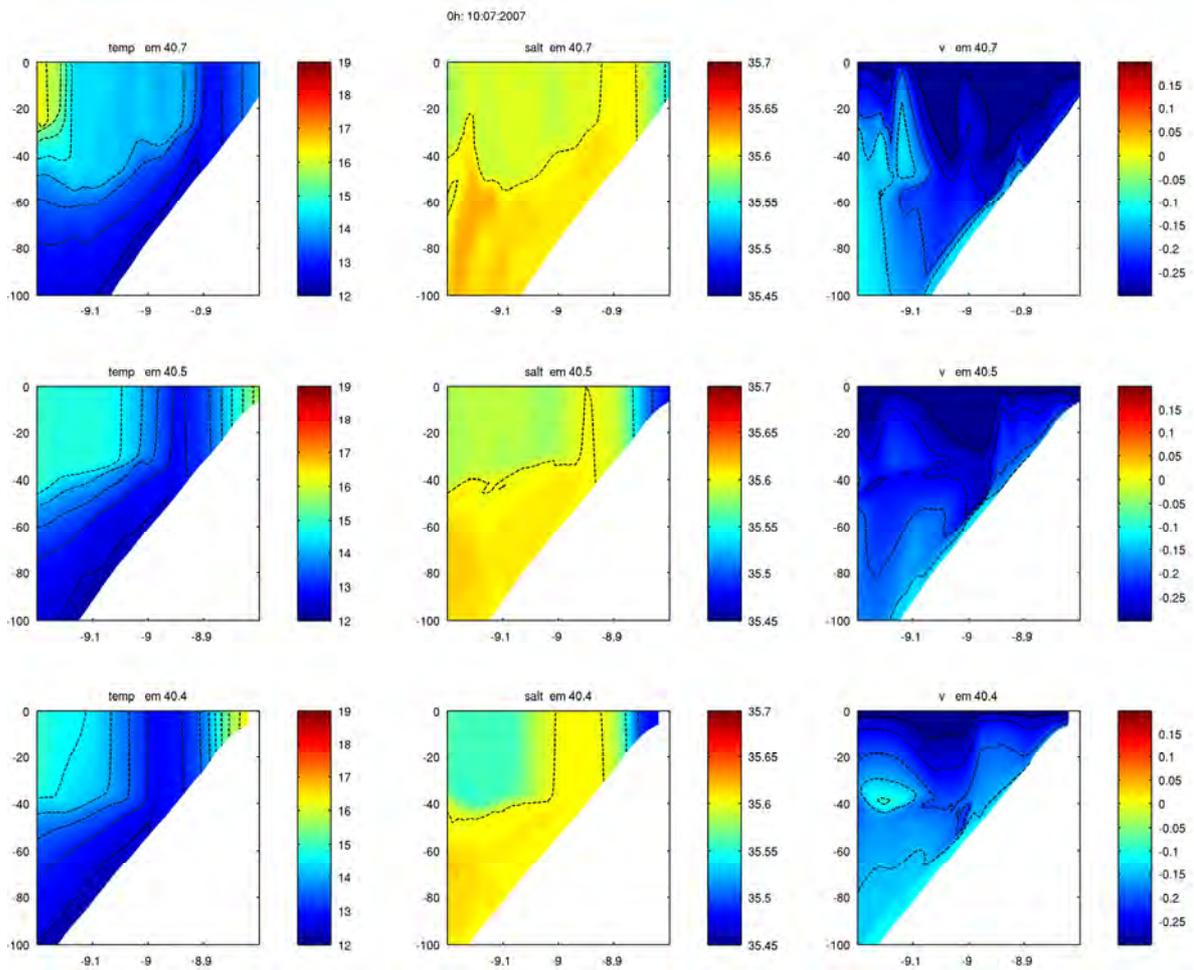
**Figura 17** – Perfis verticais do dia 5 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



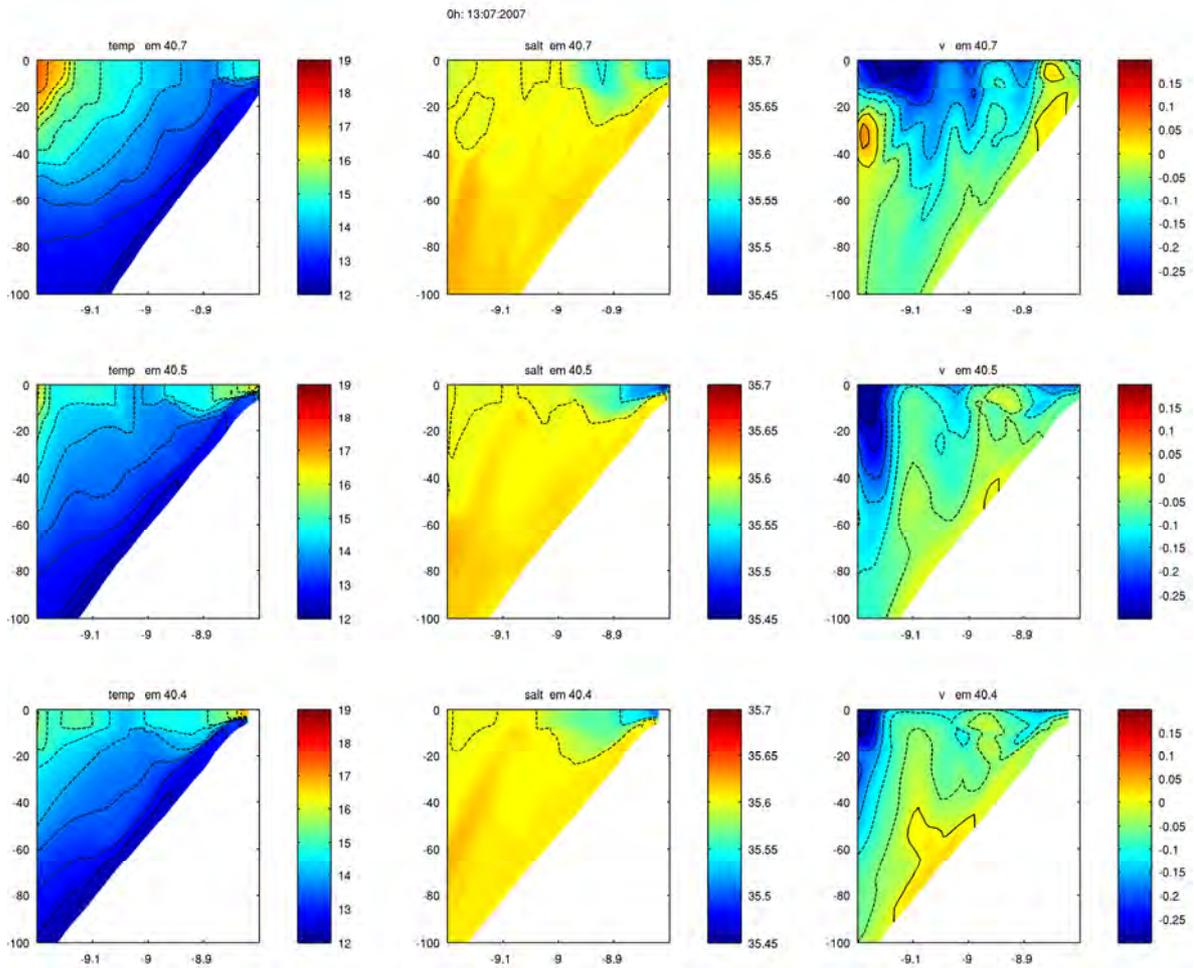
**Figura 18** – Perfis verticais do dia 6 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



**Figura 19** – Perfis verticais do dia 7 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N) Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.



**Figura 20** – Perfis verticais do dia 10 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.

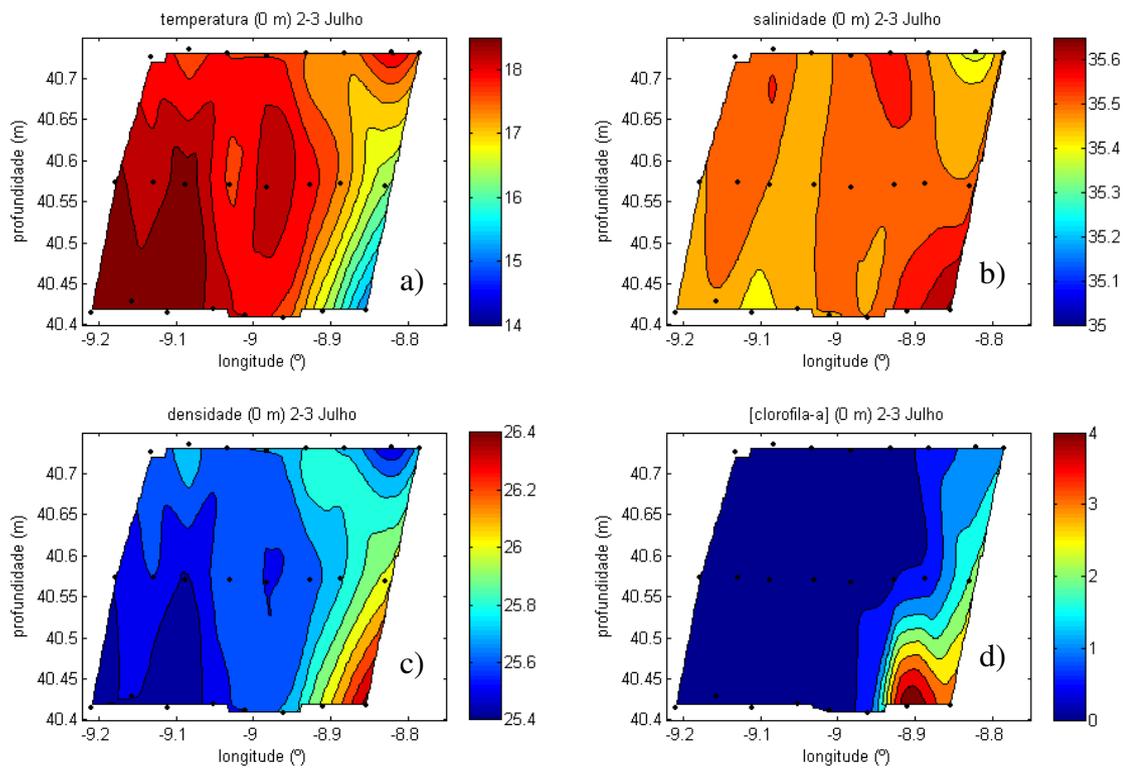


**Figura 21** – Perfis verticais do dia 13 de Julho, da esquerda para a direita, a temperatura, salinidade e velocidade, de cima para baixo, secção Norte (40.7°N), secção Centro (40.5°N) e secção Sul (40.4°N). Espaçamento entre isolinhas de 0.5°C, 0.05, 0.05m/s para T, S e v, respectivamente.

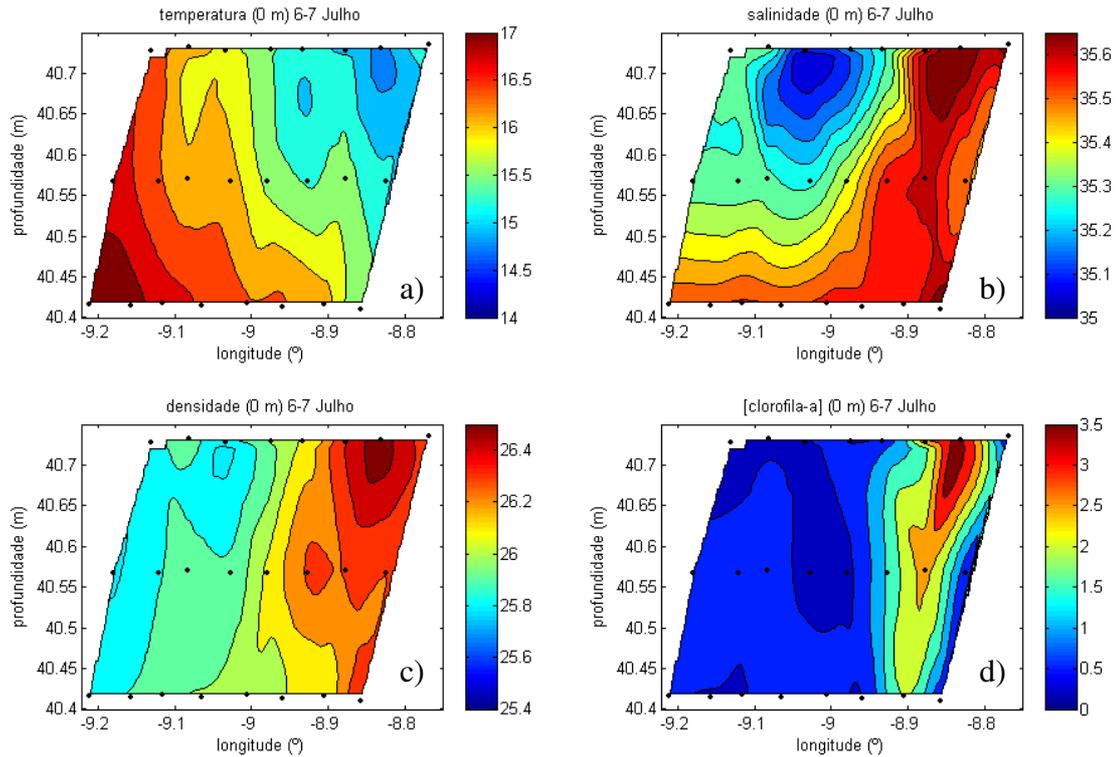
### 5.3. Distribuições horizontais

#### 5.3.1. Distribuições horizontais para as observações

As figuras que se seguem são relativas aos resultados do N.I Noruega e distribuem-se da seguinte forma: são apresentadas em cada figura, as quatro grandezas em estudo (temperatura, salinidade, densidade e  $[Chl_a]$ ), inicialmente as figuras relativas à primeira cobertura e em seguida apresentam-se os resultados da segunda cobertura do N.I.Noruega.



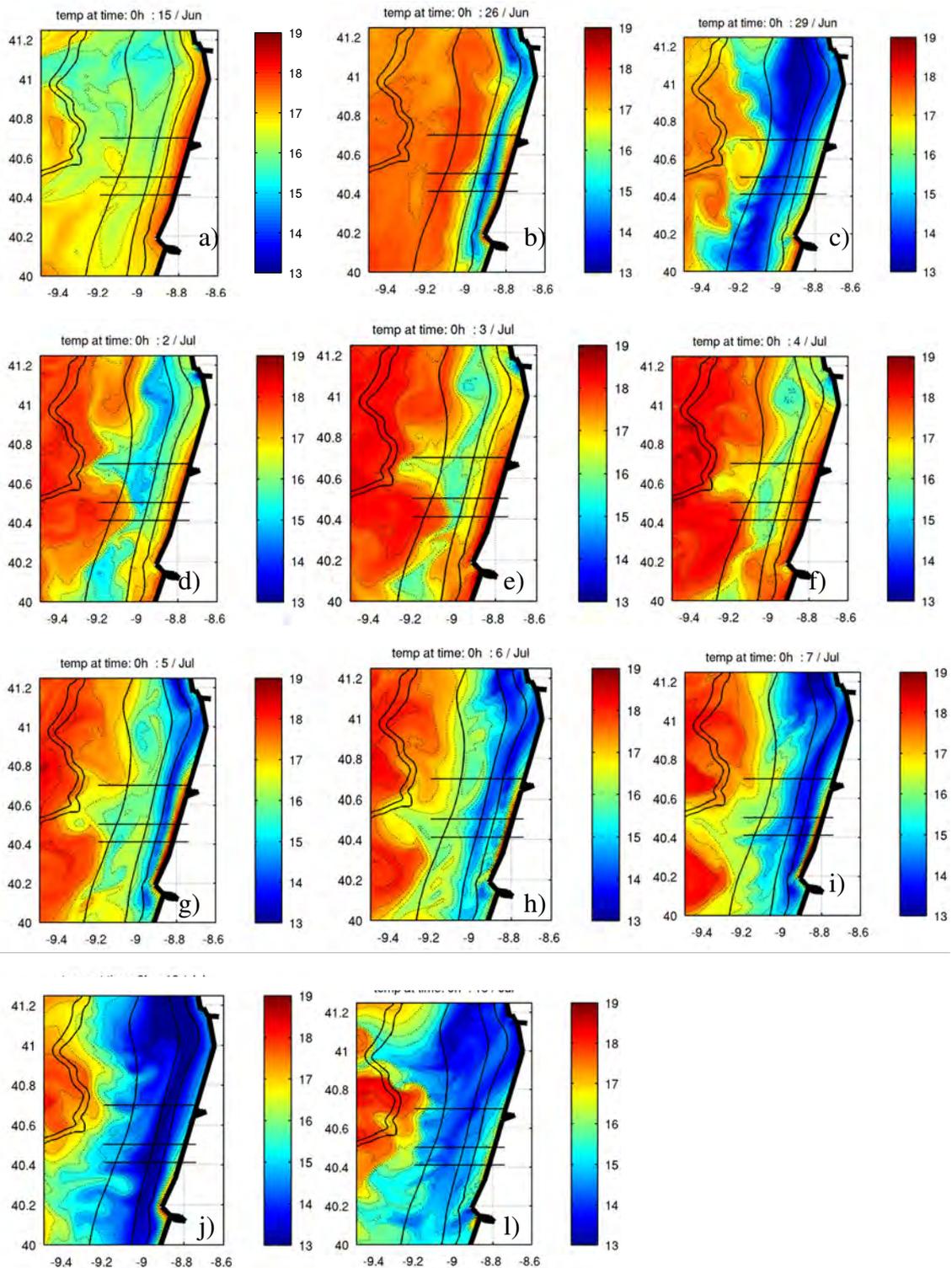
**Figura 22** – Perfis horizontais à superfície da primeira cobertura do N.I.Noruega (2-3 de Julho): a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d)  $[Chl_a]$ , com espaçamento entre isolinhas de  $0,5^{\circ}C$ ,  $0,05$ ,  $0,15$  e  $1 \text{ mg/m}^3$ , respectivamente.



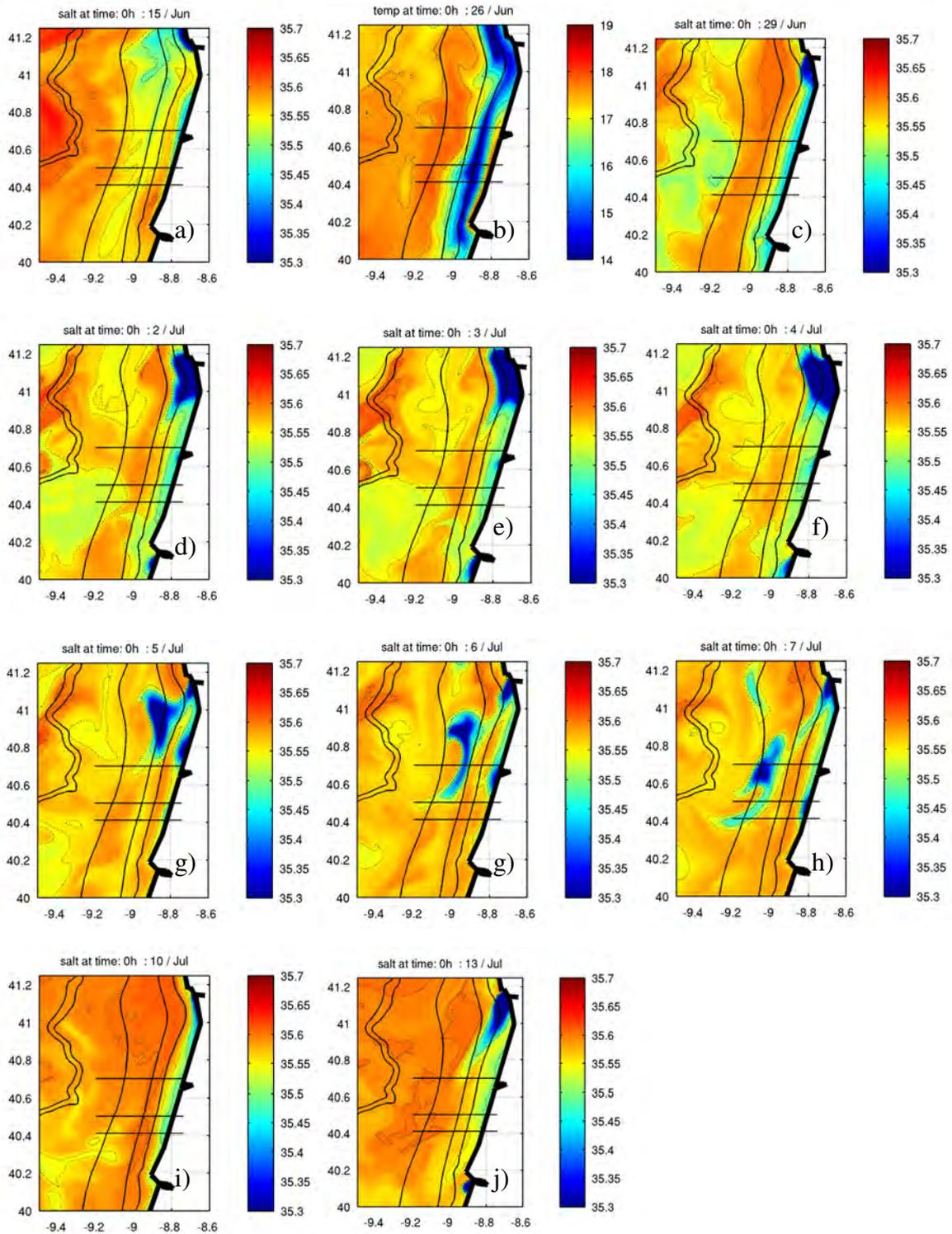
**Figura 23** – Perfis horizontais à superfície da segunda cobertura do N.I. Noruega (6-7 de Julho): a) temperatura, b) salinidade, c) densidade e d) [Chl<sub>a</sub>], com espaçamento entre isolinhas de 0,5°C, 0,05, 0,15 e 1 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

### 5.3.2. Distribuições horizontais do modelo

De seguida são apresentados os resultados das distribuições horizontais do modelo, da área em estudo para os dias escolhidos, já mencionados no ponto 5.2.1. Em primeiro lugar são apresentadas as figuras relativas à temperatura e em seguida a salinidade.



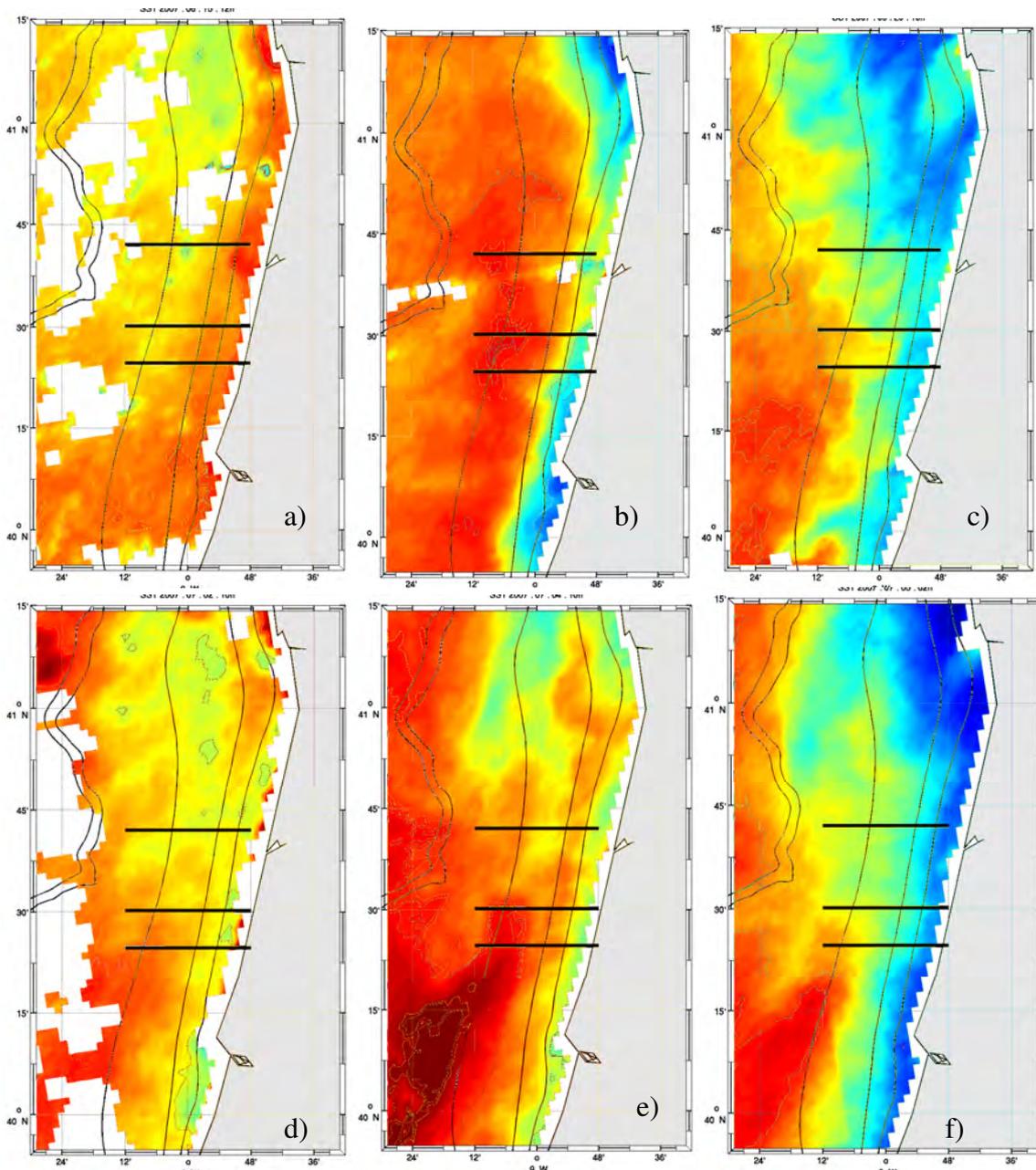
**Figura 24** – Perfis horizontais de temperatura do modelo, à superfície, dos dias: a) 15 de Junho, b) 26 de Junho, d) 29 de Junho, c) 2 de Julho, d) 3 de Julho, e) 4 de Julho, f) 5 de Julho, g) 6 de Junho, h) 7 de Junho, i) 10 de Julho, j) 13 de Julho. Espaçamento entre isolinhas é de 0.5°C. As batimétricas utilizadas são, da costa para o largo, 30m, 50m, 100m, 500m, 1000m.

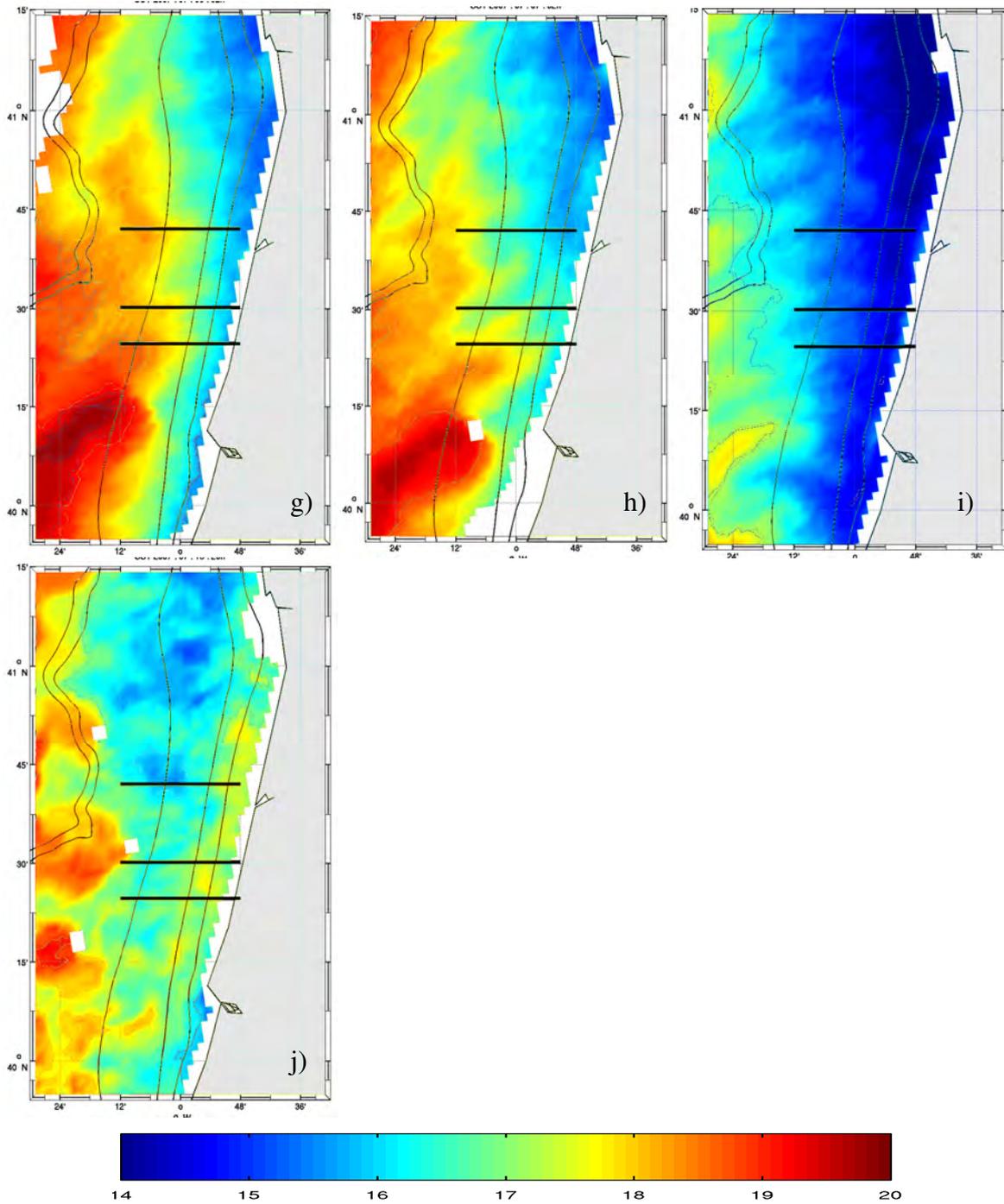


**Figura 25** – Perfis horizontais de salinidade do modelo, à superfície, dos dias: a) 15 de Junho, b) 26 de Junho, d) 29 de Junho, c) 2 de Julho, d) 3 de Julho, e) 4 de Julho, f) 5 de Julho, g) 6 de Junho, h) 7 de Junho, i) 10 de Julho, j) 13 de Julho. Espaçamento entre isolinhas é de 0.05. As batimétricas utilizadas são, da costa para o largo, 30m, 50m, 100m, 500m, 1000m.

### 5.3.3. Distribuições horizontais de imagens de satélite

As figuras que se seguem dizem respeito à temperatura superficial (SST) medida por satélite (sensor AVHRR, série NOAA). Os dias escolhidos são os mesmos que os da modelação, com excepção do dia 3 de Julho, a fim de se poder comparar os resultados de ambos. Na impossibilidade de se obterem bons resultados para todas as imagens as 02h da manhã, apresentam-se algumas imagens as 10h, 12h e 20h. Na figura seguinte são apresentadas as imagens de satélite (sensor MODIS, satélite Terra) relativas à concentração de clorofila [ $Chl_a$ ], nos dias 28 de Junho, 4 de Julho, 5 de Julho e 8 de Julho.





**Figura 26** – Imagens de satélite de temperatura superficial (SST) nos dias: a) 15 de Junho (12h), b) 26 de Junho (10h), c) 29 de Junho (10h), d) 2 de Julho (10h), e) 4 de Julho (10h), f) 5 de Julho (02h), g) 6 de Junho (02h), h) 7 de Junho (02h), i) 10 de Julho (02h), j) 13 de Julho (20h). As batimétricas utilizadas são, da costa para o largo, 30m, 50m, 100m, 500m, 1000m. Escala de cores de 14°C a 20°C.

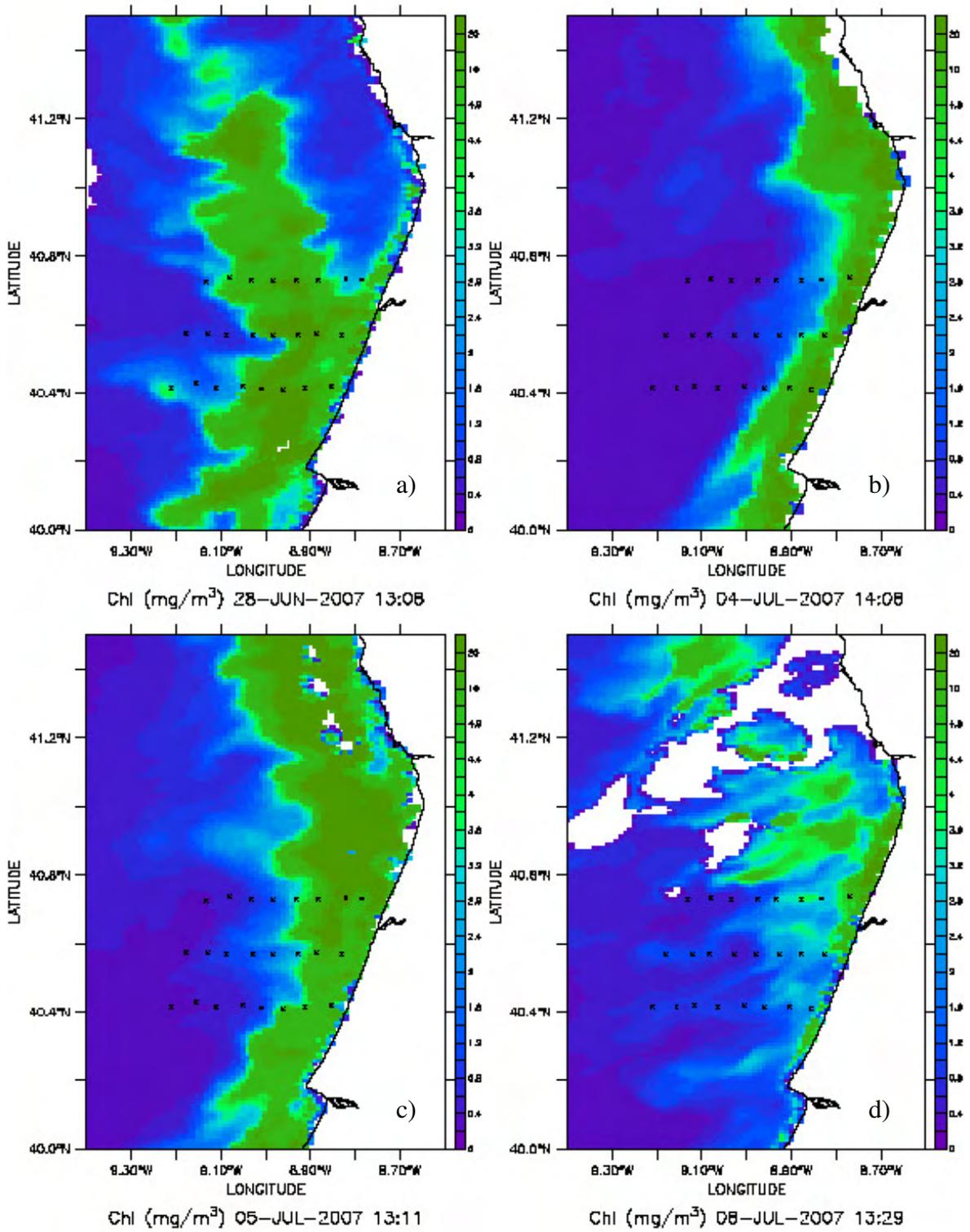


Figura 27 – Imagens de satélite da concentração de clorofila<sub>a</sub> [ $Chl_a$ ] dos dias: a) 28 de Junho, b) 4 de Julho, c) 5 de Julho, d) 8 de Julho.



## 6. Discussão

O presente estudo tem início no dia 15 de Junho, em presença de ventos de Sul, com dados do modelo e de satélite. Na figura 11 do modelo desse dia, observa-se água quente à superfície, com um afundamento perto da costa, revelando a convergência induzida pelo vento, devida ao mecanismo na camada de Ekman superficial. Ventos de Sul provocam transporte de massa em direcção à costa (convergência). Associada a este afundamento, tem-se um gradiente térmico negativo que vai levar ao aparecimento de uma corrente para Norte.

No primeiro pulso de afloramento (pré campanha, 20-30 de Junho), os resultados do modelo (fig. 24 b) e c)) mostram que o afloramento se inicia entre as batimétricas dos 30m e dos 50m, e, mesmo depois da frente de afloramento se alargar, fica uma banda muito fina de água mais quente, junto à costa, sobretudo a Sul. A frente de afloramento separa a água aflorada da água mais oceânica (mais quente) de outra região mais estrita de água quente, no interior. Este fenómeno vai levar ao aparecimento de águas mais frias a meio das secções verticais, sobretudo no modelo (fig.12), pois nos dados observados e no satélite, isto não se verifica com tanta clareza.

Dever et al (2006), mostraram no seu artigo relativo ao afloramento a Norte da Califórnia, que este se iniciava no interior da batimétrica dos 40 m (1,5km da costa) e o transporte na camada de Ekman, entre os 40m e os 90m, diminuía para metade em comparação com os 90m e os 130m. De facto, o transporte na camada de fundo permite que a corrente de compensação, provocada pelo afloramento, diminua em magnitude, com o avançar do tempo, o que implica que quase todo o transporte de água para a costa seja feito pela camada limite de fundo.

Embora o modelo arrefeça 1°C em relação ao satélite, é possível observar, em geral, a região aflorada, no modelo (fig. 24) e nas imagens de satélite (fig.26), com uma largura superior a Norte, provavelmente associada à estrutura do vento Noroeste e à orientação da linha de costa ser diferente nessa região, a Norte e a Sul, sendo que o vento será mais significativo na parte Norte.

Após o afloramento começar a relaxar, dias 2, 3 e 4 de Julho (fig. 24 d), e) e f)), o modelo revela uma pluma de água mais fria entre a batimétrica dos 50m e dos 100m. Nos dados observados do N.I.Noruega (fig.5), isto não se verifica de forma tão nítida, nem em

todas as secções, apenas em NN1, NN2 e nos dados do N.I.Tellina T4 (fig.8). Este fenómeno dever-se-á muito provavelmente ao comportamento da espiral de Ekman entre estas duas batimétricas (30m e 50m), que fazem a transição entre a plataforma interna e a plataforma média.

Observam-se também, na primeira passagem do N.I.Noruega (fig.22), restos de afloramento a Sul e convergência a Norte, enquanto que na segunda passagem (fig. 23), acontece o oposto, com restos de afloramento a Norte e convergência a Sul. Estes resultados não são consistentes com o modelo (fig.24 d)), na primeira passagem, uma vez que, no modelo os restos de afloramento são mais visíveis a Norte. Neste caso o modelo não conseguiu reproduzir bem as observações.

Durante o dia 6 (início da segunda cobertura) (fig. 6) começa a identificar-se o vento de Norte que se instala a partir do dia 4 de Julho, através da diminuição da termoclina (destruição parcial da termoclina a Norte), pois começa a ocorrer mistura vertical pela acção do vento.

Na salinidade (fig. 6 b)) observa-se uma zona, propositadamente branca, para evidenciar salinidades inferiores a 35.4, devido a um pulso de escoamento do rio Douro. No modelo foram impostos forçamentos de descargas de outros rios (Minho e o Vouga) mas apenas a descarga do Douro mostrou influência. Estas descargas acumulam água (2-3 dias) e posteriormente esta água é levada para o largo, pela camada de Ekman de superfície ao mesmo tempo que é advectada para sul pelo jacto associado ao afloramento costeiro.

Analisando a corrente, com base apenas no modelo, observamos que no dia 26 de Junho (fig. 12), máximo do forçamento do vento (fig. 3), a água não se apresenta afastada da costa e a corrente tem a mesma direcção do vento. Isto deve-se à fusão das duas camadas de Ekman, quando a profundidade é muito baixa.

A concentração de clorofila [ $Chl_a$ ] é estudada através dos dados observados e pode ser comparada com imagens de satélite (fig.27).

No trabalho de Soares (2008), mostra-se que na primeira cobertura, os valores de [ $Chl_a$ ] são mais elevados do que na segunda cobertura, verificando-se a existência de máximos principalmente junto à costa, a Sul. Na segunda cobertura, a [ $Chl_a$ ] verifica-se sobretudo na zona Norte, junto à costa, com valores mais baixos.

Os mapas horizontais dos dados observados mostram que, as zonas mais frias, onde ocorreu afloramento, correspondem às zonas de maior [ $Chl_a$ ]. Na primeira passagem (fig.



22), observa-se afloramento a Sul e maior  $[Chl_a]$ , já na segunda passagem (fig. 23), observa-se afloramento a Norte e maior  $[Chl_a]$ . Sousa et al (1992) verificaram, no seu trabalho, que na parte Norte da costa Oeste Portuguesa, os campos da SST mostravam uma banda de água aflorada perto da costa que coincidia espacialmente e em padrões com as concentrações mais elevadas de pigmentos de fitoplâncton.

Verifica-se também, na secção NN1 (fig.5), o afundamento da  $[Chl_a]$  e o pico da mesma, a situar-se na base da picnoclina. Na segunda passagem (fig. 6 NN2) os máximos continuam na base da picnoclina, mas com uma concentração inferior. No N.I.Tellina (fig. 8) os valores da clorofila<sub>a</sub> estão sobreestimados, mas o padrão, semelhante ao encontrado nos dados observados do N.I.Noruega, aparenta ser verdadeiro, com a  $[Chl_a]$ , desde a costa até aos 15-20 m de profundidade, na base da picnoclina. A localização da  $[Chl_a]$ , sobretudo abaixo da picnoclina, está relacionada com a forte termoclina sazonal (no verão), que promove uma barreira impeditiva à entrada da luz para a fotossíntese, limitando a camada fótica (profundidade até à qual a luz é suficiente para se realizar fotossíntese) a poucos metros de profundidade e os nutrientes ficam confinados abaixo da picnoclina.

Verifica-se então que, na primeira passagem (fig. 5), durante a fase de relaxamento, há maior concentração de clorofila<sub>a</sub>, havendo diminuição da mesma, na intensificação dos ventos de norte (fig.6). Nesta segunda passagem começam a aparecer novas concentrações de clorofila<sub>a</sub>, mas apenas na parte Norte. Estas novas concentrações podem ser provenientes de Norte para Sul, relacionadas com o factor tempo. Na distribuição da concentração de clorofila<sub>a</sub>, sobretudo quando se verifica diminuição da  $[Chl_a]$ , muitos factores estão envolvidos, os quais podem contribuir para os padrões encontrados ao longo deste trabalho, entre eles, podem citar-se, a produção, o transporte, a acumulação, o desaparecimento por afastamento da costa, o decaimento e os predadores (consumidores da cadeia alimentar).

Na figura 27a) dos dados de satélite, é mostrada a  $[Chl_a]$  no dia 28 de Junho (final do primeiro evento de afloramento), observando-se uma pluma da mesma ao largo, afastada da costa, e a Norte da região em estudo, perto da costa, não existe clorofila<sub>a</sub>. Essa zona é, como se verificou pelas imagens do modelo (fig. 24 c)) e de satélite (fig. 26 c)), uma zona de forte afloramento. Esta falta de  $[Chl_a]$  nas zonas de forte afloramento já tinha sido verificada em estudos anteriores. Largier et al (2006) mostraram no seu trabalho, que as águas nos centros de afloramento tinham menor concentração de clorofila<sub>a</sub>, do que as águas

da pluma de afloramento. As águas afloradas de fundo, frias e ricas em nutrientes, tornam-se ricas em clorofila, os processos de fotossíntese aumentam e os nutrientes são consumidos. Nesse trabalho também foi mostrado que todo o nitrogénio aflorado foi convertido em fitoplâncton na plataforma, quando eventos de afloramento foram alternados com relaxamento, enquanto que apenas metade do nitrogénio era consumido durante um evento de afloramento persistente.

Observam-se descontinuidades nas distribuições de clorofila<sub>a</sub>, nos dados observados do dia 3, 4 e 7 de Julho, (fig.5 NN1, fig.8 e fig.6 NN2, respectivamente). Estas descontinuidades podem estar relacionadas com o jacto de velocidade (fig.15, fig.16 e fig.19 do modelo), que tem alternância entre mais forte e mais fraco e pode levar ao padrão que se observa, de dois máximos desalinados.



## 7. Conclusões

Este estudo retratou dois ciclos de intensificação/relaxamento de ventos de Norte, que afectaram a zona interior da costa de Aveiro no período de tempo entre 15 de Junho e 15 de Julho de 2007.

A informação relativa às grandezas: temperatura, salinidade, densidade e concentração de clorofila<sub>a</sub>, recolhida pelos navios de investigação Noruega e Tellina, durante a campanha (NeoMav) foi complementada com informação de temperatura, salinidade, densidade e velocidade de corrente ( $v$ ) do modelo ROMS-AGRIF, e com dados obtidos por satélite para temperatura de superfície (da série NOAA, sensor AVHRR) e concentração de clorofila<sub>a</sub> (sensor MODIS, satélite Terra). Estes conjuntos de informação permitiram caracterizar as grandezas acima mencionadas e assim estudar as respostas da plataforma média e interior aos forçamentos atmosféricos que consistiram na alternância entre um regime de ventos de Norte, seguido de relaxamento e nova intensificação do vento de Norte, no Verão, na zona em estudo.

No dia 15 de Junho, perante um regime de ventos de Sul, o modelo mostrou água mais quente na região costeira e uma forte convergência e afundamento das isolinhas. As imagens de satélite são consistentes com estes resultados, provando a eficiência do modelo a reproduzir situações reais. A corrente processa-se para Norte, em equilíbrio com o vento térmico (gradiente positivo).

Os ventos mudam para um regime predominantemente de Norte, no dia 20 de Junho, e a partir daí verificou-se que ocorria afloramento, sobretudo com início entre as batimétricas dos 30m e 50m, estendendo-se posteriormente para o largo. Associada a este afloramento surgiu uma corrente para Sul, que se corresponde com o jacto. Este evento de afloramento durou até ao dia 30 de Junho, ocorrendo logo em seguida uma diminuição dos ventos de Norte. Como consequência, ocorreu um relaxamento que provocou um incremento de temperatura para as águas recentemente afloradas, ficando uma região fria na plataforma, no meio de duas regiões mais quentes, na costa e no largo. Esta região mais fria pode ser vista, embora com menos nitidez nas imagens de satélite e nas observações do dia 2 de Julho.

Desde o dia 4 de Julho, até ao 13 de Julho, ocorreu uma segunda intensificação do vento de Norte, verificou-se pelas observações, que no interior da batimétrica dos 30m,

começou a surgir afloramento, acompanhado de uma ligeira convergência das isopícnicas nos dias 4 e 5 de Julho, na zona costeira, também observada no modelo. O campo de velocidade, durante este evento de afloramento, processa-se em direcção a Sul.

Em suma, quando os ventos de Norte prevalecem, ocorre afloramento, com a ascensão de água fria que se inicia perto da batimétrica dos 30m (fenómeno observado principalmente no modelo), as isopícnicas promovem um gradiente térmico positivo e associada ao vento térmico, surge uma corrente  $v$  para Sul. Quando os ventos de Norte começam a relaxar e se instalam ventos de Oeste, ocorre convergência da água, com as isopícnicas a favorecerem um gradiente negativo, provocando uma corrente  $v$  em direcção a Norte. Verificou-se que o afloramento se mantém mais visível a Norte, o que se poderá dever à geometria da linha de costa, resultados que são consistentes com a modelação e dados de satélite.

Nos dados observados do campo de salinidade, sobretudo durante o segundo evento de afloramento, surgiu uma pluma de salinidades inferiores a 34.5. Esta pluma foi identificada pelo modelo, mostrando a sua origem no rio Douro, deslocando-se para Sul com o jacto de afloramento e para o largo, associada ao transporte de Ekman induzido pelo vento. Neste caso, o modelo foi muito eficiente, conseguindo reproduzir muito bem esta pluma.

As imagens da concentração de clorofila<sub>a</sub> superficial do satélite, mostraram que, no dia 28 de Junho, já perto do final do primeiro evento de afloramento, resultou uma distribuição de clorofila<sub>a</sub> com uma pluma ao largo e ausência a Norte da região em estudo. Este facto demonstra que a concentração de clorofila<sub>a</sub> é mais elevada nas plumas de afloramento do que nos seus centros. Com o início da segunda nortada, aparece uma banda fina de clorofila<sub>a</sub> à superfície e verifica-se, pelos dados observados, que esta se encontra confinada abaixo da superfície, na base da picnoclina. Os mapas horizontais mostraram que, para a primeira cobertura (relaxamento) a [Chl<sub>a</sub>], aparece junto à costa a Sul e na segunda cobertura (afloramento) aparece, com valores mais baixos, junto à costa, a Norte. Verificou-se então que, durante a fase de relaxamento, há mais concentração de clorofila<sub>a</sub> à superfície, do que na fase de afloramento, pois a clorofila<sub>a</sub> é levada para o largo pela plumas de afloramento.

Os resultados obtidos através do modelo demonstraram ser bastante consistentes com as observações e com as imagens de satélite, pelo que este modelo numérico reproduz realisticamente os resultados.



## 8. Bibliografia

- Dubert, Jesus (2007), Apontamentos da disciplina de Oceanografia Física II. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro.
- Dever, E.P., Dorman, C.E., Largier, J.L., 2006. Surface boundary-layer variability off Northern California, USA, during upwelling. *Deep-Sea Research II* 53 2887–2905.
- Haynes, R., Barton, E.D., Pilling, I., 1993. Development, persistence and variability of upwelling filaments off the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research* 98, 22681– 22692.
- Janowitz, G.S., Pietrafesa, L.J., 1980. A model and Observations of Time-Dependent Upwelling over the Mid-Shelf and Slope. *Journal of Physical Oceanography*, Volume 10, pages 1574-1583.
- Largier, J.L. Lawrence, C.A., Roughan M., Kaplan, D.M., Dever, E.P., Dorman, C.E., Kudela, R.M., Bollens, S.M., Wilkerson, F.P., Dugdale, R.C., Botsford, L.W., Garfield, N., Cervantes, B. Kuebel, Koracin, D., 2006. WEST: A northern California study of the role of wind-driven transport in the productivity of coastal plankton communities. *Deep-Sea Research II* 53 2833–2849.
- Oliveira, Paulo B., Peliz, Álvaro, Dubert, Jesus, Rosa, Teresa L., Santos, A. Miguel P., 2004. Winter geostrophic currents and eddies in the Western Iberia Coastal transition zone. *Deep-sea research I* 15 367-381.
- Oliveira, Paulo B., Nolasco, Rita, Dubert, Jesus, Moita, Teresa, Peliz, Álvaro, 2009. Surface temperature, chlorophyll and advection patterns during a summer upwelling event off central Portugal. *Continental Shelf Research*, Volume 29, Issues 5-6, Pages 759-774.
- Peliz, Álvaro, Rosa, Teresa L., Santos, A. Miguel P., Pissarra, Joaquim L., 2002. Fronts, jets and Counter-flows in the Western Iberian upwelling system. *Journal of marine systems* 35 61-77.
- Peliz, A, Dubert, J., Haidvogel, D.A. (2003) Subinertial Response of a Density Driven Eastern Boundary Poleward Current to Wind Forcing. *Journal of Physical Oceanography*, Volume 33, pages 1633-1650.
- Relvas, Paulo, Barton, E.D., Dubert, Jesus, Oliveira, Paulo B., Peliz, Álvaro, Silva, J.C.B. da, Santos, A. Miguel P., 2007. Physical Oceanography of the Western Iberia Ecosystems: latest views and challenges. *Progress in oceanography* 74 149-173.
- Santos, AMP, Peliz, A., Dubert, J., Oliveira, PB, Angélico, MM, Ré, P., 2004. Impact of a winter upwelling event on the distribution and transport of sardine (*Sardina Pilchardus*) eggs and larvae of western Iberia: a retention mechanism. *Continental shelf research* 24 149-165.

- Soares, R., 2008. Estudo dos campos de temperatura, salinidade e fluorescência na área junto a Aveiro durante uma situação de afloramento costeiro. Relatório de seminário da Licenciatura em Meteorologia e Oceanografia Física. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Sousa, Fatima M., Bricaud, Annick., 1992. Satellite-Derived Phytoplankton Pigment Structures in the Portuguese Upwelling Area. *Journal of Geophysical Research*, vol. 97, n.º. c7, pages11,343-11,356.