

1.6. Campanha OMEX II/99 (Maio 99)

Nesta última campanha realizada a norte do paralelo 41°N, a estratégia de amostragem foi semelhante às anteriores. No período de 18 a 28 de Maio ocuparam-se 111 estações de CTD com colheitas de água, distribuídas por 5 secções longas (até à longitude 11°W), perpendiculares à costa (fig.IV-49). O cruzeiro teve início frente ao rio Lima, na região setentrional da área em estudo, terminando a Sul do rio Douro.

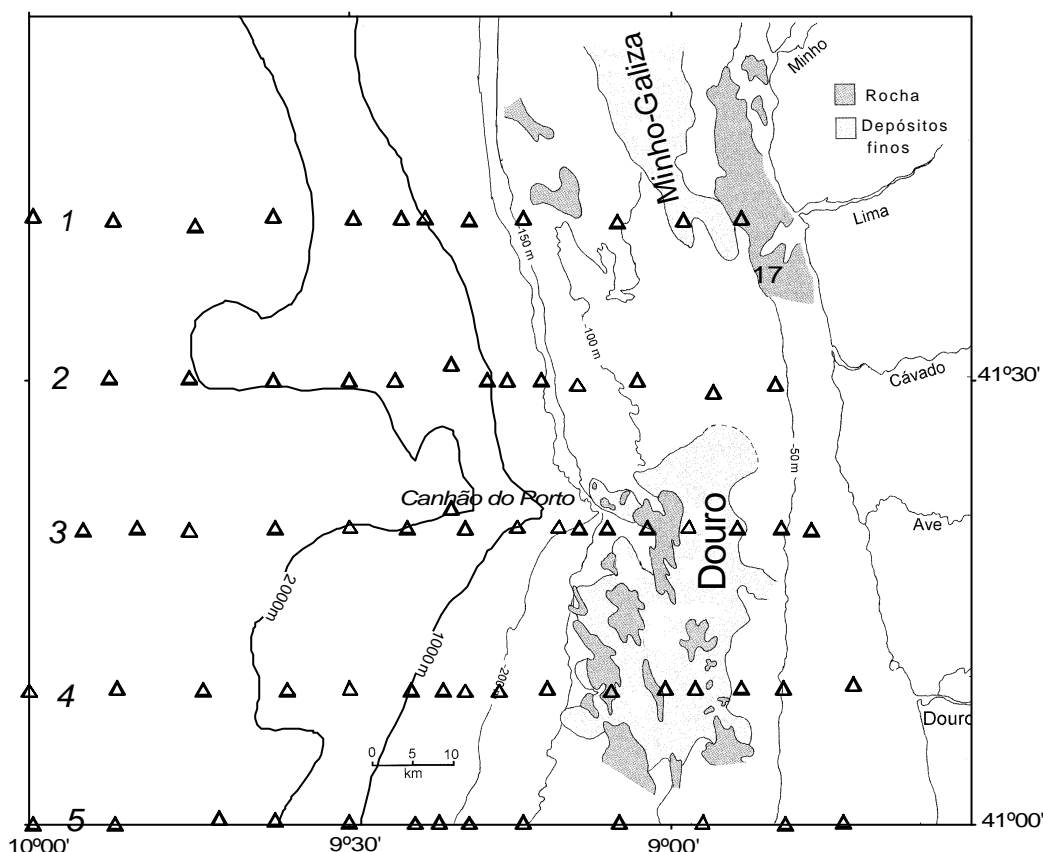


Figura IV-49. Mapa da localização das estações hidrográficas (triângulos) realizadas durante o cruzeiro OMEX II/99 (18-28 de Maio). Delimitação dos depósitos finos segundo Drago, 1995.

1.6.1. Dados hidrológicos

Os débitos fluviais médios nos 2 meses que precederam o cruzeiro foram baixos, da ordem dos 317 m³/s para o rio Douro, de 14 m³/s para o Cávado e de 12 m³/s para o Lima (Fig. IV-50). Durante o cruzeiro os caudais mantiveram-se dentro da mesma ordem de grandeza, com pequenas flutuações diárias, mas sem a ocorrência de caudais elevados.

O cruzeiro iniciou-se em período de marés vivas (3 primeiros dias), com amplitude de maré superior a 2,5m, tendo o resto da missão decorrido em marés mortas com amplitude compreendida entre 1,4m e 2,1m.

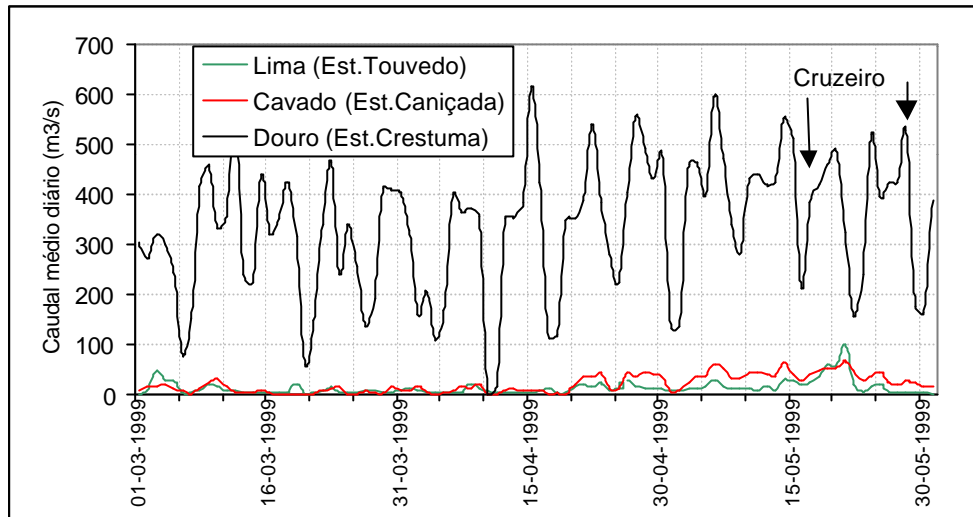


Figura IV-50. Caudais de alguns rios minhotos, para os dois meses que antecederam e, durante o cruzeiro OMEX II /99 (Fonte: CPPE).

1.6.2. Dados climáticos

A missão OMEX II /99, decorreu com tempo variável e ventoso, apresentando, por vezes, o céu encoberto.

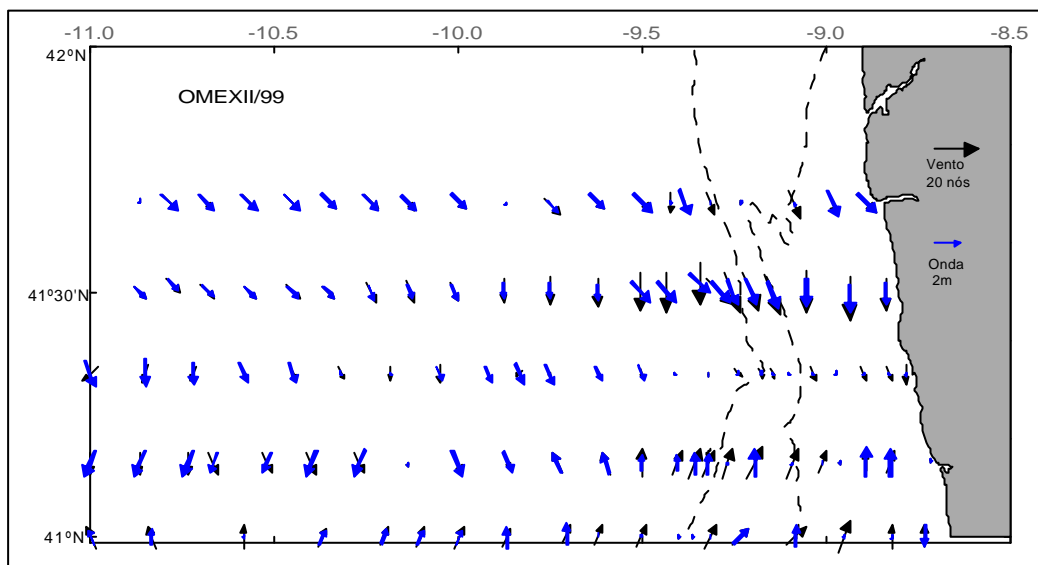


Figura IV-51. Mapa com as observações de vento e onda obtidas a bordo durante o decorrer do cruzeiro OMEX II /99.

No início do cruzeiro (fig.IV-51), os ventos predominantes e a ondulação eram de N-NW, sendo no final do mesmo, oriundos de S-SW. A altura da ondulação foi sempre inferior a 2m ocorrendo, por vezes, períodos de mar chão. As observações são representativas de um período de Primavera, de transição para o regime de upwelling.

1.6.3. Diagrama TS de superfície

Durante a campanha Omex II/99, foi possível distinguir quatro massas de água na zona em estudo (Fig. IV-52A):

- I. uma massa de água estuarina com temperatura compreendida entre 15,3°C e 13,6°C e uma salinidade inferior a 34,5, localizada perto da desembocadura dos rios Cávado e Douro. O valor mais baixo de temperatura está relacionada com o rio Cávado;
- II. uma massa de água costeira, mal definida, com salinidade inferior a 35,4 e temperatura variável ($14,1^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$);
- III. uma massa de água com características marinhas ($S > 35,4$) e temperatura compreendida entre 15 e 16 °C;
- IV. uma massa de água semelhante à anterior, mas com temperatura mais elevada ($T > 16,3^{\circ}\text{C}$), que ocorre na região SW da área estudada (fig. IV-52a).

1.6.4 Diagrama TS de fundo

Junto do fundo distinguam-se três massas de água, muito bem definidas (fig. IV-52b):

- V. uma massa de água que cobre toda a plataforma, correspondendo à Água Central do Atlântico Norte;
- VI. massa de água do bordo da plataforma, que corresponde à contra-corrente para norte. Incorpora Água Central do Atlântico Sul (Barton, 1995).
- VII. nível superior da Veia de Água do Mediterrâneo.

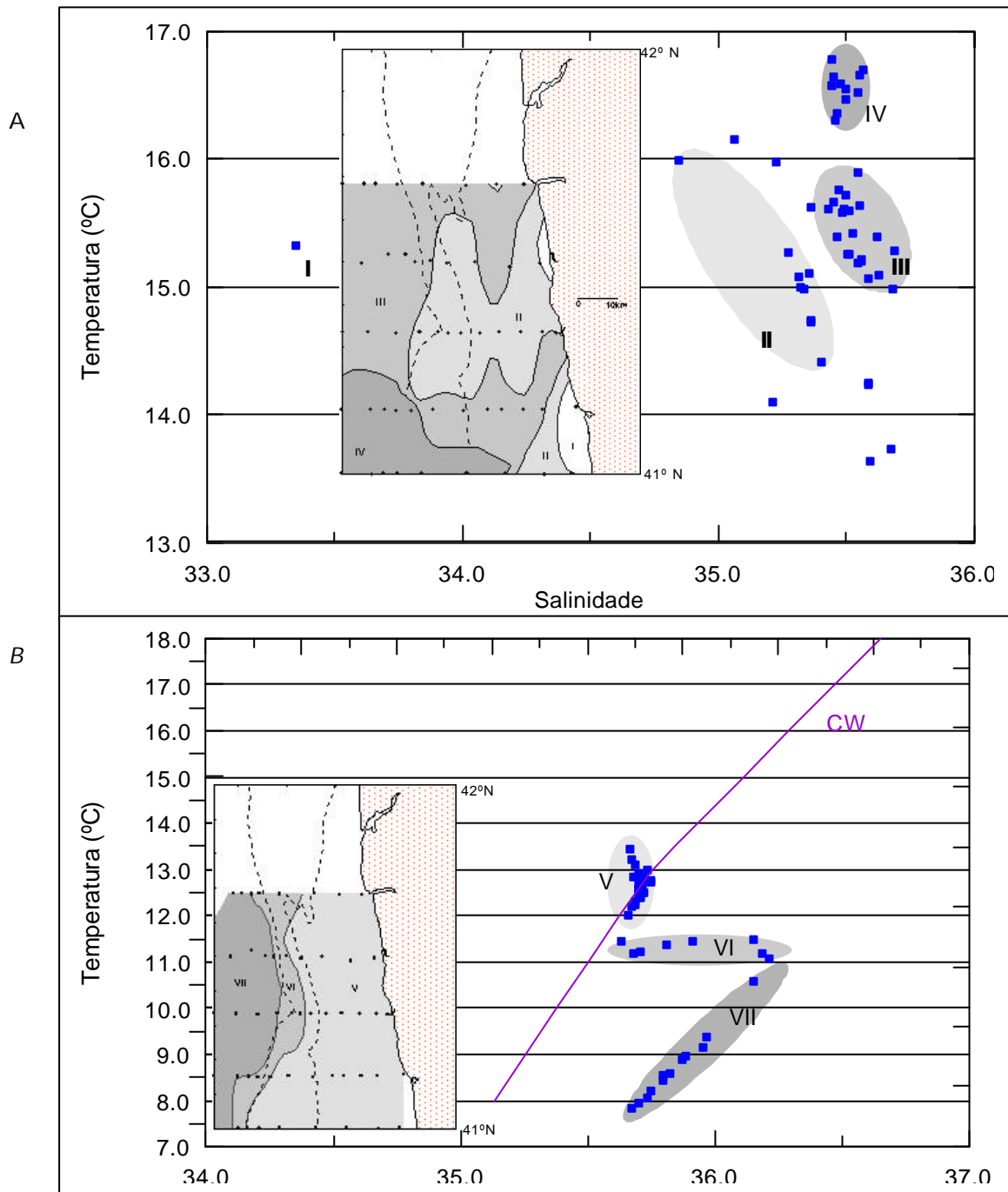


Figura IV-52. Diagrama TS para as águas superficiais (5m) e perto do fundo (max. 1500m), para a campanha OMEX 11/99. I a VII representam as massas de água identificadas; a vermelha está definida a linha representativa da Água Central Norte Atlântica (CW- Central Waters).

1.6.5. Gradiente de salinidade à superfície

O mapa de distribuição da salinidade mostra um padrão complexo (fig. IV-53), reflexo dos diferentes estados da maré (BM e PM) e ventos predominantes. Os valores mais baixos de salinidade estão associados com o estuário do rio Douro (S=33,35), com uma frente salina muito bem marcada. Nas secções mais a Norte (2 e 3) já não se verifica esta variação brusca, com a isolinha dos 35,4 a passar o bordo da plataforma. Na plataforma média ocorriam pontualmente, valores de salinidade mais baixos, resultantes de ciclos de maré anteriores.

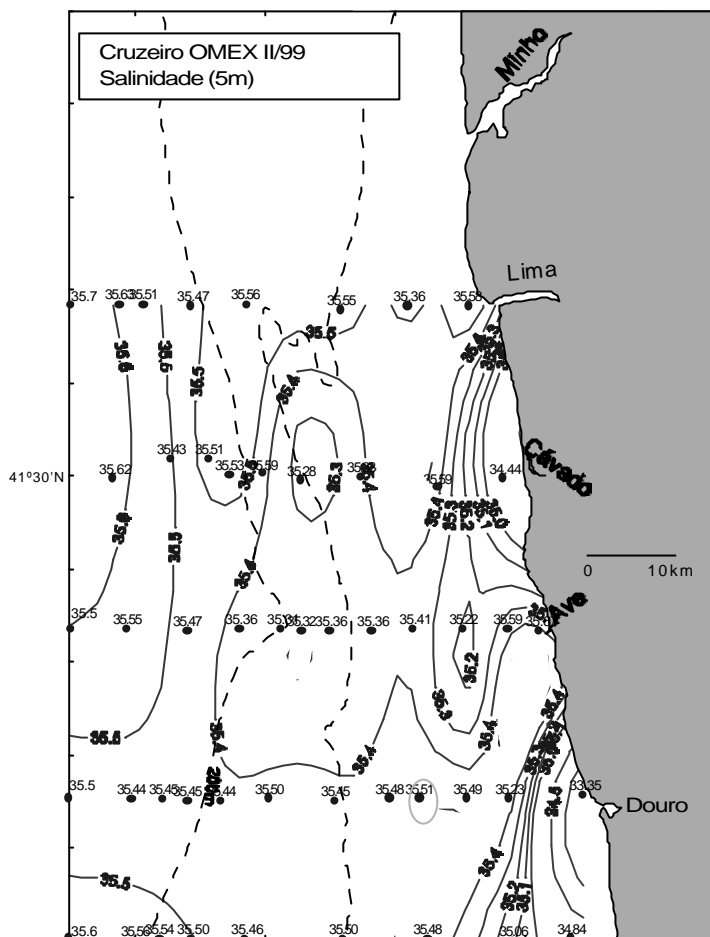


Figura IV-53. Distribuição da salinidade para a campanha OMEX II/99 (Maio de 1999).

1.6.6. Perfis E-W de salinidade

Os perfis E-W mostram, no geral, estratificação salina bem definida, com uma pluma dessalinizada superficial com espessura (10-20m) e extensão variáveis (fig.IV-54). Na secção 1, frente ao rio Lima, esta pluma começa a definir-se na segunda estação da secção (12 km da costa), estendendo-se por cerca de 8,5 km e apresentando espessura aproximada de 15m. Esta posição da pluma afastada da costa representa provavelmente águas que foram libertadas do estuário do rio Lima num ciclo de maré anterior e afastadas da costa pelos ventos de N-NW. Na secção 2, efectuada em frente ao rio Cávado, encontramos 3 zonas de salinidade inferiores a 35,5, bem definidas, separadas por estações com valores de salinidade superiores. Estas bolsas de salinidade inferior correspondem, possivelmente, a 3 ciclos de maré distintos. A bolsa de águas estuarinas, mais afastada da costa, encontra-se a cerca de 46 km da costa, atingindo os 27m de profundidade.

Na secção 3, a área com salinidade inferior começa a definir-se a cerca de 7km da costa, estendendo-se até cerca dos 50 km, podendo atingir os 46m de espessura. A pluma com maior extensão (cerca de 90 km) detectou-se na secção 4, frente ao rio Douro, com uma espessura

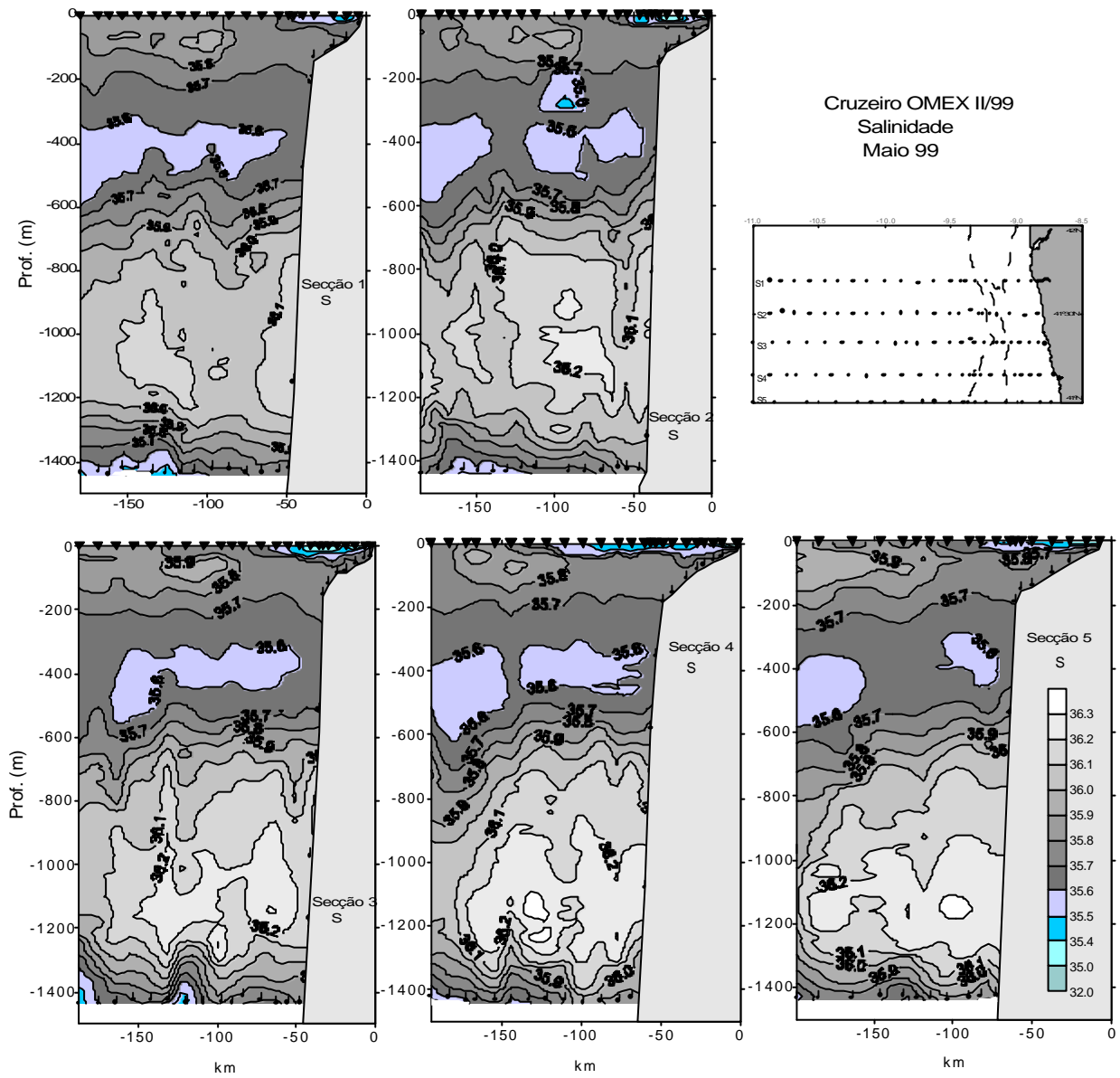


Figura IV-54. Seções E-W de salinidade, realizadas durante o cruzeiro OMEX99.

que varia entre 9m (junto à costa) e 28m (a 50 km da costa). A última secção realizada mostra, à semelhança da anterior, uma pluma superficial lenticular cuja espessura não ultrapassa os 24m e cujo comprimento é de 60 km.

1.6.7. Gradiente de temperatura de superfície

Nesta altura do ano, as águas mais frias encontravam-se junto à costa (13,6°C), devido ao arrefecimento das águas dos rios. A temperatura aumentava gradualmente para o largo, onde se atingia temperaturas de 16,8°C. A área de águas frias localizava-se entre os rios Cávado e Ave.

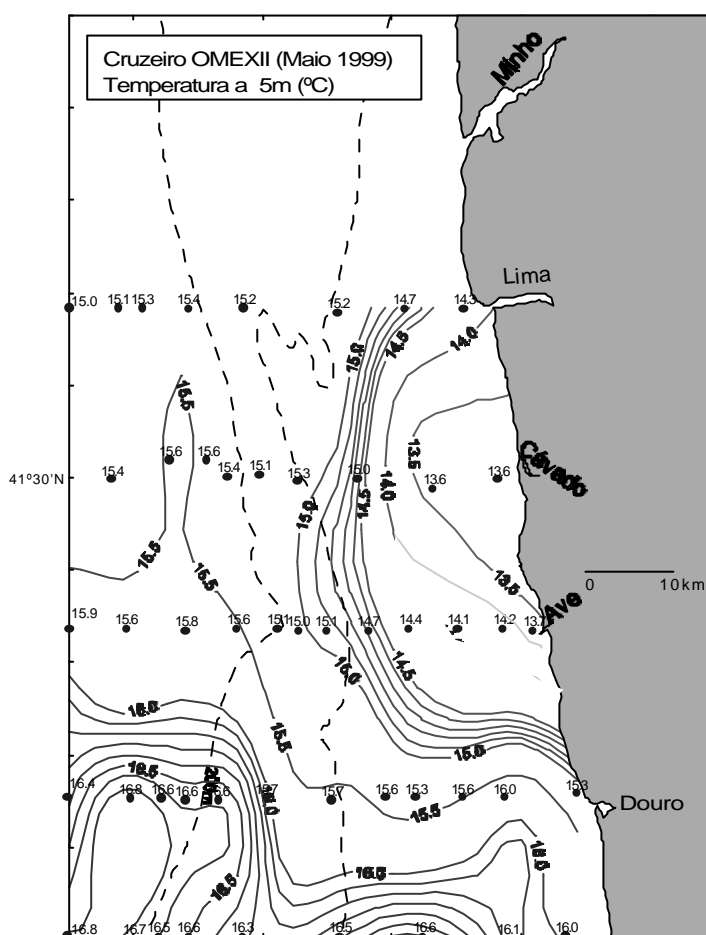


Figura IV-55. Mapa de distribuição da temperatura à superfície (-5m), para o cruzeiro OMEX II/99 (Maio 1999).

1.6.8. Perfis E-W de temperatura

Ao longo do cruzeiro, a termoclina superficial encontrava-se sempre bem marcada, como mostram as figuras IV-56 e 57, existindo um gradiente térmico situado entre os 20 e 60m, o qual separava as águas superficiais, com temperaturas superiores a 15°C, das águas do fundo, mais frias ($T < 13,5^{\circ}\text{C}$).

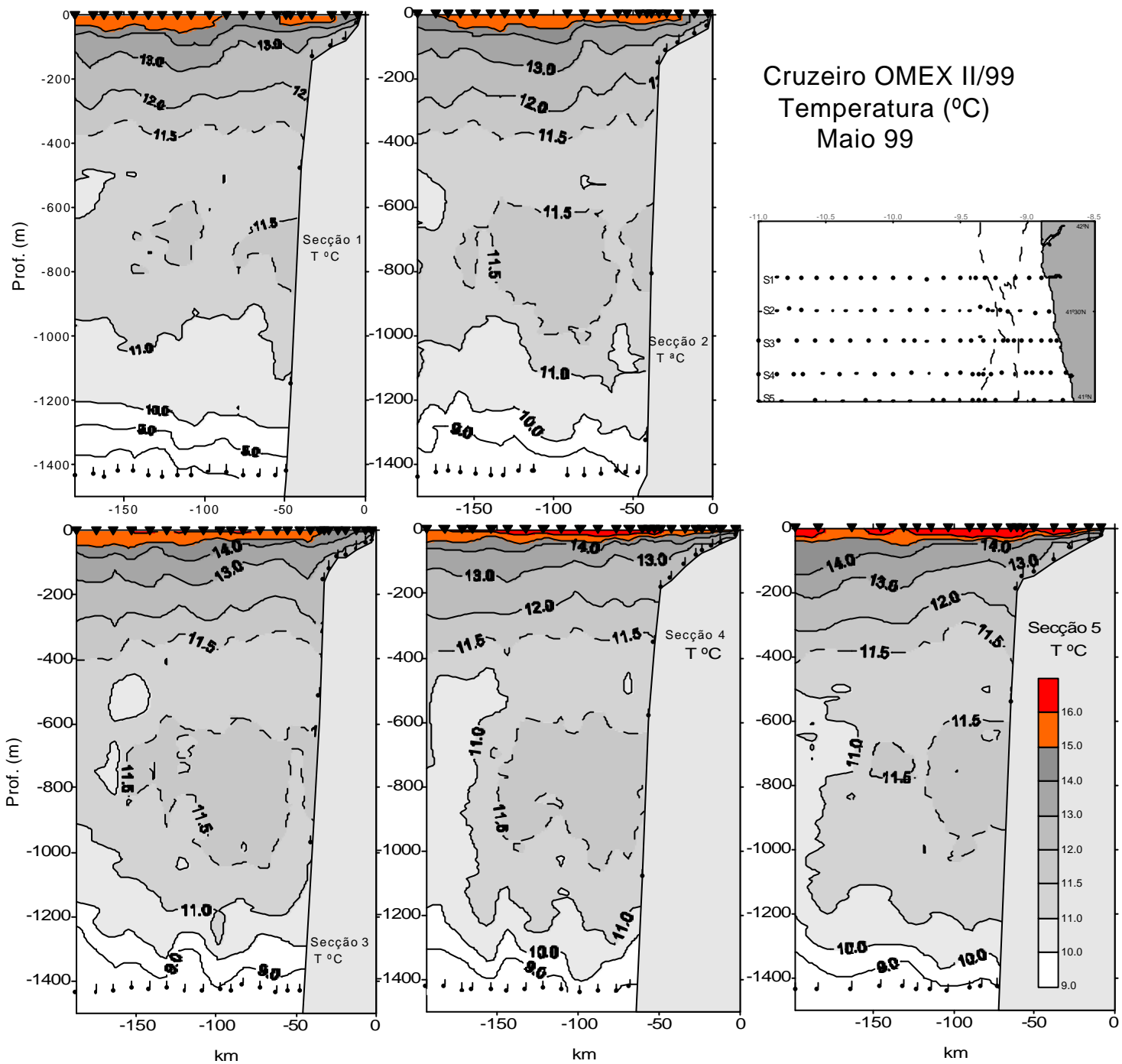


Figura IV-56. Secções de temperatura, realizadas durante o cruzeiro OMEX99.

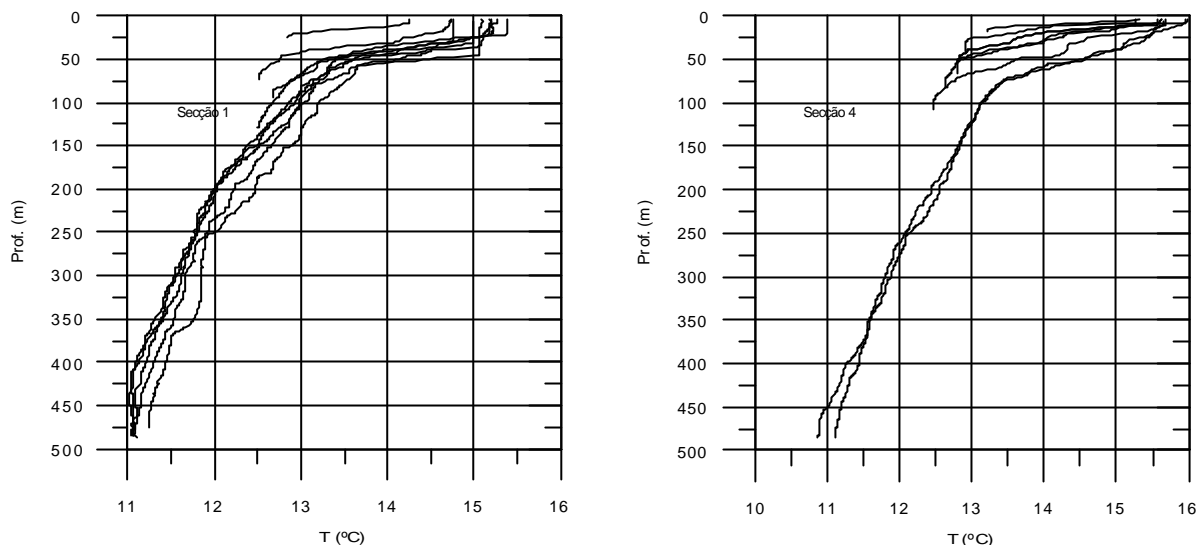


Figura IV-57. Perfis verticais de temperatura para as secções 1 e 4 (mais a Sul).

A inclinação das isotérmicas que se observa nas secções 1, 2 e 3 indica claramente o afloramento de águas marinhas frias (13-14°C).

F.9. Gradiente de densidade de superfície

A carta de densidade de superfície mostra uma estrutura complexa, à semelhança do comportamento apresentado pela salinidade. A estrutura clássica, com um gradiente E-W crescente da desembocadura dos rios para o largo, era por vezes interrompida por bolsas com densidade inferior, existentes sobre a plataforma média e externa (fig. IV-58).

1.6.10. Perfis E-W de densidade

Os perfis E-W de densidade (fig. IV-59) confirmam a existência de estratificação vertical da coluna de água sobre a totalidade da plataforma e vertente continentais e a presença de pequenas bolsas de água com densidade mais baixa, que se podem estender até 50 km da costa.

Confirma-se o fenómeno de upwelling na primeira secção, com o movimento ascensional das isopícnicas na plataforma interna. Na secção 2, na plataforma média, as isopícnicas encontravam-se praticamente verticais nos primeiros 20-30m da coluna de água, intersectando a superfície (frente de upwelling). As duas últimas secções foram cobertas em condições de ventos S-SW, revelando uma rápida erosão das condições de upwelling, com o estabelecimento de uma pycnoclina horizontal.

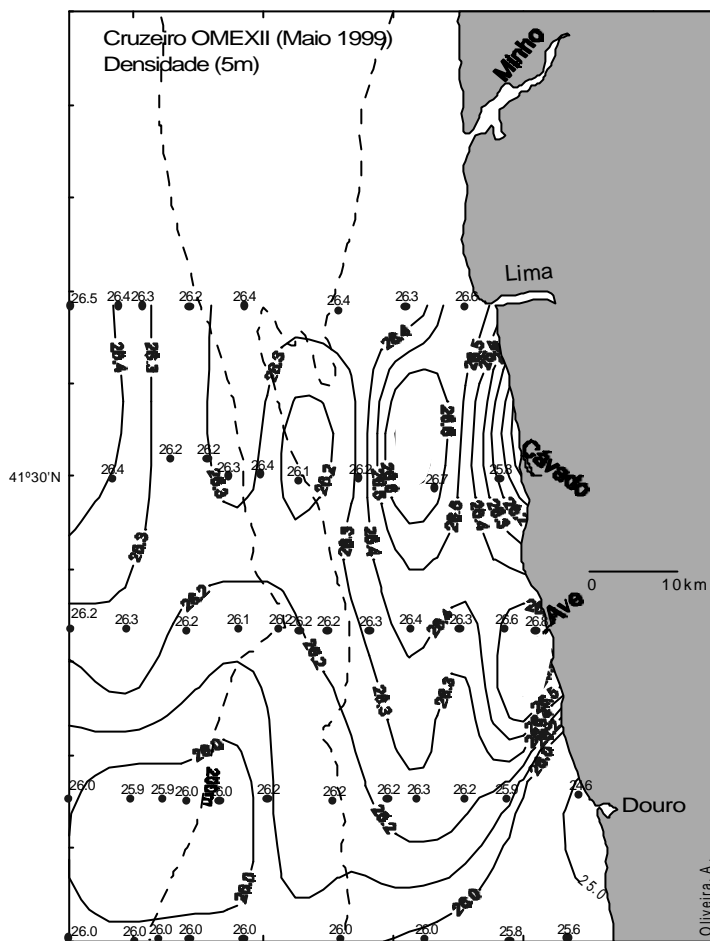


Figura IV-58. Mapa de distribuição da densidade à superfície (5m), para o cruzeiro OMEX II/99 (Maio 1999).

1.6.11. Gradiente de turbidez de superfície e de fundo

Durante esta campanha, os valores de turbidez à superfície eram, de modo geral, baixos, com valor médio de 0,16 FTU (min. =0,06 FTU e max. =0,63 FTU). O mapa de distribuição (fig. IV-60) permite individualizar a pluma túrbida associada com os rios Douro e Cávado, localizada em frente à sua desembocadura. Observa-se também um núcleo de turbidez superior na plataforma média a externa, provavelmente relacionado com o ciclo de maré anterior, visto que corresponde a um local onde a salinidade é ligeiramente inferior aos verificados nas estações em redor. A sua localização, na plataforma em frente aos estuários, relaciona-o com águas estuarinas com turbidez superior, trazidas à superfície pela baixa-mar. O facto de não terem ocorrido ondas e ventos fortes, que provocariam a mistura e homogeneização da coluna de água, permitiu que esta pequena estrutura superficial se conservasse durante mais tempo.

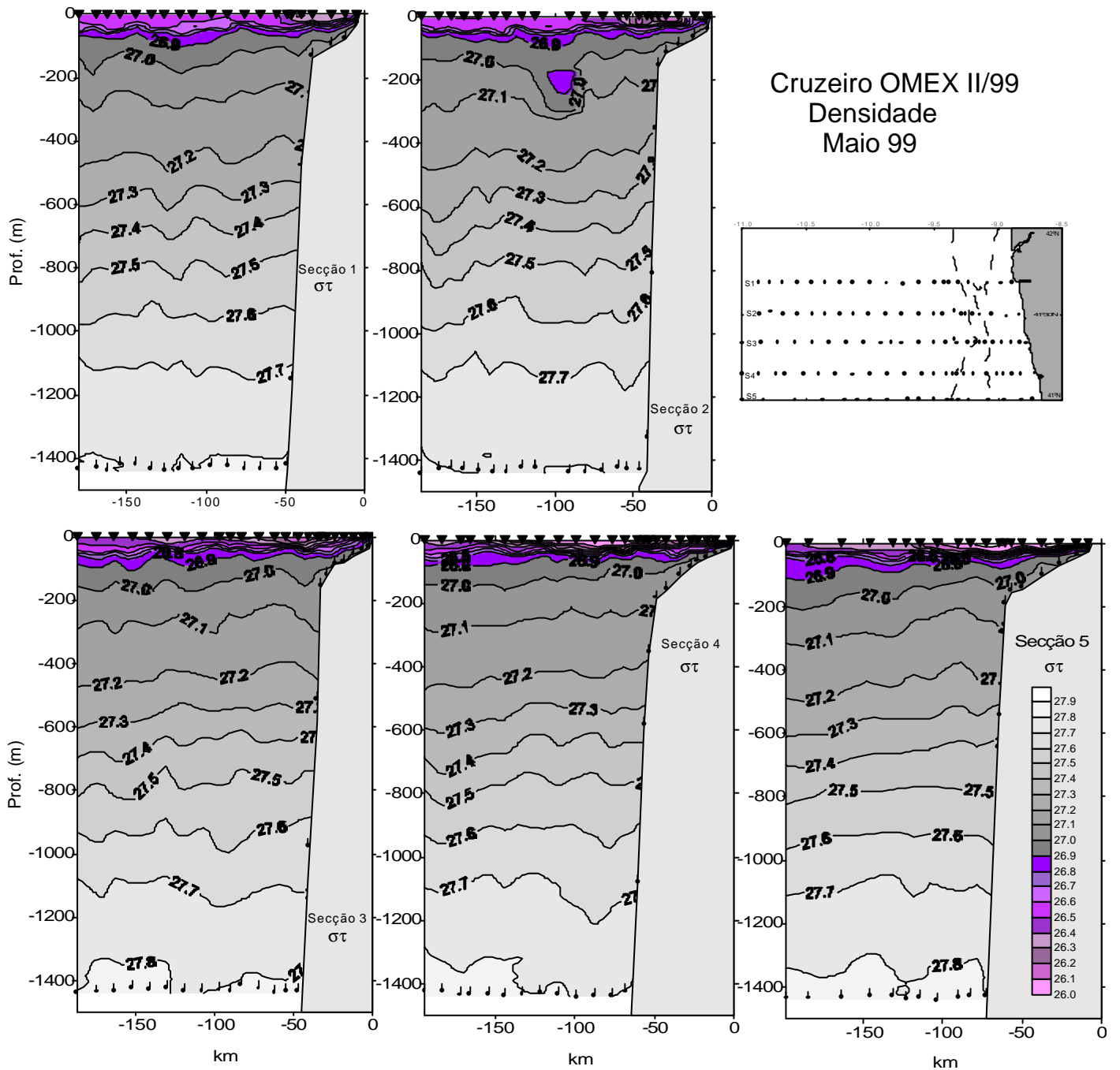


Figura IV-59. Seções E-W de densidade, realizadas durante o cruzeiro OMEX99.

A turbidez no fundo era pouco mais elevada do que à superfície, com valor máximo de 0,86 FTU na plataforma interna perto da desembocadura do rio Douro, decrescendo para valores inferiores a 0,1 aos 200m de profundidade (valor médio de 0,22 FTU). Há três máximos a assinalar na plataforma média, um próximo do limite sul do depósito silto-argiloso do Minho-Galiza com 0,72 FTU, outro a 100m de profundidade, frente ao Cávado (0,34) e o último em frente ao rio Ave (0,76).

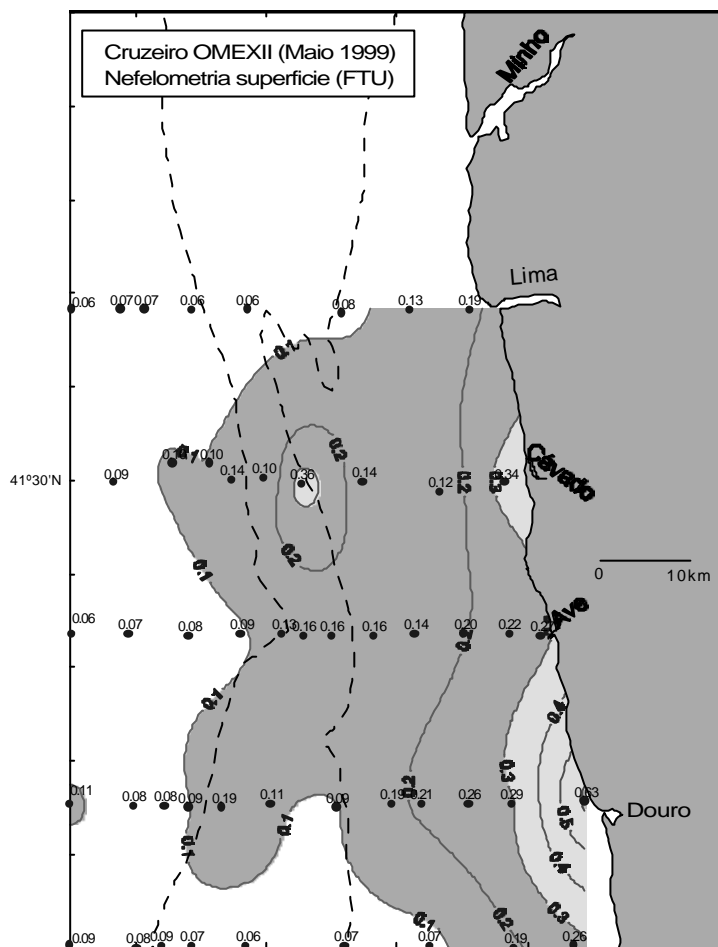


Figura IV-60. Mapa de distribuição da turbidez à superfície (5m), para o cruzeiro OMEX II/99 (Maio 1999).

1.6.12. Perfis E-W de turbidez

Os perfis E-W confirmam os baixos valores de turbidez encontrados ao longo da coluna de água. Contudo, observa-se sempre a presença de um nefelóide de fundo, mais importante que o da superfície, que se estende até ao bordo da plataforma. Com turbidez inferior, o nefelóide de superfície atinge o bordo da plataforma nas secções 2, 3 e 4, encontrando-se mais limitado à plataforma interna a média nas secções 1 e 5 (fig. IV-62). Observam-se, por vezes, empolamentos locais no nefelóide de fundo, principalmente na plataforma média (secções 1,3 e

4), correspondendo à ressuspensão de sedimentos finos do depósito silto-argiloso do Douro. Os perfis verticais mostram a importância do nefelóide de fundo e a presença de alguns níveis intermédios que se desenvolviam, principalmente, no bordo da plataforma e canhão do Porto (fig.IV-63).

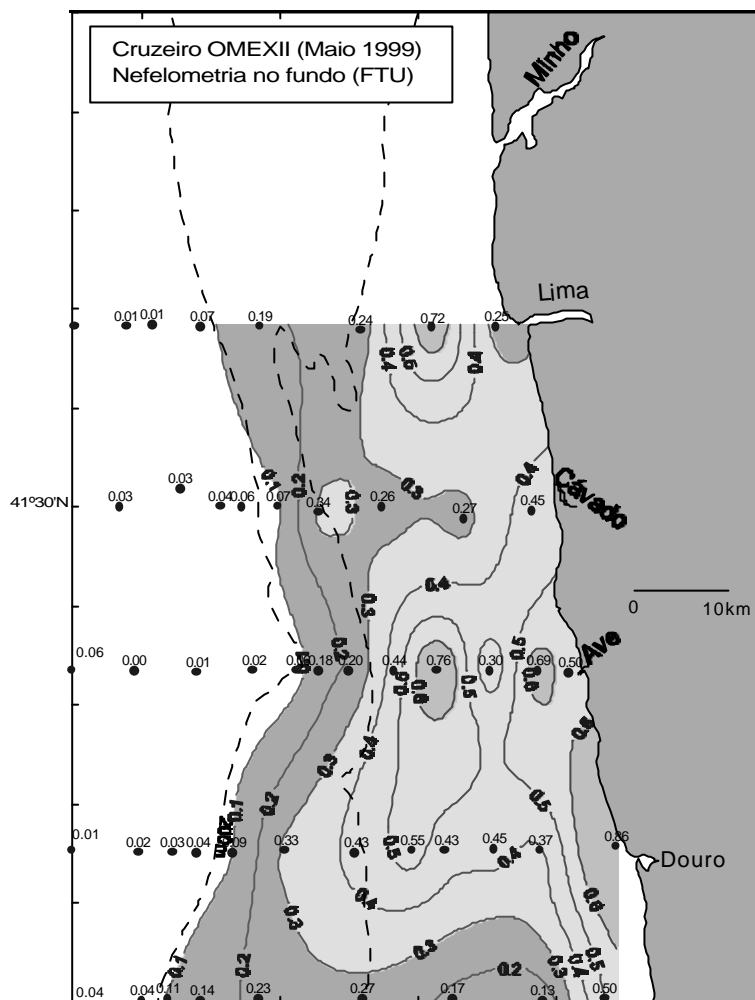


Figura IV-61. Mapa de distribuição da turbidez no fundo, para o cruzeiro OMEX II /99 (Maio 99).

1.6.13. Interpretação das condições hidrológicas e de circulação

A missão OMEX II /99, descreve uma situação de Primavera, precedida por dois meses com caudais fluviais baixos, com excepção do rio Douro, que apresentou caudais diários muito irregulares, com valores que variaram entre 4 m³/s e 618 m³/s (CPPE-Direcção de Produção de Hidráulica). Assim, a zona adjacente ao rio Douro era a mais perturbada pelos fluxos de origem continental (S=33,35). É interessante verificar que a zona adjacente ao rio Cávado (caudal baixo da ordem dos 3-69 m³/s) também se encontrava perturbada por estes fluxos, com salinidades de superfície da ordem dos 34,44.

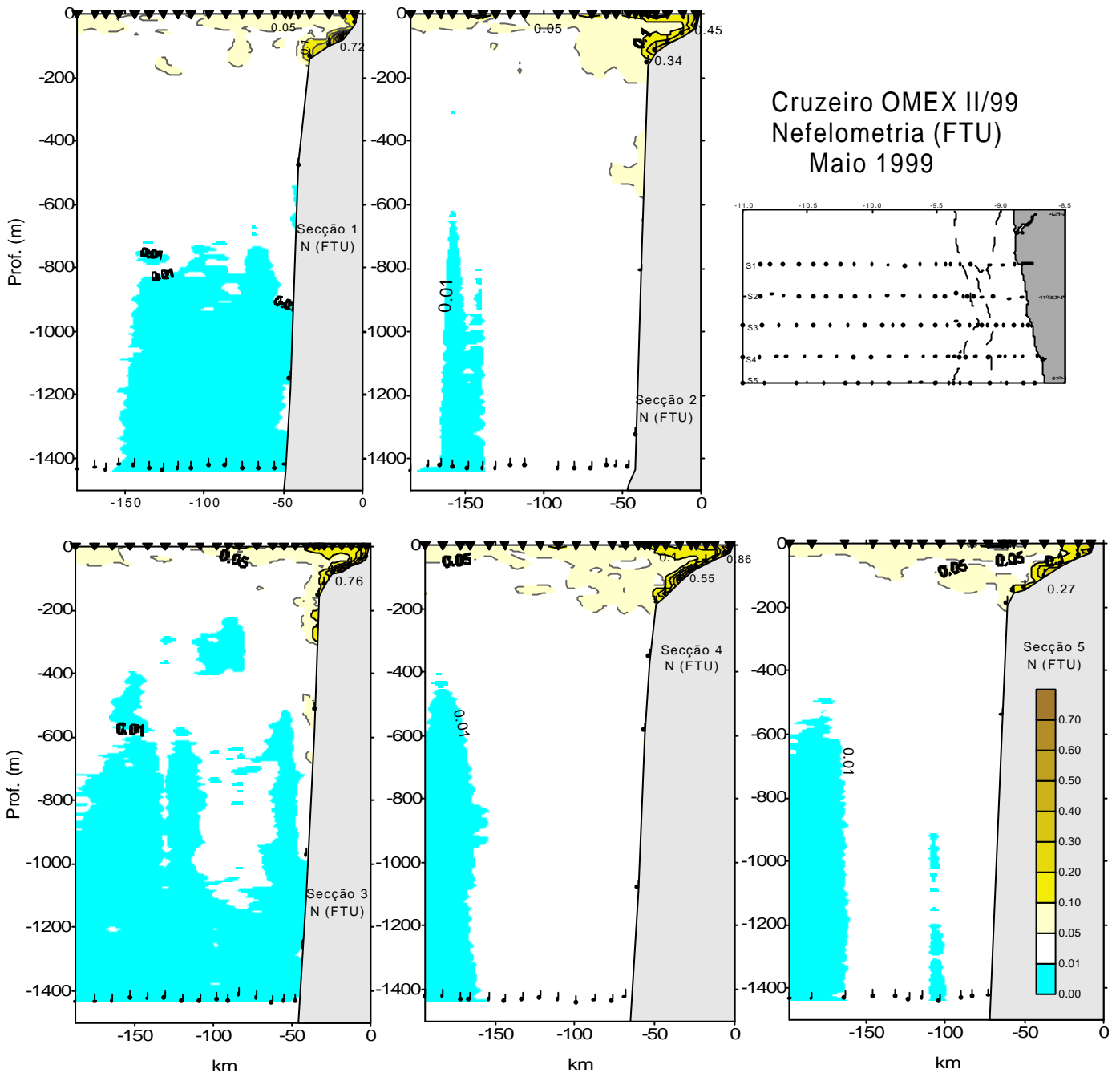


Figura IV-62. Secções E-W de nefelometria, realizadas durante o cruzeiro OMEX99.

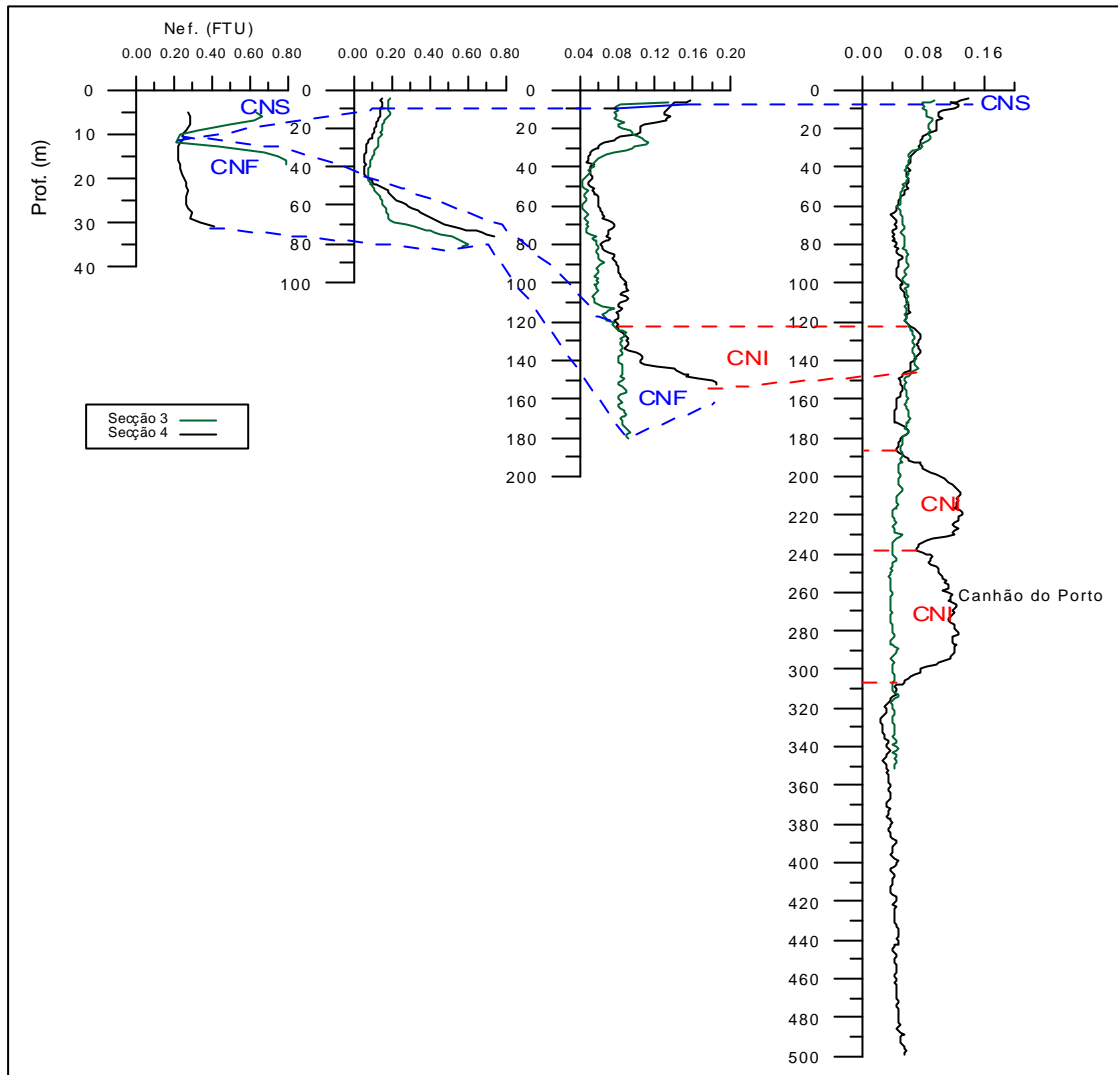


Figura IV-63. Perfis de nefelometria das secções 3 e 4. Delimitação das CNS, CNF e CNI.

Neste período estabeleceu-se uma termoclina sazonal estacionária, que se desenvolvia entre os 30 e os 50m de profundidade e que cobria a totalidade da plataforma. Sobre a termoclina ocorria advecção para o largo da massa de águas costeiras com salinidades inferiores a 35,5. Esta massa de água extensa (90 km junto ao Douro e 8,5 km junto ao Lima) e lenticular ocupava, em média, os primeiros 20m da coluna de água.

A inclinação das isotérmicas observadas nos perfis verticais de temperatura (secções 1,2 e 3) indica claramente o afloramento de águas marinhas frias (13-14°C). Na semana que precedeu o cruzeiro (2-3 dias) e durante o início do mesmo os ventos predominantes foram de N-NW (favoráveis ao upwelling), fazendo com que as correntes gerais fossem para sul com deslocamento das águas superficiais para oeste. Esta corrente superficial para o largo explica a grande extensão das águas costeiras.

A primeira secção corresponde à fase inicial do upwelling, observando-se na plataforma interna um movimento ascensional das isopícnicas. Na secção 2, em resposta ao forçamento contínuo do vento, as águas costeiras apresentavam-se num estágio mais evoluído. Na plataforma média, as isopícnicas encontravam-se praticamente verticais nos primeiros 20-30m da coluna de água, intersectando a superfície (frente de upwelling). Estas observações sugerem que a frente de upwelling (e associado fluxo para sul) anteriormente observado na plataforma interna, com a persistência de ventos norte, migra para o largo, confirmado por estudos prévios realizado por Silva (1992) na mesma área. A migração da frente de upwelling para o largo "empurra" ou impele a deslocação da pluma salina e turbida do rio, no mesmo sentido. Perto da costa, na zona frontal da frente, estabelece-se um regime friccional, que transporta para sul, por advecção, águas estuarinas dos rios localizados mais a norte (Lima e Cávado) (Oliveira *et al.*, 2001).

As duas últimas secções foram cobertas já em condições de ventos S-SW, revelando uma rápida erosão das condições de upwelling, com as águas oceânicas mais quentes a penetrarem de novo na plataforma continental.

Os valores de nefelometria são, no geral, baixos, verificando-se à superfície alguns locais com valores de turbidez superior. Estes valores de turbidez estão provavelmente relacionados com ciclos de maré anteriores, onde houve expulsão de material fino dos estuários para a plataforma sendo depois transportados para o largo devido ao deslocamento da frente de upwelling. A ondulação fraca permitiu a conservação destas estruturas e a corrente superficial para fora a sua deslocação para perto da isóbata dos 100m. Junto ao fundo, os valores de turbidez eram também baixos, embora a CNF se estendesse até ao bordo da plataforma onde se definia algumas CNI. Na secção 3, que atravessa o eixo do canhão submarino do Porto, identificaram-se dois níveis nefelóides intermédios (190-230m e 240-310m de profundidade), que poderão corresponder a descolamentos de material fino das paredes do canhão (Fig. IV-63).

2. Síntese - Evolução sazonal dos parâmetros hidrológicos das águas da plataforma NW portuguesa: temperatura e salinidade

O conjunto de campanhas realizadas entre 1990 e 1999 na plataforma NW portuguesa, no âmbito de diversos programas de investigação, permitiu descrever e conhecer alguns aspectos da hidrologia desta região, submetida à influência de diversos rios, com especial destaque para os rios Douro e Minho.

Estes cruzeiros permitiram o estudo de dois períodos inverniais muito diferentes do ponto de vista hidrológico. O primeiro, destes períodos no início do ano de 1992, caracterizou-se por caudais fracos, e o segundo, realizado no final do ano de 1997, apresentou caudais elevados correspondendo a uma situação mais comum nesta época do ano. Permitiram, ainda, o estudo de uma situação de final de Verão (Setembro de 1990), com ventos predominantes de Este, e de três situações intermédias, com especial relevo para o cruzeiro de Novembro de 1996. Este cruzeiro permitiu descrever a evolução de uma situação de Verão típica, onde prevalece o fenómeno de upwelling associado a ventos de Norte, para uma situação de Inverno, onde dominam os temporais.

A hidrologia da plataforma minhota conhece, assim, uma variabilidade interanual importante, em relação directa com as condições meteorológicas e, em particular, com o regime de chuvas que afectam as bacias hidrográficas e determinam a importância dos fluxos estuarinos expulsos para a plataforma continental. Por outro lado, existe, também, uma variação sazonal bem marcada, relacionada com o regime de ventos predominantes, que vai condicionar e controlar a dispersão do material em suspensão expulso pelos estuários.

2.1. Situação de Inverno

No Inverno estabelece-se, por vezes, uma frente termo-halina norte-sul, paralela à batimetria, que separa as águas costeiras mais frias (<12,5°C) e menos salinas das águas oceânicas mais quentes (>16°C).

A nível mundial, a presença de frentes inverniais termo-halinas foi descrita e caracterizada em diversas áreas como o Golfo da Biscaia (Castaing, 1981; Hermida, 1997), Inglaterra (Simpson, 1981) e as costas Este (Bumpus, 1973; Ingham, 1976) e Oeste dos EUA (Barnes *et al.*, 1972).

Estas frentes estabelecem-se devido ao abaixamento da salinidade das águas estuarinas provocado pelo aumento do caudal dos rios, como aconteceu em Dezembro de 1997, e/ou pelo abaixamento de temperatura das águas costeiras, condicionado pela introdução de águas dos rios arrefecidas pelas massas de ar frio continental (caso de Janeiro de 1992).

A coluna de água da plataforma caracteriza-se por ausência de estratificação, excepto na zona costeira próximo da desembocadura dos rios. Quando os caudais são fortes a estratificação termo-halina encontra-se bem marcada (caso de Dezembro de 1997), verificando-se o oposto quando os caudais fluviais são fracos (caso de Janeiro de 1992).

A ocorrência de temporais com ventos fortes de S-SW (velocidade acima de 10 m/s), promovem um regime de downwelling na plataforma continental norte portuguesa (Vitorino *et*

al., 2000, 2001), com circulação geral dirigida para norte. Em resposta às condições de downwelling, as águas oceânicas de temperatura superior penetram na plataforma, pelos níveis superiores da coluna de água. Perto do fundo, o fluxo é para fora da plataforma, com orientação N-NW (Vitorino, 2001).

2.2. Situações intermédias

Na Primavera, o aquecimento progressivo das águas costeiras e a redução do caudal dos rios, provoca o desaparecimento progressivo da frente salina, dando lugar à termoclina sazonal horizontal que separa as águas frias do fundo (<14°C) das águas quentes e menos salinas da superfície. A coluna de água encontra-se estratificada devido ao aquecimento solar das camadas superiores, com uma termoclina estacionária entre os 25 e 50m de profundidade (Maio de 1999). Com ventos fortes de norte, as águas superficiais são advectadas para o largo e as águas oceânicas frias, abaixo da termoclina, afloram junto à costa. Contudo, a termoclina restabelece-se rapidamente (2-3 dias) com o relaxamento do vento. Em Maio de 1999, observou-se uma massa de água com salinidades mais baixas (<35,3) acima da termoclina. Esta massa de água cobria a plataforma continental e dispersava-se no oceano (fig. IV-58).

No Outono, a transição de uma situação de Verão para Inverno faz-se progressivamente com a passagem sucessiva de temporais de Oeste, como o que ocorreu em Novembro de 1996. A frente termo-halina encontrava-se mal definida (caudais fracos) e as águas estratificadas. Os temporais promovem a homogeneização da coluna de água, com a destruição da estratificação, passando-se progressivamente para uma situação de Inverno, onde geralmente os caudais dos rios também aumentam.

2.3. Situação estival

As águas junto ao litoral galaico-minhoto registam, em Agosto e Setembro, temperaturas médias de 18-19°C. Contudo, de Junho a Outubro verifica-se um arrefecimento das águas costeiras devido ao afloramento (*upwelling*) de águas frias (13-14°C) do fundo, provocado por longos períodos de ventos de norte e noroeste (Fiúza, 1982). Este fenómeno foi observado pontualmente em Maio de 99, mas não em Setembro de 1990.

Vitorino (1989, 1999) e Silva (1992) descrevem em pormenor a circulação residual na costa NW de Portugal durante esta estação, sumariamente descrito no capítulo II.