

3. Níveis nefelóides e MPS

3.1. Concentração das águas em MPS

3.1.1. Cruzeiros PLAMI BEL

Dado que estes resultados já foram apresentados em Oliveira (1994), apresenta-se apenas uma breve síntese dos mesmos. Em Setembro de 1990 (PLAMI BEL I), os valores mais elevados de concentração (mg/l) á superfície (Min:0,2; Max:3,3; \bar{X} =0,9), encontravam-se associados com as desembocaduras dos rios, diminuindo, de forma geral, de Leste para Oeste (fig. IV-64).

Em Março 1991 (PLAMI BEL II), as concentrações à superfície foram muito superiores, com valores extremos de 1,1mg/l (na plataforma externa) e de 8,6 mg/l (na desembocadura do rio Lima). O valor médio de concentração foi de 3,4 mg/l (fig. IV-64).

Para o último cruzeiro realizado em Janeiro de 1992 (PLAMI BEL III), os valores encontrados foram inferiores aos de Março, mas substancialmente superiores aos verificados durante o Verão (Min:0,5; Max:5,7; Med.=1,9).

Devido à importância do rio Douro para a área em estudo, faz-se especial referência à zona da sua desembocadura, de modo a mostrar os comportamentos distintos da sua pluma turbida superficial. No Verão, os valores de concentração superiores encontram-se a oeste da foz (bolsa de concentração superior na plataforma interna, correspondente a um ciclo de maré anterior); em Março, a pluma encontra-se deslocada para norte devido à dominância de ventos de S e SW; e em Janeiro a pluma superficial parece estar a dirigir-se para sul sob a influência dos ventos de NE, já que os valores de concentração superiores se encontram a sul da desembocadura do Douro. Durante estes cruzeiros foram obtidos alguns valores pontuais de concentração na camada nefelóide de fundo, que mostram valores muito superiores aos encontrados à superfície (Tabela IV-2).

Tabela IV-2. Concentração média da MPS (mg/l) na plataforma continental a norte de Espinho (Oliveira, 1995).

	Setembro 90		Março 91		Janeiro 92	
	1m	Fundo	1m	Fundo	1m	Fundo
Desembocadura	1.6	5.1	5.4	-	2.9	6.7
Plat. interna (<30m)	0.8	1.3	3.2	7.0	2.1	5.3
Plat. média (>30m)	0.8	1.7	2.3	2.0	1.5	3.6

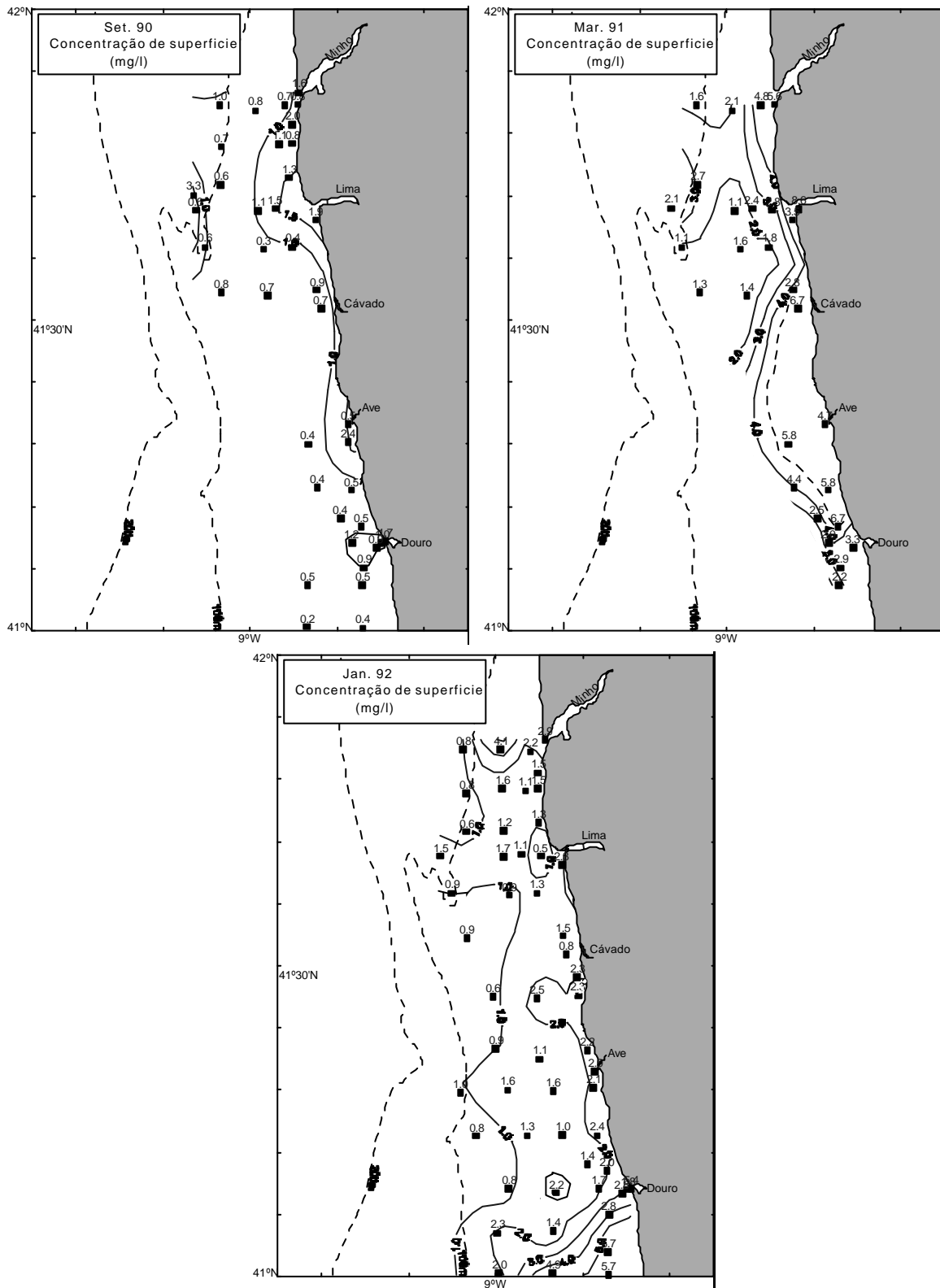


Figura IV-64. Distribuição da concentração (mg/l) à superfície, para os cruzeiros PLAMI BEL (Setembro 1990, Março 1991 e Janeiro de 1992).

Conclusões:

No Verão a concentração à superfície é baixa, com valores na plataforma interna e média geralmente inferiores a 1mg/l, tornando-se ligeiramente superior junto da desembocadura dos rios (Oliveira, 1995). No Inverno, perto dos rios, as concentrações são superiores com valores, por vezes, acima de 5mg/l (rio Douro), mas diminuindo rapidamente para a plataforma interna a média. Os mapas de distribuição da concentração mostram a localização da pluma do Douro, que varia essencialmente com a direcção dos ventos dominantes e com a maré.

3.1.2.Cruzeiro CORVET 96

Os valores de concentração extremos medidos à superfície (-5m) foram, antes do temporal de 19 de Novembro, de 0,1mg/l (na plataforma externa, no extremo NW da área em estudo) e de 1,8mg/l (na plataforma interna, na proximidade do rio Cávado). A concentração média era cerca de 0,6mg/l. Perto do fundo (cerca de 5m do fundo), os valores são mais elevados, principalmente na plataforma interna perto da desembocadura do rio Lima, onde se verificou o valor máximo de 13,8mg/l. A este nível, o valor de concentração médio foi de 2,7mg/l (fig.IV-65), com o mínimo localizado no bordo da plataforma (0,3 mg/l). Em ambos os níveis os valores de concentração diminuía da costa para o largo.

Depois do temporal, os valores de concentração aumentaram significativamente, principalmente na plataforma interna e média. À superfície, embora o valor mínimo fosse muito semelhante (0,12 mg/l), o valor máximo aumenta para o dobro, 3,7 mg/l (valor médio de 1,0 mg/l). Perto do fundo, os valores extremos foram de 18,45 mg/l (plataforma interna a norte do rio Douro) e de 0,4 mg/l (bordo da plataforma), com valor de concentração média de 4,8mg/l. Tal como antes do temporal, os valores de concentração máximos localizam-se perto da costa, com diminuição dos valores para o largo. Contudo, com a passagem do temporal, ocorrem sobre a plataforma média valores de concentração mais elevados, provavelmente relacionados com a ressuspensão dos sedimentos finos do fundo.

3.1.3.Cruzeiro CLIMA 97

Nesta campanha, os valores mais elevados da concentração superficial (5m), foram registados na proximidade da costa e em duas áreas localizadas sobre a plataforma externa e bordo da plataforma (fig.IV-66). O valor médio de concentração encontrado foi de 0,95 mg/l sendo o valor máximo de 5,8 mg/l (plataforma externa a sul do rio Douro) e o mínimo de 0,05 mg/l na vertente continental.

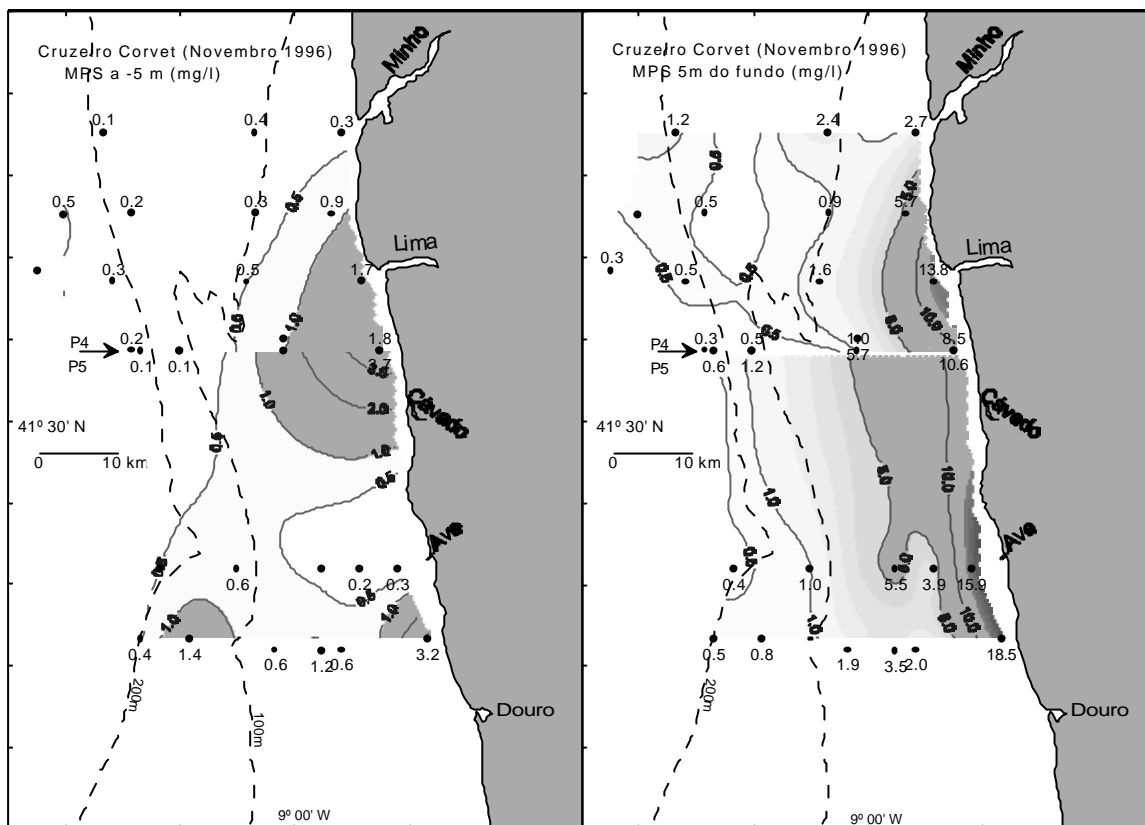


Figura IV-65. Distribuição da concentração (mg/l) à superfície e perto do fundo, para o cruzeiro CORVET 96 (Novembro de 1996). Secções P4 e P5 separadas pelo temporal de 19 de Novembro.

Nas proximidades do fundo (CNF), as concentrações variaram entre 0,2mg/l (bordo da plataforma) e 15,6mg/l (a sul do rio Douro), com valor médio de 2,3mg/l. Como no cruzeiro CORVET, foram observados os valores mais altos de concentração sobre a plataforma média a externa, correspondendo a ressuspensão de partículas do depósito silto-argiloso do Douro. Contudo, no geral, as concentrações mais fortes encontravam-se na plataforma interna, diminuindo para o largo.

3.1.4. Cruzeiro OMEX II /99

Neste cruzeiro, as concentrações encontradas foram baixas, tanto na CNS como na CNF (fig.IV-67). À superfície, os valores de concentração variaram entre 0,07mg/l (plataforma externa) e 4,4 mg/l (plataforma interna perto do rio Douro), com valor médio de 0,87mg/l. Perto do fundo as concentrações variaram entre 0,2 mg/l (plataforma externa) e 3,7 mg/l (plataforma interna perto do rio Douro), com valor médio de 1,0 mg/l.

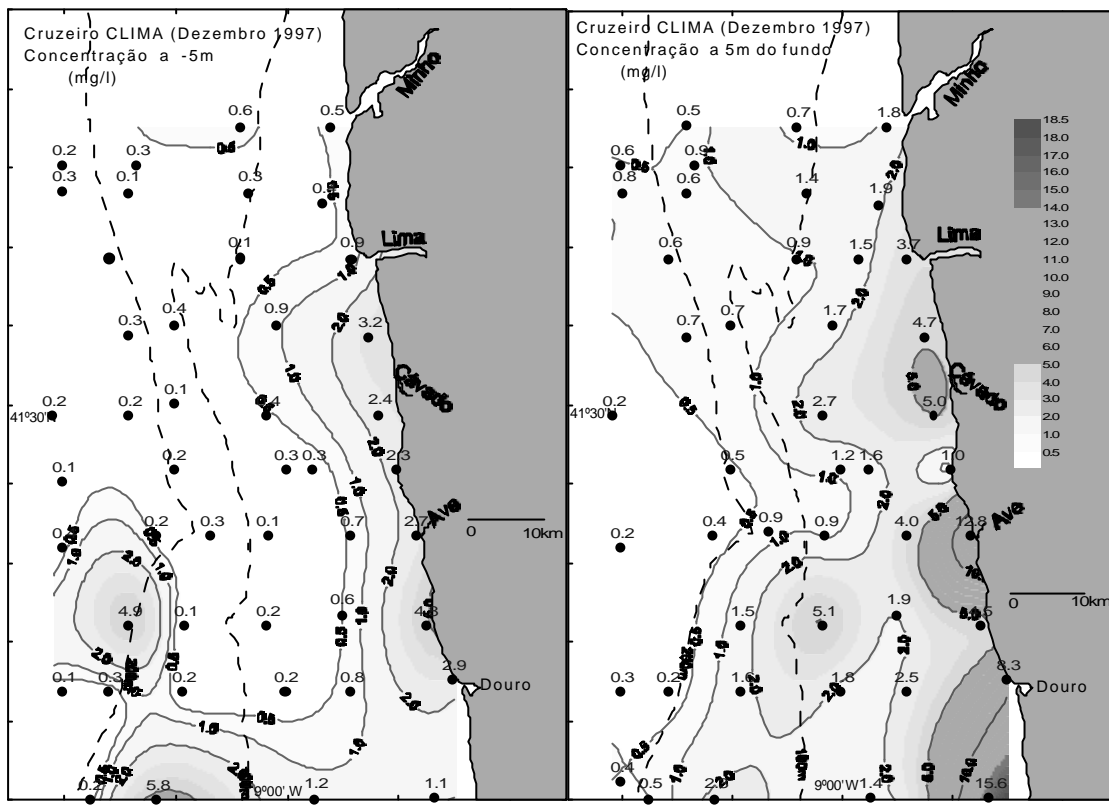


Figura IV-66. Distribuição da concentração (mg/l) à superfície e perto do fundo, para o cruzeiro CLIMA 97 (Dezembro de 1997).

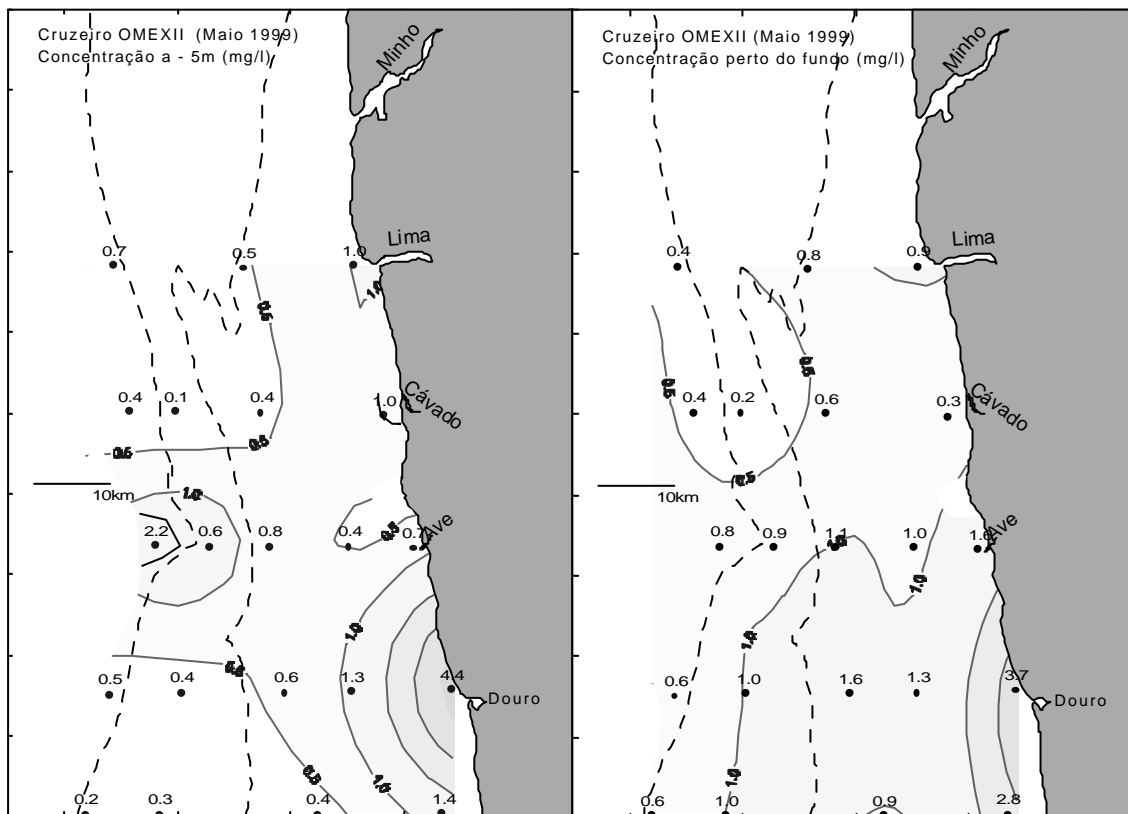


Figura IV-67. Distribuição da concentração (mg/l) à superfície e perto do fundo, para o cruzeiro OMEXII /99 (Maio de 1999).

3.2. Níveis nefelóides e distribuição da MPS - relação com os parâmetros hidrológicos

Como já foi referido anteriormente (Capítulo III), existe uma boa correlação entre os conteúdos de MPS e os valores de turbidez para a CNF, a qual diminui para a CNS.

Os dados nefelométricos obtidos nos cruzeiros mostraram que a área em estudo é caracterizada por baixos valores de turbidez (<3 FTU), indicando que as concentrações de MPS são normalmente baixas. Contudo, concentrações relativamente superiores foram observadas a profundidades baixas nas imediações da desembocadura dos rios e junto ao fundo na plataforma média e vertente superior (fig. IV-68).

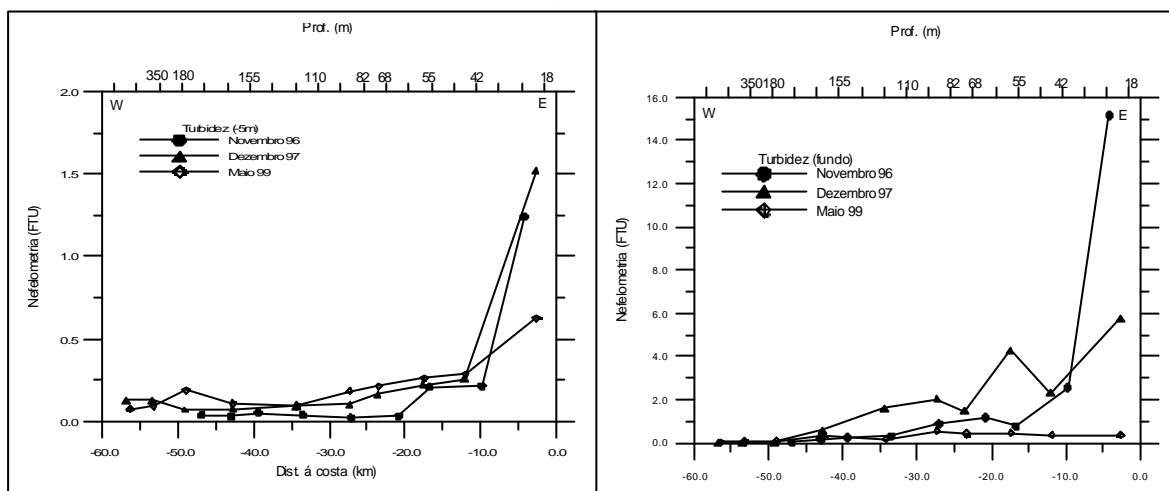


Figura IV-68- Comparação entre os valores de turbidez encontrados à superfície e fundo para os vários cruzeiros.

O período de transição entre o regime de upwelling e o período de inverno (Novembro de 1996), está bem representado na fig. V-69, pelas secções B e D. Os perfis de nefelometria obtidos antes do temporal, mostram a presença de uma estreita CNS (10-20m) e uma bem definida CNF (20-30m). Os valores de turbidez são baixos na CNS, da ordem dos 0.1-1.8 mg/l e na CNF são superiores, com concentrações que variam entre 0.3 e 13.8 mg/l. Depois do temporal, a CNS desaparece (coluna de água homogénea) e perto do fundo (≈ 5 m do fundo), a turbidez decresce da costa até à isóbata dos 50-55m. A partir da isóbata dos 60m a turbidez aumenta ligeiramente até aos 150m, diminuindo drasticamente a partir deste limite para valores de turbidez baixos e constantes. Uma possível explicação para os altos valores de turbidez verificados na plataforma interna é a resuspensão, pela ondulação, do material fino do fundo. Este material, depositado durante o Verão, é novamente colocado em suspensão pelos primeiros temporais de Outono. O aumento de turbidez a partir dos 60m coincide com a ocorrência do depósito silto-argiloso do Douro, havendo nova introdução de partículas finas na CNF através da resuspensão dos sedimentos de fundo. O temporal favoreceu a resuspensão do material fino do fundo que é incorporado na CNF e transportado para o largo. Esta CNF, que

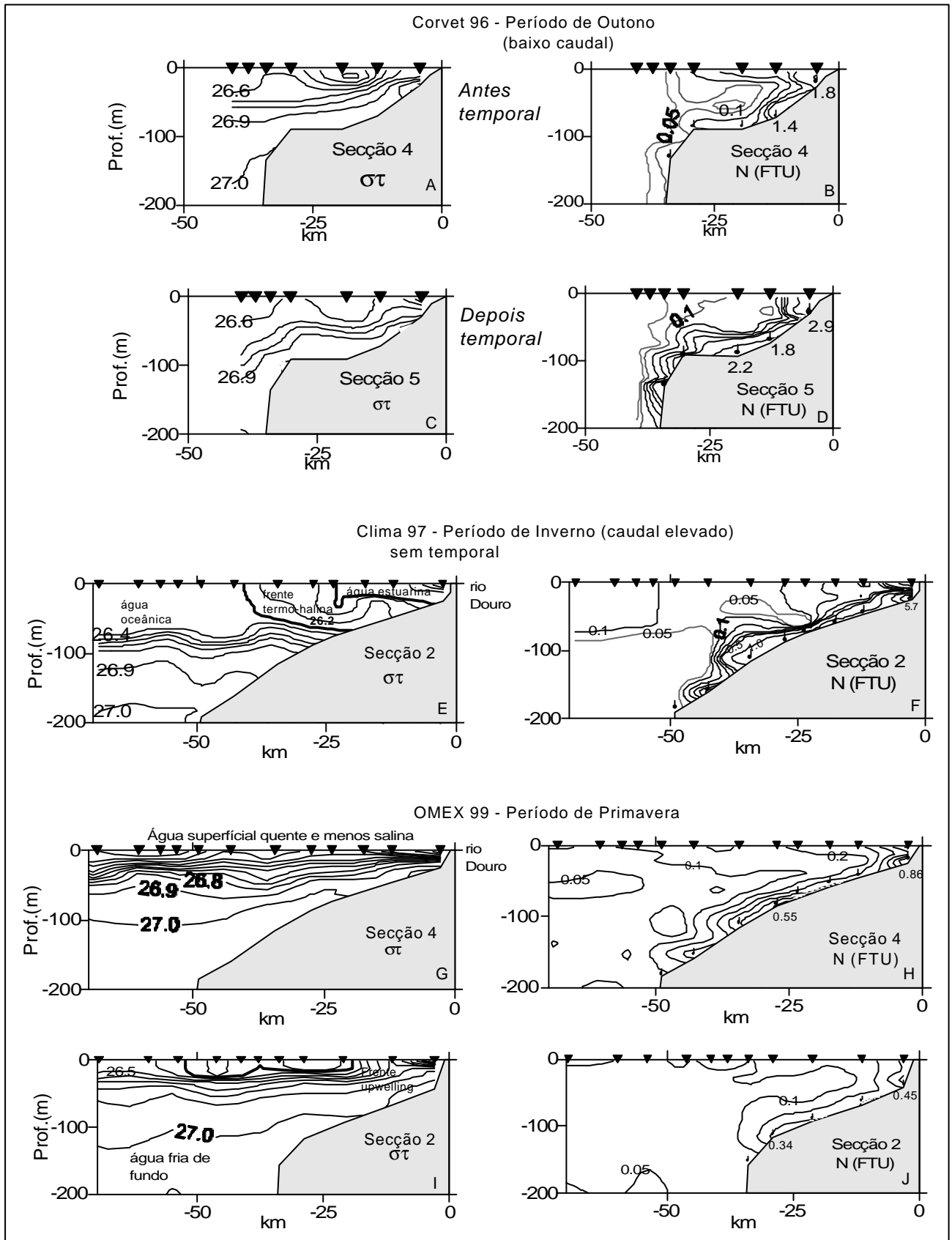


Figura IV-69. Secções perpendiculares à costa representativas da densidade e nefelometria observadas durante os cruzeiros CORVET96, CLIMA97 e OMEX99.

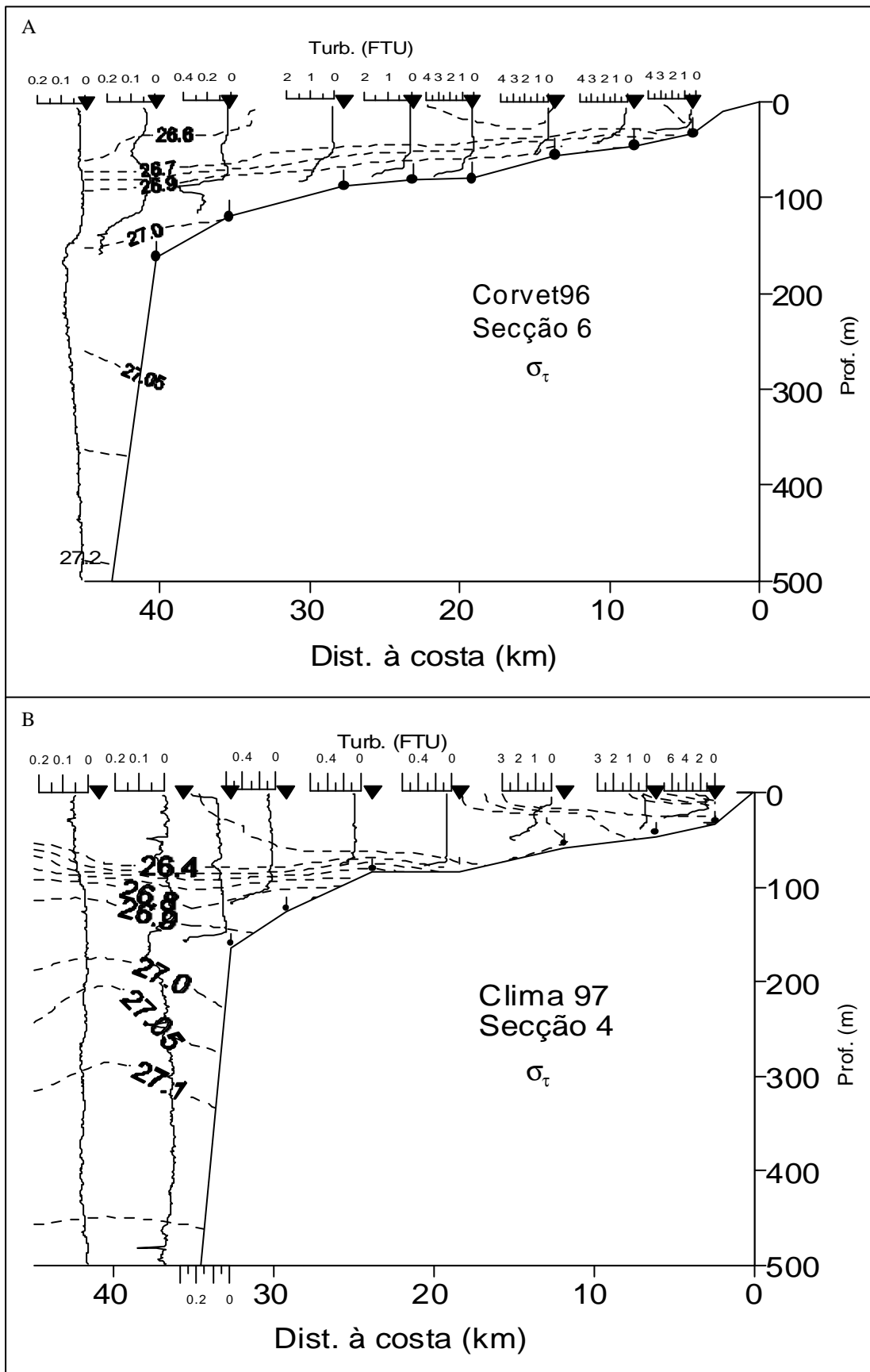
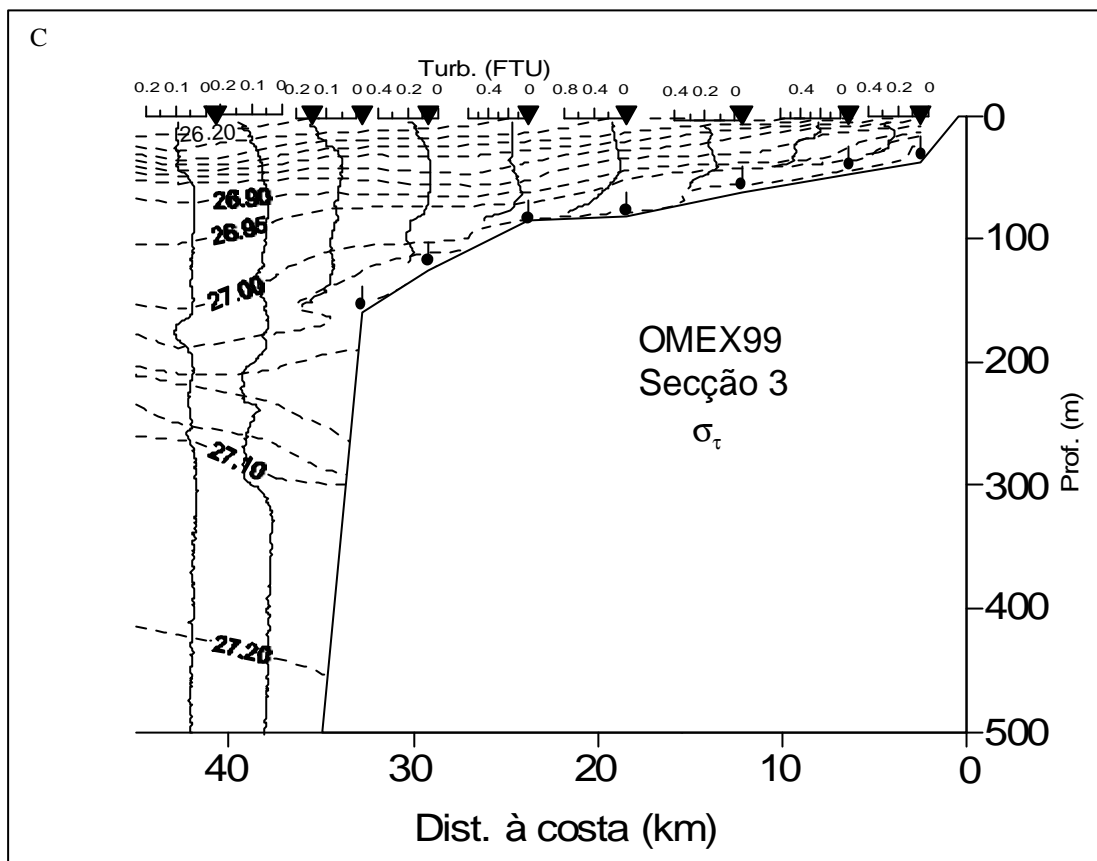


Figura IV-70. Relação entre os perfis verticais de nefelometria e isopícnicas verificadas na secção que atravessa o canhão do Porto. A) CORVET96; B) CLIMA97 e C) OMEX99 (página seguinte). Linhas a tracejado indicam as isopícnicas. Notar que nos diferentes perfis de turbidez (FTU), existe um decréscimo da escala de turbidez à medida que se caminha para o largo.



(Ver legenda na página anterior)

pode atingir espessuras de 30-50m, foi detectada no bordo da plataforma, estendendo-se pela vertente até profundidades da ordem dos 350-400m. Valores ligeiramente superiores de turbidez foram observados na área da vertente superior (fig. IV-70), indicando a presença de uma camada nefelóide intermédia (CNI) que se destacou do fundo; são geralmente níveis muito ténues.

Em Dezembro de 1997, os valores de turbidez observados ao longo da coluna de água variaram entre 0.02 e 9 FTU, que corresponde a uma concentração de partículas de 0.1 a 16mg/l (valor observado na CNF a sul da desembocadura do rio Douro). O valor mais baixo de turbidez foi observado à superfície longe da influência dos rios e a níveis intermédios. Na plataforma média, os valores de turbidez eram cerca de 0.1 FTU da superfície até aos 60-80m de profundidade, apresentando uma coluna de água homogénea devido à mistura de Inverno, provocada pela ondulação (fig. IV-70B).

No bordo da plataforma e vertente superior as concentrações de MPS observadas na CNF, com 10-50m de espessura, foram semelhantes às medidas durante Novembro de 1996, após 3-4 dias do temporal. No entanto, perto da costa, o maior débito fluvial permitiu o estabelecimento de uma frente termo-halina que aparentemente inibia a transferência de partícula para o largo. Esta frente afectava toda a coluna de água (60-70m) ou sobretudo a

CNS dependendo da proximidade à desembocadura do rio Douro. A partir deste limite a turbidez na CNF aumenta por cima do depósito fino da plataforma média (Fig. IV-69F), mas com mais baixos valores de turbidez e com espessura menor (10-20m) do que em períodos de temporal. Na vertente superior a profundidades de 160-180m, observa-se uma reduzida mas distinta CNI relacionada com o descolamento da CNF (fig. IV-70b).

Durante Maio 1999, a distribuição da turbidez evidencia claramente a CNS e CNF bem separadas (Fig. IV-68H), apresentado extensão semelhante mas com valores de turbidez muito inferiores aos observados de Inverno e Outono. A frente termo-halina desapareceu e já não existe bloqueio à transferência de partículas para o largo, principalmente na CNS (30-40m) que se estende para oeste, até ao bordo da plataforma. As concentrações de MPS variam entre 0.1 e 4.4mg/l. A CNF está bem definida e apresenta uma espessura de 20-30m. Na CNF a turbidez diminui até à isóbata dos 60m, aumentando também ligeiramente sobre o depósito fino do Douro. A profundidades superiores a 200m a CNF não foi detectada. Quando a frente de upwelling (fig.IV-69I) se estabeleceu na plataforma interna a média, devido aos ventos de N-NW, a água estuarina (e as partículas na CNS) parecem estar aprisionadas junto à costa (fig. IV-69J), mas com a migração para o largo desta frente, a extensão da CNS permanece a mesma. Os aportes de MPS são mais reduzidos, assim como o efeito da onda, mantendo menor quantidade de partículas em suspensão que se depositam mais facilmente na plataforma. Contudo ao longo da vertente superior, distinguem-se três CNI observadas a várias profundidades (120-150m; 190-230; 240-310m), provavelmente associadas com o descolamento de sedimentos finos da parede do Canhão do Porto (fig. IV-70C).

No geral, os valores de MPS observados são compatíveis com os descritos para o Golfe de Lion, onde o conteúdo de MPS nas águas superficiais varia entre 0.8 e 3 mg/l (Durrieu de Madron et al., 1990). Perto do fundo, as concentrações observadas em alturas de temporal são também semelhantes às do Golfe de Lion (4mg/l) e do rio Ebro (Palank & Drake, 1990), mas três vezes inferiores às observadas durante a Primavera. No rio Gironda, as concentrações observadas são mais elevadas (>5 mg/l).

3.3. Formação e desenvolvimento dos níveis nefelóides

Os dados da fig. IV-70 sugerem que o desenvolvimento das camadas nefelóides está intimamente relacionada com a distribuição da densidade e com a estratificação da coluna de água. As isolinhas de concentração por vezes sobrepõem-se às isopícnicas. Nos três cruzeiros observava-se que a superfície de densidade $\sigma_t \approx 26.9 \text{ kg m}^{-3}$ se situava, aproximadamente, na

base da pycnoclina. A evolução desta superfície permite caracterizar as condições hidrográficas e o desenvolvimento dos níveis nefelóides.

Durante o cruzeiro CORVET96, o limite superior da CNF, situa-se na pycnoclina. A superfície de densidade $\sigma_t \approx 26.9 \text{ kg m}^{-3}$ ocupa praticamente toda a plataforma até à plataforma interna (30-50m de profundidade). No cruzeiro CLIMA97, esta superfície desce para o bordo (150-160m de profundidade), limitando a formação da CNF e aumentando a camada de mistura superficial. No cruzeiro da Primavera, esta superfície de densidade sobe novamente ocupando toda a plataforma, permitindo o aumento de espessura da CNF. A CNS (maioritariamente constituída por partículas orgânicas) forma-se encontrando-se claramente limitada por isopícnicas.

A maior parte das partículas presentes na CNF são inorgânicas (Capítulo V), resultando em grande parte dos processos físicos de ressuspensão. Vitorino *et al.*, (2001), apresentam uma discussão sobre os processos que afectam a margem norte Portuguesa.

Na plataforma interna e média o mecanismo de ressuspensão dominante é a onda de superfície. Estimativas baseadas na medição da onda na plataforma média (86m) sugerem que de Inverno, a velocidade de corte da onda frequentemente excede os 1 cm/s, assumida como a velocidade de corte crítica para ressuspensão dos sedimentos finos da plataforma norte. Durante temporais como o observado em Novembro de 1996, a velocidade de corte da onda era superior a 2,5-3cm/s, formando uma CNF com cerca de 20-30m de espessura.

As correntes de baixa frequência (períodos acima de cerca de 2 dias) podem também ressuspender o sedimento de fundo. Foram observadas correntes acima de 25 cm/s (para norte ou para sul) tanto no Inverno (fig. II-10) como na Primavera, promovendo velocidades de corte acima do valor crítico de ressuspensão.

As ondas internas causam também ressuspensão, sobretudo na plataforma externa associadas a condições particulares de estratificação. Durante o Inverno, a pycnoclina intercepta o fundo a profundidades de cerca de 80-100m, formando uma região frontal (fig. IV70B). As ondas internas e marés geradas no bordo da plataforma, com períodos abaixo de 14h, podem ser transmitidas para terra e intensificadas perto do fundo (Vitorino *et al.*, 2001), promovendo a remobilização do sedimento fino da plataforma. Este mecanismo afecta sobretudo a plataforma externa, mas em temporais extremos a região frontal pode atingir o depósito fino do Douro e promover a sua erosão.

No Outono -Inverno, a CNF expande-se para a vertente, seguindo as isopícnicas (Fig. IV-70). Ao longo do bordo da plataforma, a CNF destaca-se, formando CNI. A profundidades superiores observam-se CNI mais pequenas.

No cruzeiro de Maio de 1999, ao longo da vertente superior foi observada a presença de CNI. A origem e desenvolvimento destas CNI podem dever-se à associação da corrente da vertente com as marés. Nos meses de Verão e Primavera, verificou-se existir intensificação das correntes tidais da plataforma interna para a vertente superior (Vitorino & Coelho, 1998). Na vertente superior, as elipses de maré semi-diurnas (velocidades de correntes da ordem dos 15-20cm/s) estão polarizadas segundo a direcção do bordo da plataforma, promovendo importantes movimentos transversais (Vitorino & Coelho, 1998). No Inverno, a corrente da vertente encontra-se à superfície com velocidades máximas de 20-35cm/s a 50m de profundidade (Frouin, *et al.*, 1990). No Verão-Primavera, o núcleo de velocidade máxima encontra-se aos 100-150m de profundidade podendo exceder a velocidade crítica de erosão, de 15-20 cm/s, para a formação de CNI (Mc Cave, 1984; Gross & William, 1991). O sedimento assim ressuspensão iria ser transportado para norte ou para o largo associado com a maré.

Em período de Verão, Hall *et al.* (2000) também propõem uma intensificação na formação de CNI devido ao upwelling e transporte para o largo e à existência da corrente da vertente para o equador a níveis superficiais.

3.4. Conclusões

A distribuição espacial da MPS na plataforma e vertente continental e a sua relação com os parâmetros hidrológicos permitiu evidenciar alguns dos processos envolvidos na transferência das partículas em situações contrastadas (Inverno e Primavera).

Os resultados obtidos indicam que: a) Existe um gradiente geral de diminuição das concentrações de Este para Oeste; b) A turbidez é sempre superior perto do fundo (CNF) do que na superfície (CNS); c) A transferência do material fino é essencialmente feito na CNF, favorecido pelas correntes de downwelling, presentes em temporais de S-SW; d) Dependendo da circulação geral e da acção da onda, os valores de turbidez aumentam na plataforma média (depósito silto-argiloso do Douro), perto do canhão submarino do Porto. Os sedimentos finos são remobilizados e transportados para norte para a plataforma Galega ou para NW em direcção ao eixo do canhão do Porto; e) O eixo do canhão submarino do Porto representa certamente uma das áreas preferenciais para introdução da MPS na vertente continental e planície abissal.