

### 3. Características granulométricas das suspensões

#### 3.1. Introdução

O conhecimento da granulometria das partículas terrígenas em suspensão é um parâmetro essencial em qualquer estudo de dinâmica sedimentar. A dimensão, a forma e a densidade das partículas são os principais factores que determinam a velocidade de queda, a qual por sua vez, constitui um parâmetro básico na distribuição dos sedimentos ao longo da coluna de água. A distribuição das partículas pelas diferentes classes granulométricas é igualmente importante, visto que as partículas maiores (ex. areias) são eficientes para o transporte de massa, enquanto que partículas menores (ex. argilas) são mais importantes biogeoquimicamente (como transportadores de contaminantes).

Muitas das determinações das características granulométricas das suspensões presentes em águas da plataforma e do oceano profundo foram realizadas com o *Coulter Counter*, utilizando águas colhidas com garrafas hidrográficas (Brun- Cottan 1971; Pak *et al.* 1980; McCave, 1983, Eisma, 1993). Embora muito versátil, este aparelho produz informação que é função da distribuição do volume das partículas, não sendo directamente relacionável com a velocidade de queda (Swift *et al.*, 1972). Foram também utilizados outros equipamentos, como o microscópio (óptico e de varrimento) com a contagem directa de partículas, de modo a produzir espectros numéricos (Harris, 1977; Lambert *et al.* 1981) e o método tradicional de pipetagem (Lei de Stokes).

Recentemente, apareceram as análises sedimentológicas automáticas realizadas a partir da absorção de raios x (Sedigraph) e da difractometria laser (Malvern). O Sedigraph baseia-se na lei de Stokes para medir a velocidade de queda das partículas, deduzindo o seu diâmetro em função da densidade do material, fornecendo assim uma informação directa sobre a "dinâmica" do depósito (Weber *et al.*, 1991). As medidas por difractometria laser também fornecem uma informação da dimensão das partículas, mas em função da difracção da luz (as partículas de determinado tamanho difractam a luz segundo um ângulo que aumenta com a diminuição do tamanho da partícula). Estes dois métodos, baseados em princípios diferentes fornecem diâmetros e o mesmo tipo de parâmetros de distribuição (média, mediana, classes...). Contudo, conduzem a diferenças na percentagem das diversas fracções, particularmente em sedimentos finos com elevada percentagem de argilas, dando resultados similares em sedimentos areno-siltosos (McCave, 1986; Singer *et al.*, 1988). A forma planar das partículas de argila induz considerável diferença entre as granulometrias feitas por pipetagem e a laser. O Malvern utiliza três lentes com comprimento focal de 63, 100 e 300mm. O comprimento da

focal determina a gama de dimensões que vai ser analisada. Para as lentes de 63, 100 e 300mm os limites são respectivamente: 1.2 $\mu\text{m}$  a 118 $\mu\text{m}$ , 1.9 $\mu\text{m}$  a 188 $\mu\text{m}$  e 5.6 $\mu\text{m}$  a 564 $\mu\text{m}$ . Este instrumento, abaixo do limite analítico, não dá boas indicações sobre a quantidade de material presente. A quantidade indicada entre os 0.5 $\mu\text{m}$  (comprimento de onda da luz) e os 2 $\mu\text{m}$  é apenas cerca de 16-20 % do material realmente existente na fracção inferior a 2 $\mu\text{m}$  (McCave *et al.*, 1986). Weber *et al.* (1991) concluíram que o Malvern é preferencialmente adaptado ao estudo dos siltes. Embora não ignore as argilas, estas são incluídas na fracção silte fino (<15 $\mu\text{m}$ ), sendo difícil avaliar directamente as suas percentagens. Comparando com os outros método de análise (Sedigraph e pipetagem) uma estimativa da percentagem de argila pode ser feita pela percentagem da fracção inferior a 6-7 $\mu\text{m}$  (Weber *et al.*, 1991). Mais recentemente, Konert & Vandenberghe (1997) estabeleceram que o tamanho 2 $\mu\text{m}$ , definido pelo método da pipeta corresponde a 8 $\mu\text{m}$  definido pelo *Laser Particle Sizer*.

Estas técnicas dão-nos uma medida da distribuição granulométrica, mas perturbam os frágeis agregados e flóculos que existem em ambiente marinho (Kranck, 1973,1981; Gibbs, 1981, 1982a). O reconhecimento de que a floculação é um processo que agrega as partículas com modificação do seu diâmetro e conseqüente aumento da velocidade de queda, incentivou as determinações *in situ*, utilizando tubos ópticos (Zaneveld *et al.*, 1982; Spinrad, *et al.*, 1989). Estes tubos ópticos permitem ter uma imagem de flocos de grandes dimensões (*marine snow*), agregados orgânicos e inorgânicos que se desagregam ao serem recolhidos e analisados. O sistema digital de vídeo e as imagens fotográficas também nos dão uma visão das formas das partículas e as suas variações temporais.

No presente estudo, a análise dimensional das partículas em suspensão foi determinada utilizando a difractometria laser, em amostras previamente desagregadas por ultra-sons, com a focal de 100 $\mu\text{m}$  (Capítulo III). Pretenderam-se analisar as variações granulométricas da fracção inorgânica (sem agregados) da MPS que é transportada pelos rios para a plataforma continental a norte de Espinho. Outro objectivo desta análise consistiu na comparação deste espectro de dimensões com os sedimentos superficiais (primeiro cm) dos depósitos silto-argilosos presentes entre os 70 e 100m de profundidade, gama de profundidades preferencial para a deposição da MPS estuarina.

Estudos anteriormente realizados nesta área, utilizando o mesmo método, mostraram que as suspensões são essencialmente silto-argilosas (Oliveira *et al.*, 1994; Oliveira, 1995). A fracção superior a 63 $\mu\text{m}$  (areia) só muito raramente atinge os 20% do total e a fracção dos siltes

grosseiros a médios (15 a 63µm) apresenta uma contribuição importante (30-50%), enquanto que o silte fino e a argila (<15µm) atingem valores de 40-80% de Inverno e 30-65% de Verão.

**3.2. Análise granulométrica das suspensões de Inverno**

No cruzeiro de Novembro de 96, as partículas colhidas na CNS (-5m), são essencialmente silto-argilosas (fracção <15µm superior a 60%, com diâmetro médio compreendido entre 6 e 35 µm (Apêndice E). Os siltes são mal calibradas ( $\sigma > 1$ ) e a assimetria tem tendência para ser positiva (58% dos casos). Apenas 12% das curvas apresentam assimetria negativo e 29% são curvas simétricas.

Os gráficos de correlação interparâmetros (Fig.V-36) mostram uma tendência para variações longitudinais e baixa dependência do diâmetro médio. Verifica-se que o diâmetro médio da MPS aumenta sensivelmente de Este para Oeste (fig.V-37), atingindo um máximo na vertente continental. O estudo da variação longitudinal da média mostra que os siltes com diâmetro médio mais reduzido (<10µm) predominam no plataforma interna (30-40m), exibindo curvas de distribuição mal calibradas e com assimetria muito variável. Estes siltes finos representam certamente a MPS que estava ser introduzida pelos rios na plataforma interna.

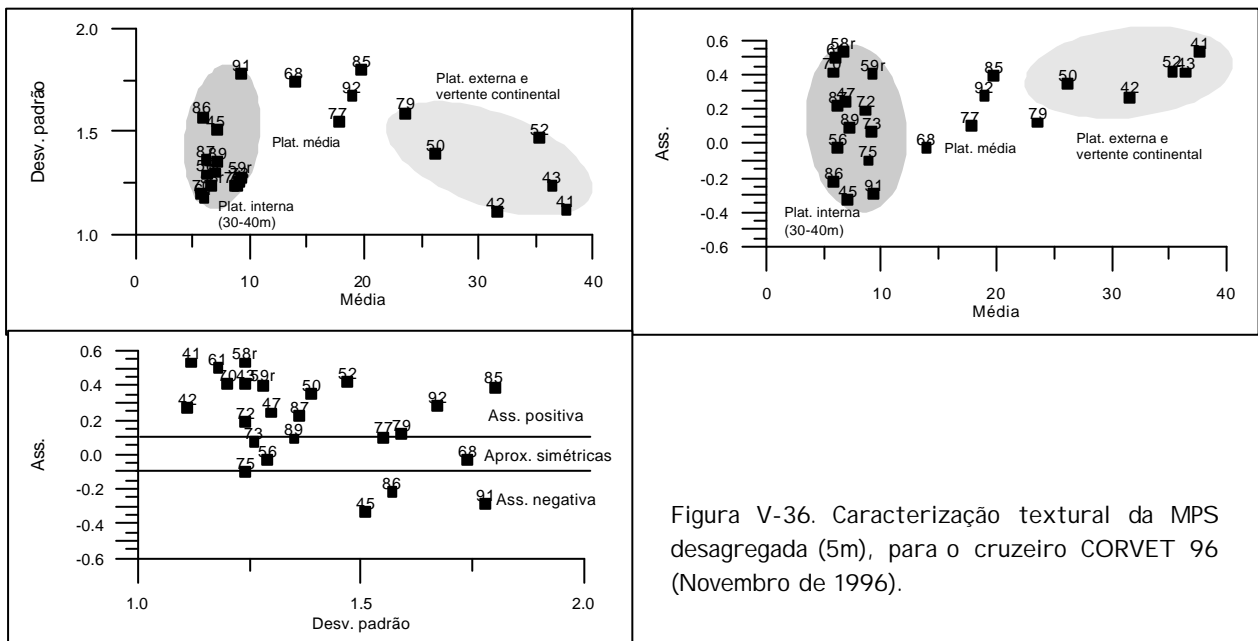


Figura V-36. Caracterização textural da MPS desagregada (5m), para o cruzeiro CORVET 96 (Novembro de 1996).

Na plataforma média ocorriam sedimentos com diâmetro médio ligeiramente superior (10-20µm) e com assimetria positiva. Na plataforma externa e na vertente continental as dimensões do diâmetro médio eram superiores a 20µm e as curvas de distribuição mostram uma forte tendência positiva de assimetria. Os dados da observação à lupa e ao microscópio sugerem uma explicação para as médias serem mais elevadas na plataforma externa e

vertente. A maioria das partículas que se encontravam em suspensão na plataforma externa e vertente eram de origem orgânica, sendo talvez os restos biogénicos de maiores dimensões que influenciaram os valores de média encontrados. Esta tendência foi observada anteriormente na plataforma continental frente aos rios Gironda (Weber *et al.*, 1991) e Tejo (Jouanneau *et al.*, 1998), resultando igualmente da incorporação crescente da componente biogénica, de maiores dimensões, na composição da MPS.

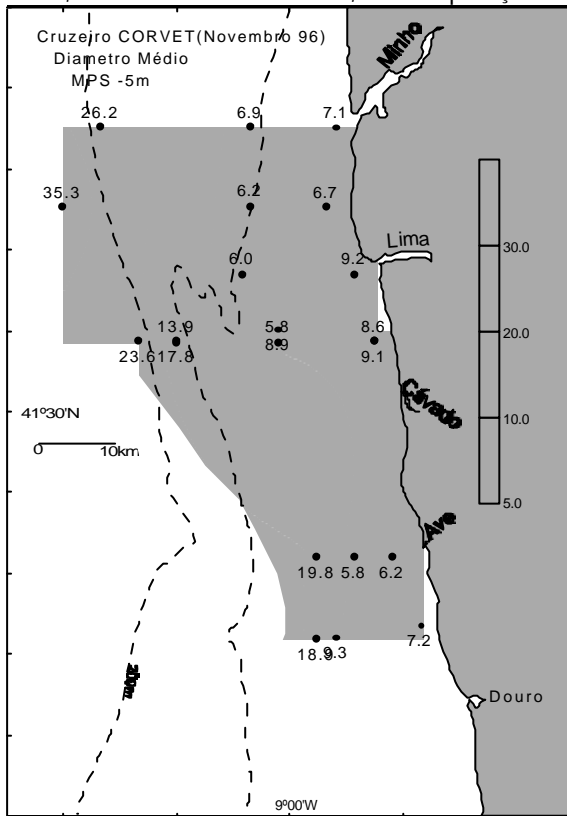


Figura V-37. Mapa de distribuição do diâmetro médio aos 5m para o cruzeiro CORVET 96 (Novembro 96).

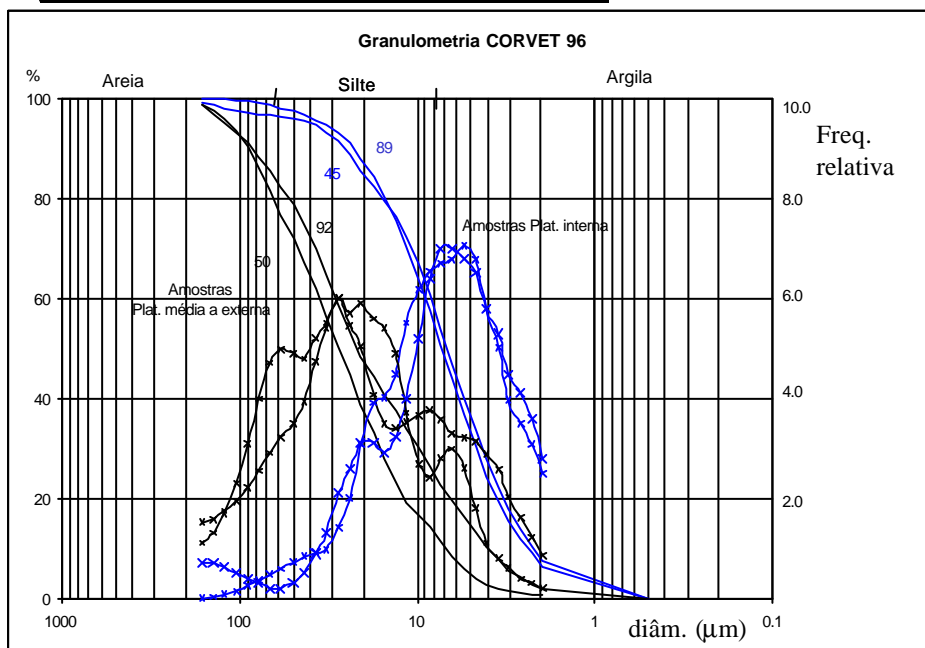


Figura V-38. Curvas de frequência relativa e acumulada para amostras colhidas na plataforma interna ( a azul) e média (a preto), aos 5m.

A figura V-38, ilustra exemplos representativos da distribuição granulométrica de amostras colhidas na plataforma interna e média (5m).

No cruzeiro CLIMA97 a percentagem de silte fino e argila (fracção <15µm) é superior a 68 % tanto na CNS como na CNF, sendo a percentagem de silte médio a grosseiro ligeiramente superior na CNF (28%) do que na CNS (22%). A fracção superior a 63µm (areia), apresenta valor médio muito baixo cerca de 8% e 3% respectivamente na CNS e CNF.

As suspensões obtidas à superfície (5m) durante o cruzeiro de Dezembro de 1997 são, tal como no cruzeiro anterior, compostas por partículas das dimensões do silte e da argila (fracção <15µm superior a 68%), com diâmetro médio que varia de 5 a 25µm (Apêndice E). No geral, são mal calibradas ( $\sigma > 1$ ), mas com tendência para os sedimentos em suspensão nas massas de água tipicamente oceánicas apresentarem desvio padrão superior a 2,0. O índice de simetria revela predomínio de assimetria negativa (53%), com cerca de 39% de curvas com assimetria positivas e só 8% aproximadamente simétricas. Os gráficos interparâmetros (fig.V-39A) mostram que estes podem estar directamente relacionados com as massas de água

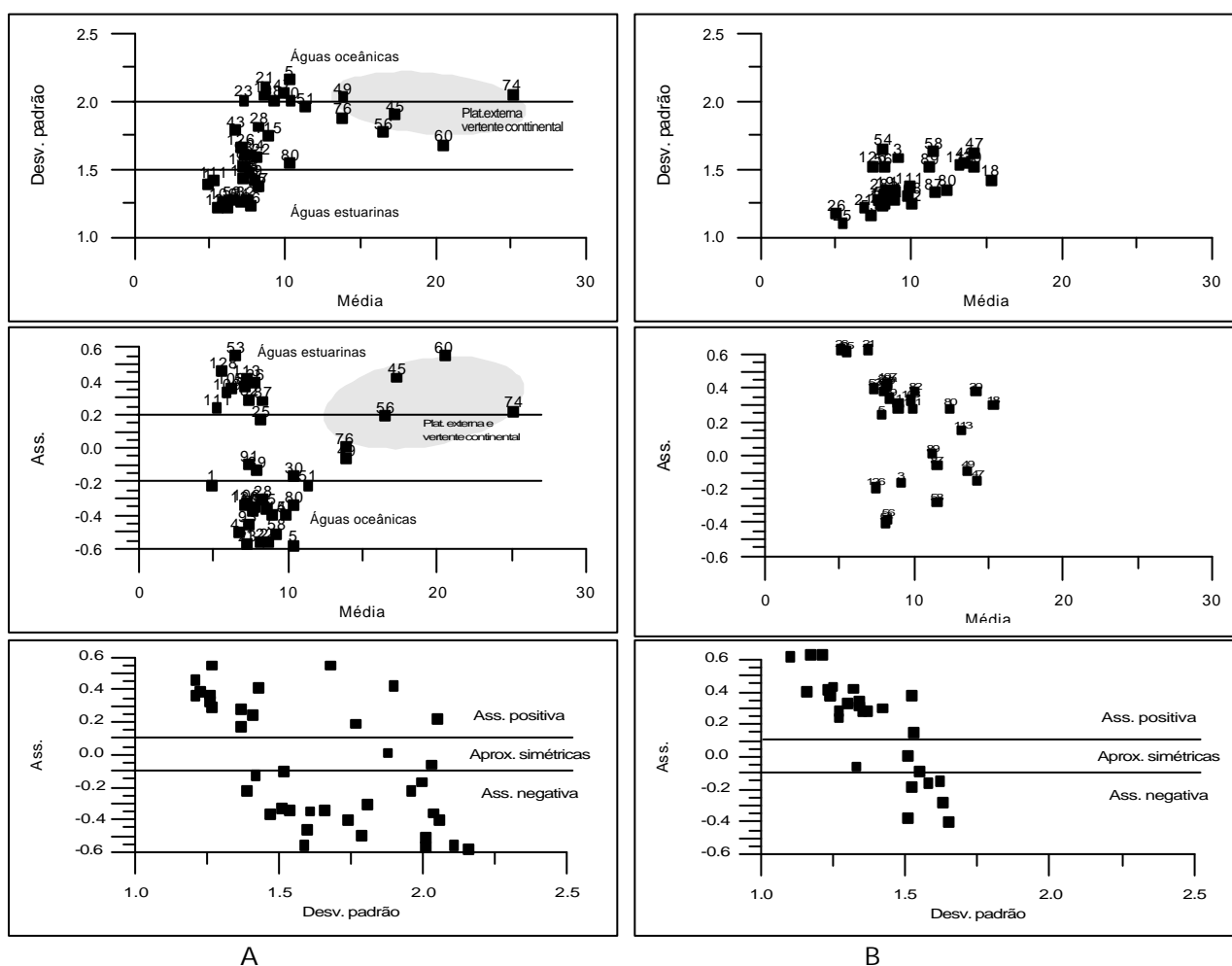


Figura V-39. Caracterização textural da MPS desagregada, para o cruzeiro CLIMA 97 (Dezembro 1997); A) -5m; B) fundo.

presentes.

Parece haver alguma dependência do diâmetro médio, principalmente para algumas estações da plataforma externa e vertente. Os mapas de distribuição do desvio padrão ( $\sigma$ ) e da assimetria mostram que os sedimentos das águas oceânicas são muito pobremente calibrados ( $\sigma > 2$ ) e com tendência para terem curvas assimétricas negativas (enriquecidas em grosseiros,  $\alpha < 0$ ). Pelo contrário, os sedimentos em suspensão das águas estuarinas são pobremente calibrados ( $\sigma < 1,5$ ) e com tendência para mostrarem curvas com assimetria positiva (enriquecimento em finos,  $\alpha > 0$ ).

Em termos gerais, verifica-se, que as suspensões são pobremente calibradas, ou seja, o MPS não pertence maioritariamente a uma classe dimensional. As águas estuarinas são enriquecidas em partículas finas ( $\alpha > 0$ ), o que poderá traduzir a introdução de materiais deste tipo, provenientes dos rios e as águas oceânicas são predominantemente assimétricas negativas, que poderá ser explicado pela introdução de restos biogénicos de maiores dimensões. Em relação ao cruzeiro anterior, em que predominavam as curvas com assimetria positiva, neste predominam as amostras com curvas assimétricas negativas. Esta observação pode ser explicada pela maior importância da massa de água oceânica, rica em elementos biogénicos grosseiros, que no início do cruzeiro entrava superficialmente na plataforma continental, pelo efeito de ventos de S-SW, (ver distribuição da temperatura e salinidade do Cap. I V).

As amostras de fundo (colhidas a cerca de 5m do fundo) apresentam diâmetro médio mais baixo (inferior a 15  $\mu\text{m}$ ), sendo mal calibradas e com assimetria variável (fig. V-39B). Contudo, o índice de simetria aponta para um predomínio das curvas com assimetria positiva (68% dos casos), com cerca de 21% de assimetria negativa e 11% de curvas simétricas. A distribuição da média não mostra grandes variações, excepto para as amostras colhidas na plataforma externa e vertente na área envolvente ao canhão submarino do Porto, que apresentam diâmetro médio superior a 15-20  $\mu\text{m}$ . O desvio padrão apresenta também pouca variação, encontrando-se as amostras com  $\sigma > 1,5$  na plataforma externa a norte do canhão do Porto. O mapa de distribuição da assimetria (fig.V-40) é o mais interessante, na medida que parece definir, com valores de assimetria positiva, CNF associadas com as desembocaduras dos rios Douro e Lima. Os locais com assimetria negativa correspondem provavelmente a zonas onde não ocorria ressuspensão de sedimentos finos do fundo, predominando aí partículas biogénicas mais grosseiros, provenientes das águas superficiais.

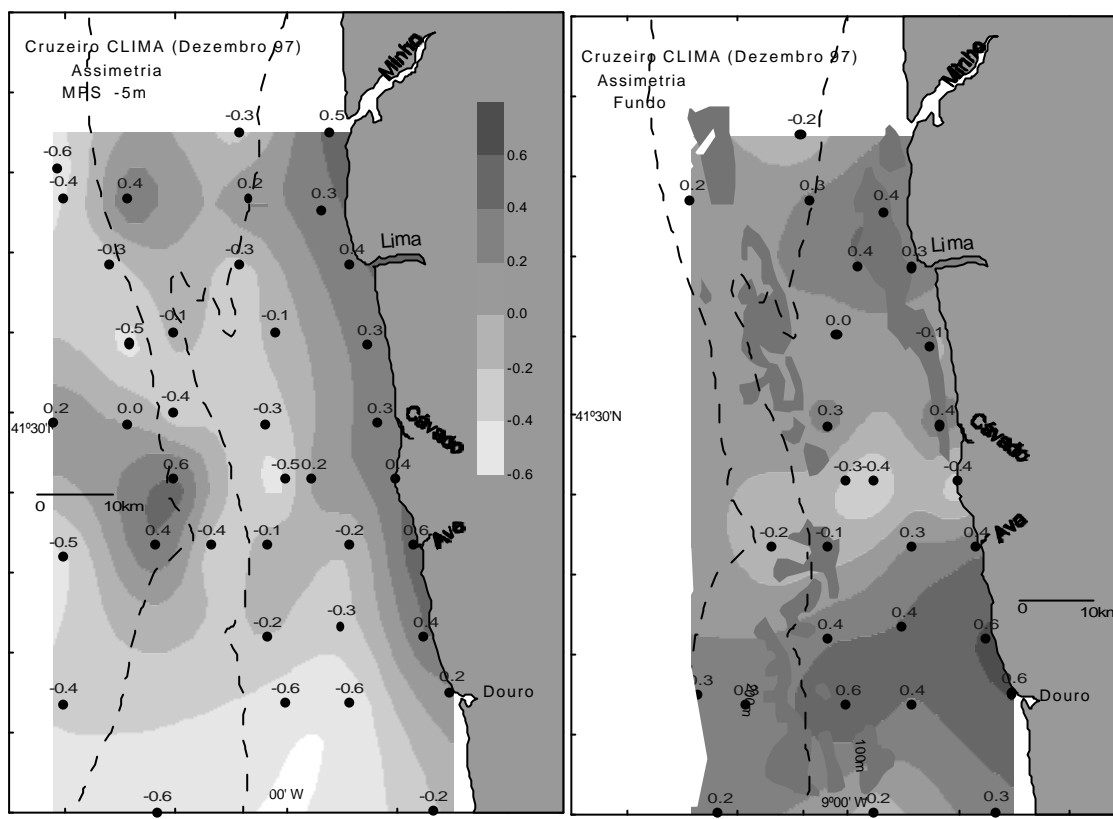


Figura V-40. Mapa de distribuição da assimetria, aos -5m e fundo, para o cruzeiro CLIMA 97 (Dezembro 97).

### 3.2.1. Conclusões:

Durante o Inverno, à superfície (5m) os sedimentos em suspensão (SS) mostram características granulométricas diferentes ligadas com o tipo de massa de água:

- os SS associados a massas de água estuarinas apresentam diâmetro médio  $<10\mu\text{m}$  e assimetria positiva, o que traduz enriquecimento em partículas finas;
- os sedimentos associados a massas de água oceânicas exibem diâmetros médios superiores aos anteriores ( $>15\mu\text{m}$ ), má calibração ( $>2$ ) e assimetria negativa em relação com o enriquecimento em partículas grosseiras (restos biogénicos);

As amostras de fundo (colhidas a cerca de 5m do fundo), apresentam diâmetro médio inferior a  $15\mu\text{m}$ , sendo mal calibradas e com assimetria variável. Assim, os sedimentos que se encontram em suspensão na plataforma continental e que são expulsos pelos rios minhotos, principalmente pelo rio Douro, são muito finos ( $<15\mu\text{m}$ ) e, portanto, do tipo coesivo.

### 3.2.2. Estudo da moda siltosa

As distribuições podem ser representadas por vários tipos de parâmetros. Para o seu estudo, os mais úteis são aqueles que permitem examinar as modas e as populações presentes na distribuição granulométrica.

A forma básica das distribuições obtidas pelo MALVERN foi geralmente polimodal (fig. V-34). No cruzeiro CORVET96 e CLIMA 97, realizados em período de Inverno, a maioria das amostras apresenta mais de uma moda (>70%), sendo cerca de 45% bimodais, 20% trimodais e 25% unimodais. Apenas cerca de 15% são de polimodalidade superior. Em ambos os cruzeiros a bimodalidade é a mais comum, tanto na CNS como na CNF (Fig. V-41).

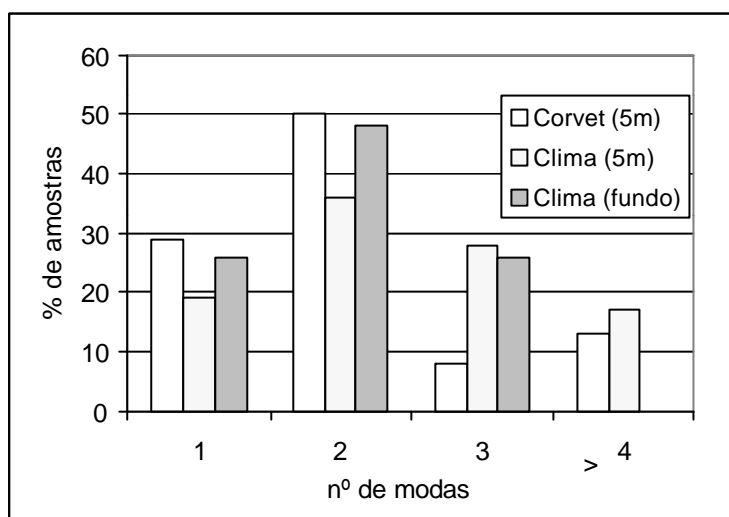


Figura V-41. Histograma representativo da abundância percentual do número de modas presentes nas suspensões dos cruzeiros CORVET96 e CLIMA97.

No mapa da figura V-42 representou-se a distribuição do carácter modal das amostras (n.º de modas da amostra). À superfície, de Inverno, o padrão de distribuição é complexo e aparentemente aleatório, como foi já referido anteriormente por Oliveira (1994). Contudo, no cruzeiro CORVET 96, as suspensões próximas dos rios apresentam tendência para a uni e bimodalidade, enquanto que as amostras da plataforma média a externa apresentam polimodalidade bem marcada. Esta polimodalidade poderá ser explicada pela introdução de organismos planctónicos em número superior. No cruzeiro CLIMA 97, esta tendência não é tão evidente, excepto na proximidade dos rios Minho e Lima, onde as amostras uni e bimodais prevalecem. A sul destes rios, observa-se na plataforma média uma faixa contínua de amostras bimodais que separam amostras de modalidade superior, presentes tanto na plataforma interna como na plataforma externa.

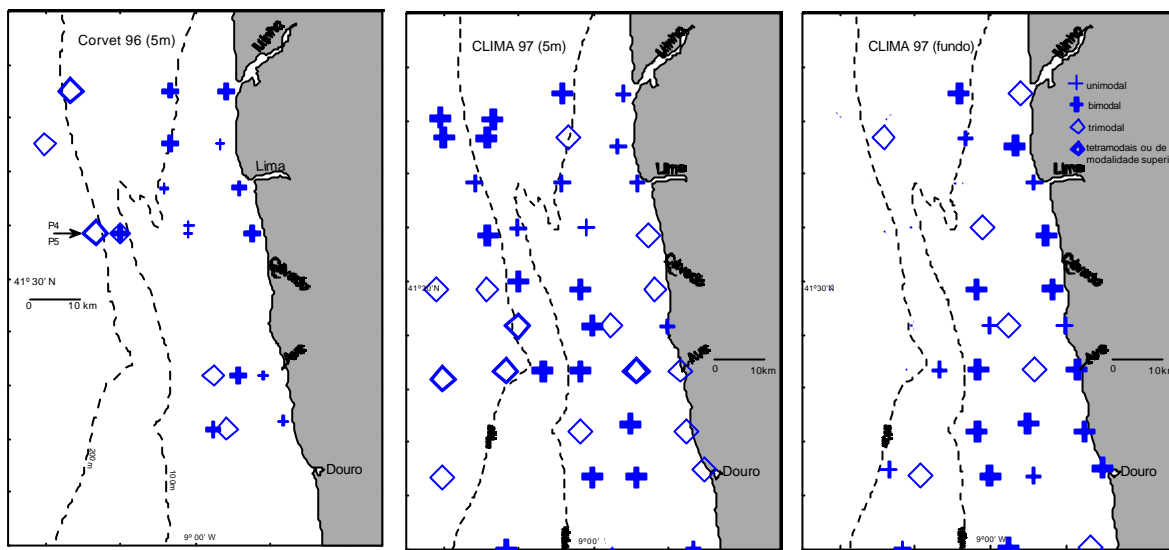


Figura V-42. Distribuição de carácter modal (n.º de amostras) das suspensões colhidas durante os cruzeiros CORVET 96 (Novembro 1996) e CLIMA 97 (Dezembro 1997).

Essa faixa com amostras bimodais que se prolonga na plataforma média para N-NW poderá representar a frente térmica e salina, identificada pela hidrologia e que separava a massa de água oceânica da massa de água estuarina (ver fig. IV-26 e IV-28). As suspensões polimodais identificadas na plataforma interna correspondem geralmente a modas finas compreendidas entre 5-10 $\mu$ m, enquanto que as identificadas na plataforma externa são mais grosseiras (>20 $\mu$ m). Estas suspensões, embora ambas polimodais, representam materiais com origem diferentes, sendo as primeiras maioritariamente terrígenas e directamente ligadas com o material exportado pelos rios e as segundas correspondem, possivelmente, a organismos pertencentes ao fito e zooplâncton, como foi constatado pela observação directa dos filtros à lupa e ao microscópio. Perto do fundo, as amostras bimodais prevalecem, representando materiais essencialmente terrígenos.

A fig. V-43, observam-se algumas curvas granulométricas representativas das amostras colhidas durante o cruzeiro CLIMA97, na plataforma interna e média (5m e perto do fundo). As curvas encontram-se truncadas na cauda fina dos siltes (argilas), porque não se realizou a granulometria dessa fracção (1.93-0.5 $\mu$ m), a qual corresponde a 1-13%, do total da amostra.

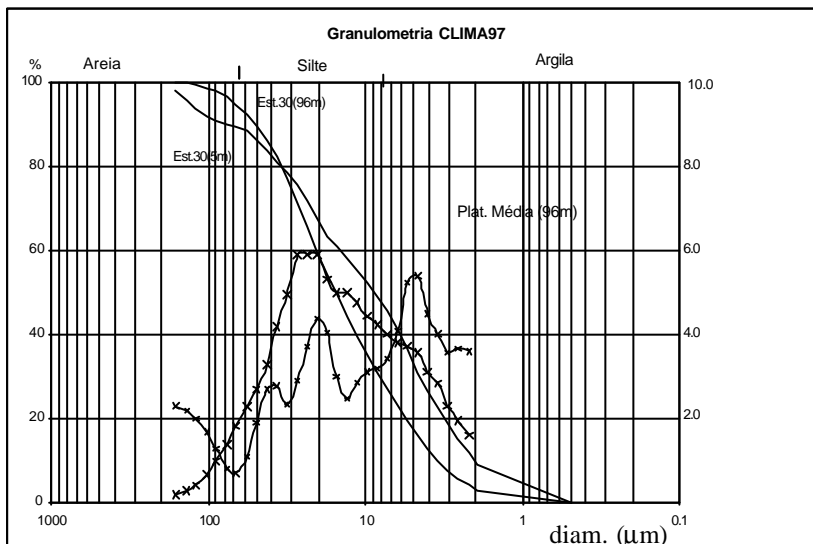
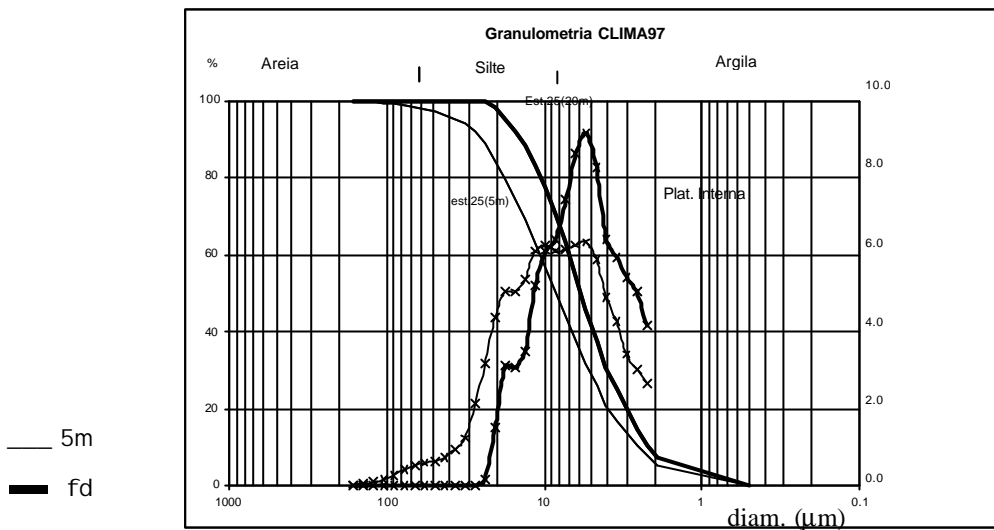


Figura V-43. Curvas granulométricas representativas das amostras colhidas durante o cruzeiro CLIMA97, na plataforma interna e média (5m e perto do fundo).

No cruzeiro CORVET 96, a moda principal das amostras colhidas na CNS (5m) variou entre 4.7 µm e 58 µm. No cruzeiro CLIMA 97, aos 5m encontravam-se compreendidas entre 4.7 e 37.0 µm (predomínio da moda 4.7µm) e perto do fundo entre 5.4µm e 23.8µm.

Distribuindo a moda principal por classes (fig.V-44), observa-se para o cruzeiro CLIMA 97 que aos 5m, esta moda centra-se na classe fina dos [8-4µm], com percentagem superiores a 50%, mas perto do fundo (CLIMA 97) esta classe fina perde importância. Contudo, não deixa de ser dominante, embora se observe uma maior importância das classes [15-8 µm] e [30-15µm].

No cruzeiro CORVET 96, as modas são semelhantes embora as modas grosseira, sejam mais importantes que no cruzeiro CLIMA97 (Fig.V-44). Em ambos os cruzeiros se constata predomínio da moda fina centrada nos 4.7-5.4µm, que corresponde a material terrígeno e pequenos cocólitos isolados, como foi constatado pela observação das suspensões ao MEV.

As amostras colhidas durante o cruzeiro CLIMA 97 apresentam uma moda principal fina, com um pico por volta dos 5  $\mu\text{m}$  (4.7-5.4 $\mu\text{m}$ ) e duas modas secundárias mais grosseiras por volta dos 10 $\mu\text{m}$  (9.8-11.4 $\mu\text{m}$ ) e 18 $\mu\text{m}$  (17.7-20.5 $\mu\text{m}$ ). Estas três modas ocorreram tanto aos 5m, como perto do fundo (fig. V-20), podendo ocorrer modas superiores a 18 $\mu\text{m}$  nas amostras superficiais mais afastadas da costa (composta maioritariamente restos biogénicos).

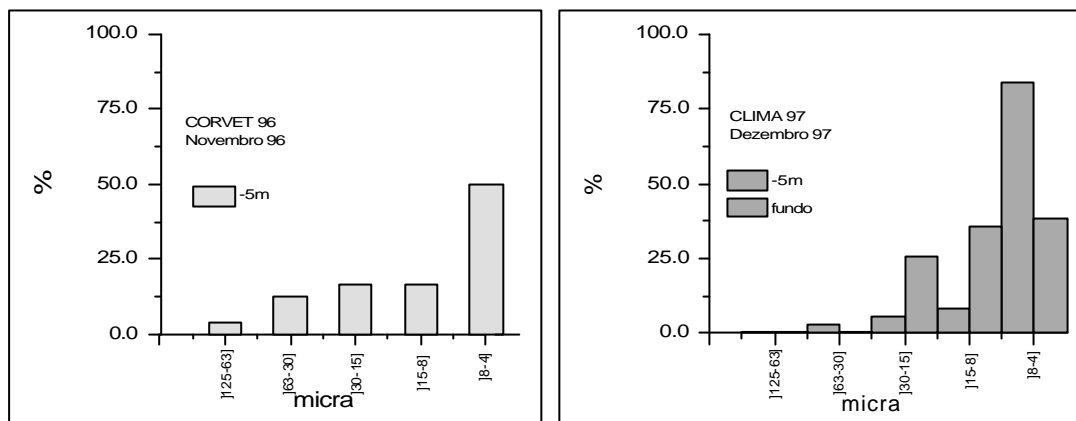


Figura V-44. Distribuição da moda principal do material em suspensão (-5m e fundo), por classes para os cruzeiros CORVET 96 e CLIMA 97.

Neste estudo assumiu-se que a percentagem de argila é representada pela fracção inferior a 8 $\mu\text{m}$  devido ao facto de as argilas, nas granulometria realizadas no MALVERN, estarem incluídas na fracção silte fina (<15 $\mu\text{m}$ ), sendo difícil avaliar directamente os seus teores. Recentemente, McCave *et al.*, (1995) argumentaram que o sedimento abaixo de 10 $\mu\text{m}$  (em diâmetro esférico equivalente) deve ser desprezado. Esta fracção comporta-se geralmente de forma coesiva, depositando-se como agregado, não podendo o seu tamanho desagregado (quando é medido) ser relacionado com o ambiente de deposição. Estes autores definiram a média do "sortable silt" (o diâmetro médio da fracção terrígena entre 10-63 $\mu\text{m}$ ) como aquela fracção do sedimento cujo tamanho varia em resposta aos processos hidrodinâmicos e a partir do qual se podem inferir variações de velocidade na corrente.

Estes dados mostram que em suspensão predominam as partículas das dimensões das argilas e do silte fino, permitindo considerar a hipótese de que durante os processos de dispersão e deposição do sedimento e para as mesmas condições hidrodinâmicas a argila e o silte fino mantém-se em suspensão, enquanto que o silte grosseiro sofre deposição. As velocidades da corrente da maré (>10 cm/s) e de baixa frequência (períodos acima de cerca de 2 dias) acima de 25 cm/s, observadas por Vitorino *et al* (2001) na plataforma média apoiam esta hipótese. Segundo McCave *et al.*, (1995), velocidades de corrente da ordem dos 10-18 cm/s não permitem a deposição do silte fino e da argila nos depósitos sedimentares, depositando-se

apenas o silte grosseiro e a areia fina, que correspondem às partículas dominantes nos depósitos silto-argilosos da plataforma NW (ver Capítulo VI).

### *3.2.3. Conclusões:*

No geral, as camadas nefelóide de superfície e fundo são formadas por partículas com as mesmas dimensões, maioritariamente silte fino e argilas. Contudo, observa-se que a moda grosseira é mais importante na CNF, com valores de percentagem superiores. Comparando o nível superficial dos dois cruzeiros, a moda grosseira é, também, mais importante nas amostras do cruzeiro CORVET96.