



## Geomorfologia sísmica das feições de sub-fundo submarino da Margem Catalã, Mediterrâneo Ocidental

Guilherme Caetano Garrido, Antonio Tadeu dos Reis (Faculdade de Oceanografia - UERJ) Christian Gorini (Université Pierre et Marie Curie-Paris 6 - Paris)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The Catalan margin, West Mediterranean Sea, stands as a distinct sector of the Gulf of Lions, concerning its general orientation and regional morphology. It corresponds to a N-S oriented margin that extends along the Spanish and French continental margins, in the northwest of Gulf of Lion. Geomorphological analysis of high resolution multibeam bathymetric data (made available by IFREMER in France), coupled with seismic facies analysis of 2D multichannel lines, allowed the recognition of a variety of sea-bottom morphology across this margin, imprinted as a result of both structural and depositional processes. Geomorphological and seismic analyses carried out in the study revealed the occurrence of 4 main types of morpho-sedimentary domains across the margin dominated by the occurrence of either: (a) *conturite drifts*; (b) *elongated mounded drifts*; (c) *sheeted drifts*; (d) *gravity-driven sedimentation*. All these above mentioned morpho-sedimentary elements point out to a combined effect of turbidite deposition and contour-current-controlled deposition across the Catalan margin. The variability of the mapped seismic facies reveals as well that, in spite of the influence of contour currents across the margin, bottom current-controlled deposition follows different degrees of interaction between hydrodynamic factors, associated with the Mediterranean *Northern Current*, different amounts of sedimentary input and the different levels of bathymetric control depending on the sector considered.

### Introdução

A geomorfologia sísmica nos permite a associação entre feições morfológicas superficiais e fácies sísmicas subsuperficiais, auxiliando no reconhecimento da interação entre os processos geológicos e dinâmicos (sedimentação, efeito de correntes, processos deformacionais, etc.) e o modelamento das feições morfológicas do fundo submarino. O principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo integrando dados batimétricos de alta resolução com uma base de dados sísmicos de diferentes resoluções para a análise de feições morfológicas e seus processos de formação ao

longo da margem Catalã situada, localizada na porção oeste do Golfo de Lion, Mediterrâneo Ocidental (Fig. 1).

A característica mais marcante da margem Catalã é a sua orientação N-S, que representa uma grande mudança na direção geral E-W da margem do Golfo de Lion (Fig. 1). Nesta margem, a plataforma continental se estreita em relação à margem E-W do Golfo de Lion, que passa de cerca de uma largura média de 100 km para 25 km. Além disso, a morfologia do talude da margem Catalã é muito variável no sentido plataforma-bacia e de norte para sul da área:

No setor norte, o talude apresenta um perfil de gradiente contínuo e mais suave (1° de declividade), marcado pela presença do complexo sedimentar Pireneo-Languedociano (CSPL; Reis et. al., 2005), identificado como produto da deposição carreada pelos chamados cânions Pirenienianos (cânions Lacaze-Duthiers e Cap Creus; Fig. 1). A morfologia de fundo deste complexo é marcada por feições onduladas de direção geral WSW-ENE, compondo um domínio geomorfológico de forma circular-lobada com 50 km de comprimento e de cerca de 2500 km<sup>2</sup>, localizado entre aproximadamente 1750 e 2500 m de profundidade.

No setor central, o talude apresenta um perfil de gradiente descontínuo, com maior declividade da ordem de 2,5° entre 300 m e 2100 m de profundidade e gradiente mais suave (0,4°) entre 2100 e 2500. No talude superior, mais íngreme, a morfologia de fundo é marcada por feições deposicionais alongadas e canais erosivos. No talude inferior, menos íngreme, a morfologia de fundo é marcada por feições onduladas, com características geométricas semelhantes às da porção norte do talude. No entanto estas feições apresentam diferentes orientações, adquirindo uma direção geral NE-SW.

No setor sul, o talude apresenta um perfil de gradiente também descontínuo. A principal feição desse setor é o chamado de Platô La Fonera, de 30 km de comprimento e limitado por uma escarpa de falha que resulta no soerguimento de sua borda externa, e na retenção de sedimentos no platô (Fig. 3). No talude superior, mais íngreme, a morfologia de fundo é marcada por morfologia irregular e escalonada; enquanto o talude inferior é marcado proximalmente por ondulações de comprimento de onda e período irregular, formando feições lineares, contínuas e arqueadas. Mais distalmente, o fundo apresenta feições onduladas, com características geométricas semelhantes às das porções norte e central do talude. Mas estas feições, de direção geral ainda NE-SW, parecem adquirir orientação crescentemente no sentido N-S.

### A circulação e as massas d'água do Golfo de Lion

A circulação no Golfo de Lion é induzida por ventos e forçantes termo-halinas, e se ajusta de acordo com as feições topográficas da região que percorrem.

A Corrente Norte, de direção E-W, é a mais importante componente da circulação no Golfo de Lion. Sua estrutura se altera através da entrada de água doce proveniente do Rio Rhône que gera uma pluma de água doce que deflete para oeste devido à força de Coriolis (Auclair, 2001).

As massas d'água que formam a Corrente Norte são: A Água Modificada do Atlântico (MAV), que recobre toda a superfície do mar Mediterrâneo com profundidade entre 0 e 200 m. Abaixo dos 200m, temos uma fina camada da água intermediária de inverno (WIW). Abaixo da WIW se encontra a água intermediária do Levante (LIW) que alcança profundidade de até 800m. A partir de 2000 metros até o fundo, encontra-se a Água de Fundo do Mediterrâneo Ocidental (WMDW) (Millot, 1999).

### Metodologia

Este estudo se baseia em um mosaico composto por 3 diferentes *grids* com diferentes resoluções: dados de batimetria multifeixe de alta resolução de 125 metros de espaçamento entre os pontos, cedida pelo Ifremer-Brest, França. O grid de 125 metros não cobre a totalidade da área de estudo, sendo nítida a falta de dados na área mais ao sul da margem Catalã. Nessa região foram utilizados então os dados da batimetria de 500 metros de espaçamento.

Para preencher eventuais lacunas nos locais onde não existiam dados na batimetria de alta resolução e também na região de áreas emersas, esses dados foram unidos com a batimetria de 30 segundos de espaçamento do programa ETOPO, obtido na homepage do programa. Com esse conjunto de dados unidos foi feita a regragem dos dados e a aplicação de um filtro no programa Oasis Montaj® para a retirada de ruídos dos dados.

Também foi realizada a análise de linhas sísmicas de reflexão multicanal de diferentes resoluções obtidas em diversos cruzeiros realizados no Golfo de Lion, totalizando cerca de 2000 km de dados, cedidos, em colaboração, pela Universidade Pierre e Marie Curie-Paris 6, França, interpretadas por Reis et al. (2005).

Os dados de batimetria foram processados no programa Fledermaus®, no laboratório de informática do Departamento de Geologia/LAGEMAR-UFF.

### Resultados

Com o mosaico de batimetria de alta resolução obtido, e com as linhas sísmicas, foi possível criar um mapa de processos atuantes na margem (Fig. 1), através da identificação de uma série de fácies sísmicas, aqui designadas de F1, F2, F3, F4 e F5 (Fig. 2). A análise de geomorfologia sísmica, integrando interpretação sísmica e morfologia multifeixe, permitiu a identificação de quatro

domínios morfo-sedimentares principais. Os quatro domínios indicam que a morfologia de detalhe observada ao longo dos diferentes setores da margem catalã é formada por uma variedade de processos sedimentares e dinâmicos.

### Domínio de drifts contorníticos

Esse domínio morfo-sedimentar corresponde à área dominada pelas fácies sísmicas F1 e F2 (Vide descrição Fig. 2), que ocupa toda a região do talude superior da Margem Catalã, caracterizado pelos gradientes mais altos de toda a margem. A morfologia de fundo é marcada por ondulações de grande comprimento de onda e período irregular da ordem de 6 a 10 km de largura e altura de cerca de 200-400 m (Figs. 3 e 4), formando feições lineares e contínuas da ordem de 18-25 km de comprimento. Essas ondulações foram identificadas como drifts motiformes (*mounded drifts*, Faugères et al., 1999) e drifts montiformes alongados (*elongated mounded drifts*), que formam este domínio.

Este domínio exemplifica o domínio morfo-sedimentar mais evidentemente influenciado pela ação de correntes de contorno na área. Isto porque o fluxo encontrado nesta região (talvez defletido pela força de Coriolis) interage fortemente com a batimetria íngreme local, resultando na construção de drifts contorníticos alongados ao longo de todo o talude mais proximal da margem.

### Domínio de contornitos montiformes alongados

Esse domínio corresponde à área dominada pela fácies F3A e F3B (Fig. 2), que caracteriza feições de fundo submarino de morfologia bastante irregular, sendo marcada por ondulações de grande comprimento de onda, com 6 a 10 km de largura e altura de cerca de 200-400 m resultando em feições lineares e contínuas da ordem de 18-25 km de comprimento. (Figs. 3 e 4). Este domínio se estende ao longo de porções do pé do talude, ou seja, uma zona de transição entre o talude de mais alto gradiente que caracteriza a zonas de ocorrência dos drifts contorníticos apresentados no item anterior, e o talude de morfologia mais plana e suave que marca o Platô La Fonera, sendo essas ondulações identificadas como contornitos montiformes alongados (*elongated mounded drifts*).

A construção destes contornitos montiformes pode ser explicada pelo contexto morfológico local, caracterizado pela inflexão do gradiente que marca a região de pé de talude, aliada às irregularidades de fundo controladas por falhas lítricas. Tais morfologias podem explicar a implantação de um contexto morfo-dinâmico particular, possivelmente capaz de condicionar a orientação e aceleração de correntes de fundo, e assim favorecendo eixos preferenciais de erosão e sítios posicionais associados. Vale ressaltar que as fácies sísmicas F3A e B só foram detectadas neste contexto morfológico.

### Domínio de drifts espriados

A região do Complexo Sedimentar Pirineo-Languedociano, na porção norte da margem, assim como o Platô La Fonera, destacam-se como vastas regiões dominadas por *sediment waves* (fácies F4, Fig 2) no Golfo de Lion. A morfologia dos corpos sedimentares desse domínio é marcada por feições onduladas de direção variável (WSW-ENE no CSPL e NE-SW no Platô La Fonera) de aproximadamente 3 km de comprimento e altura de cerca de 50 m (Figs. 3 e 4).

Foi observado que as fácies sísmicas de *sediment waves* ao longo de toda a margem catalã estão presentes em porções da margem que representam um contexto morfo-dinâmico particular, marcado pelo setor da margem do Golfo de Lion que passa da direção E-W para NS, e sob a ação da Água de Fundo do Mediterrâneo Ocidental (Millot, 2006).

Deste modo, o domínio de *sediment waves* ao longo da margem catalã foi aqui interpretado como uma região de interação entre sedimentação de origem gravitacional (aporte de terrígeno pelos cânions locais) retrabalhada pela ação de correntes de fundo, a Água de Fundo do Mediterrâneo Ocidental. O talude amplo de gradiente regular do leque Pirineo-Languedociano em continuação ao qual se estende o Platô La Fonera pode explicar a atuação de correntes de contorno não confinadas resultando no retrabalhamento da sedimentação gravitacional gerando os depósitos de drifts espalhados (*sheet drifts*), que caracterizam regiões de fundo submarino não confinado sob ação de correntes de fundo (Faugères et al., 1999; Hernández-Molina et al, 2010).

#### Domínio de Sedimentação de origem gravitacional

Este domínio representa a região da elevação continental da área de estudos, marcado por grande homogeneidade de processos sedimentares. A fácies sísmica F5 domina toda a região, indicando a preponderância da sedimentação turbidítica na área. Na verdade, como já discutido por muitos autores, esta região representa porções do Leque submarino do Rhône, o principal sistema turbidítico do Golfo de Lion (Reis et al., 2005), sendo assim uma região onde predominam os processos sedimentares de origem gravitacional.

#### Conclusões

Os processos de sedimentação marinha na Margem Catalã têm sido frequentemente atribuídos a processos gravitacionais, desde deslizamento de massa a turbiditos (Got, 1979; Reis et al., 2005; Droz et al., 2006; Lastras et al., 2007). Contudo, as análises morfológicas e sísmicas empreendidas neste trabalho revelaram a ocorrência de uma série de fácies indicativas da atuação de correntes de contorno (fácies F1 a F4) e outras associadas à deposição turbidítica (fácies F5).

Os diferentes domínios morfo-sedimentares indicam diferentes graus de influência da morfologia de fundo submarino sobre o padrão circulatório, resultando na deposição de diferentes depósitos de drift sedimentar.

a- Campos de *sediment waves* que constituem os drifts espalhados são formados pela ação de correntes de contorno que se espalham sobre amplas regiões do talude de gradiente contínuo e homogêneo, mais e/ou menos suaves, que caracterizam a região do Leque Pirineo-languedociano (marcado por gradiente homogêneo), setor NORTE da margem catalã, e a região "plana" do Platô La Fonera.

b- Depósitos de drifts contorníticos e contornitos montiformes são formados, respectivamente, ao longo de faixas de profundidade marcadas por gradiente de fundo progressivamente mais elevados. Esta situação decorre, provavelmente de uma interação crescente entre gradiente íngreme que constrange a corrente de contorno, lhe atribuindo maior poder erosivo e/ou transportador.

#### Agradecimentos

Ao Professor Arthur Ayres do Lagamar-UFF pelo acesso ao uso do programa Fledermaus®. Agradeço à Divisão de Cartografia do IFREMER-BREST, França, pela cessão dos dados de batimetria multifeixe.

#### Referências

- Auclair, F., Marsaleix, P., Estournel, C., 2001. The penetration of the Northern Current over the Gulf of Lions (Mediterranean) as a downscaling problem. *Oceanologica Acta*, vol. 24, n°6, p. 544-529.
- Faugères, J.C., Stow, D.A.V., Imbert, P., Viana, A., 1999, Seismic features diagnostic of contourite drifts. *Mar Geol* 162, 1-38.
- Got, H., Aloisi, J.C., Leenhardt, O., Monaco, A., Serra Raventos, J., Theilen, F., 1979, (Sedimentary structures of the Gulf of Lions and Catalan margins). *Structures sedimentaires sur les marges du Golfe du Lion et de Catalogne*. 21, 281-293.
- Hernández-Molina, F.J., Paterlini, M., Somoza, L., Violante, R., Arecco, M.A., de Isasi, M., Rebesco, M., Uenzelmann-Neben, G., Neben, S., Marshall, P., 2010, Giant mounded drifts in the Argentine Continental Margin: Origins, and global implications for the history of thermohaline circulation. *Mar Petrol Geol* 27, 1508-1530.
- Lastras, G., Canals, M., Urgeles, R., Amblas, D., Ivanov, M., Droz, L., Dennielou, B., Fabres, J., Schoolmeester, T., Akhmetzhanov, A., Orange, D., Garcia-Garcia, A., 2007, A walk down the Cap de Creus canyon, Northwestern Mediterranean Sea: Recent processes inferred from morphology and sediment bedforms. *Mar Geol* 246, 176-192.
- Millot, C., Candela, J., Fuda, J.-L., Tber, Y., 2006, Large warming and salinification of the Mediterranean outflow due to changes in its composition. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 53, 656-666.
- Reis, A.T., Gorini, C., Mauffret, A., 2005, Implications of salt-sediment interactions on the architecture of the Gulf of Lions deep-water sedimentary systems-western Mediterranean Sea. *Mar Petrol Geol* 22, 713-746.

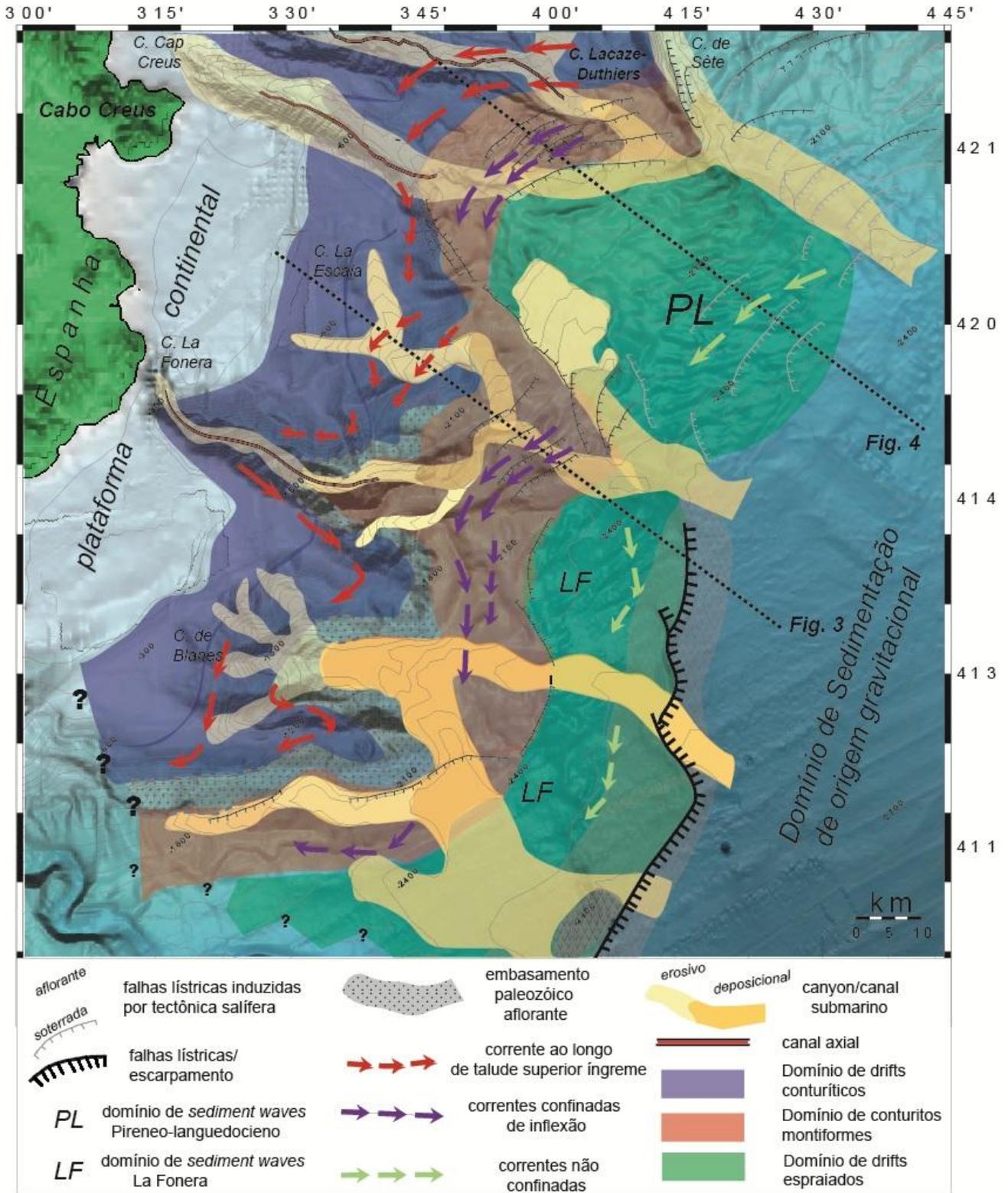


Fig. 1. Mapa conjugado integrando dados batimétricos multifeixe e interpretação de fácies sísmicas indicativas dos processos sedimentares atuantes na Margem Catalã, Mediterrâneo ocidental.

Fácies	Descrição	Assinatura Sísmica	Fácies	Descrição	Assinatura Sísmica
<b>F1</b>	Fácies caracterizada por unidades sedimentares onduladas formando corpos discretos e contínuos marcado internamente por refletores ondulados e por discordâncias internas, com superfície de fundo erosiva. Suas dimensões (maiores que 5 km) e a posição no talude a diferem de F4		<b>F4</b>	Unidades sedimentares tabulares ou em forma de leque, caracterizada por refletores plano-paralelos e ondulados com comprimento de onda variável (sediment waves): A unidades espessas (300ms) e com comprimento de onda de 4-8 km e B com unidades menos espessas (200ms) e comprimento de onda de 2-5 km.	
<b>F2</b>	Fácies marcada por refletores ondulados com discordâncias internas, formando acumulações deposicionais em forma de corpos sedimentares ondulados, discretos e alongados paralelamente à margem, com comprimento de onda entre 3-5 km		<b>F5</b>	unidades sedimentares tabulares de extensão bacinal, internamente caracterizada por refletores plano-paralelos contínuos	
<b>F3</b>	Fácies caracterizada por ondulações de amplitude e comprimento de onda irregulares, com refletores internos ora ondulados (A), ora plano-paralelos truncados por erosão de fundo (B). Forma feições deposicionais correspondentes a acumulações sedimentares (A), ou feições mistas deposicionais/erosivas formando fundo irregular afetado ainda por rejeito de falhas listricas (B)				

Fig. 2. Caracterização das fácies sísmicas mapeadas na margem Catalã, Golfo de Lion, Mediterrâneo Ocidental.

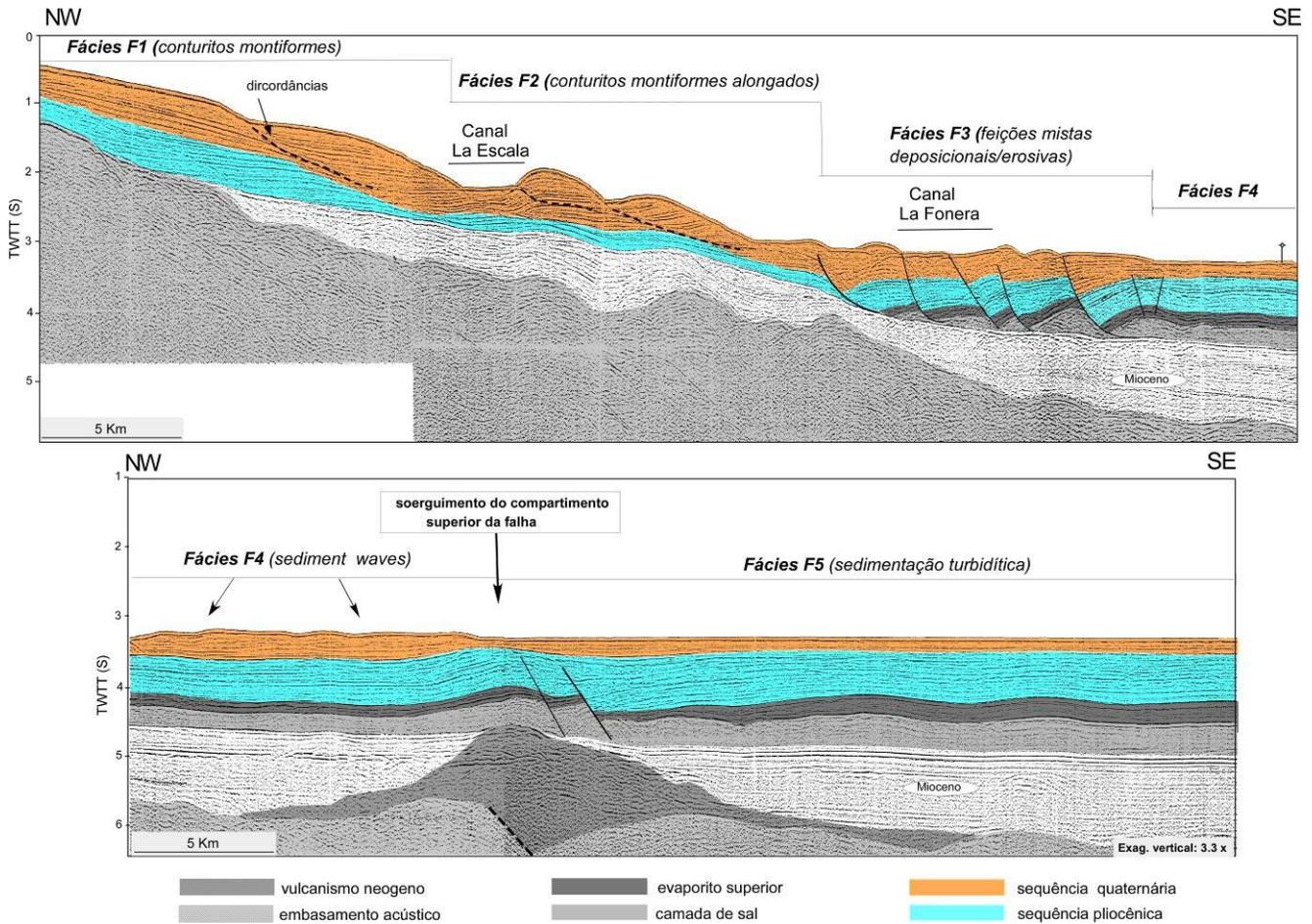
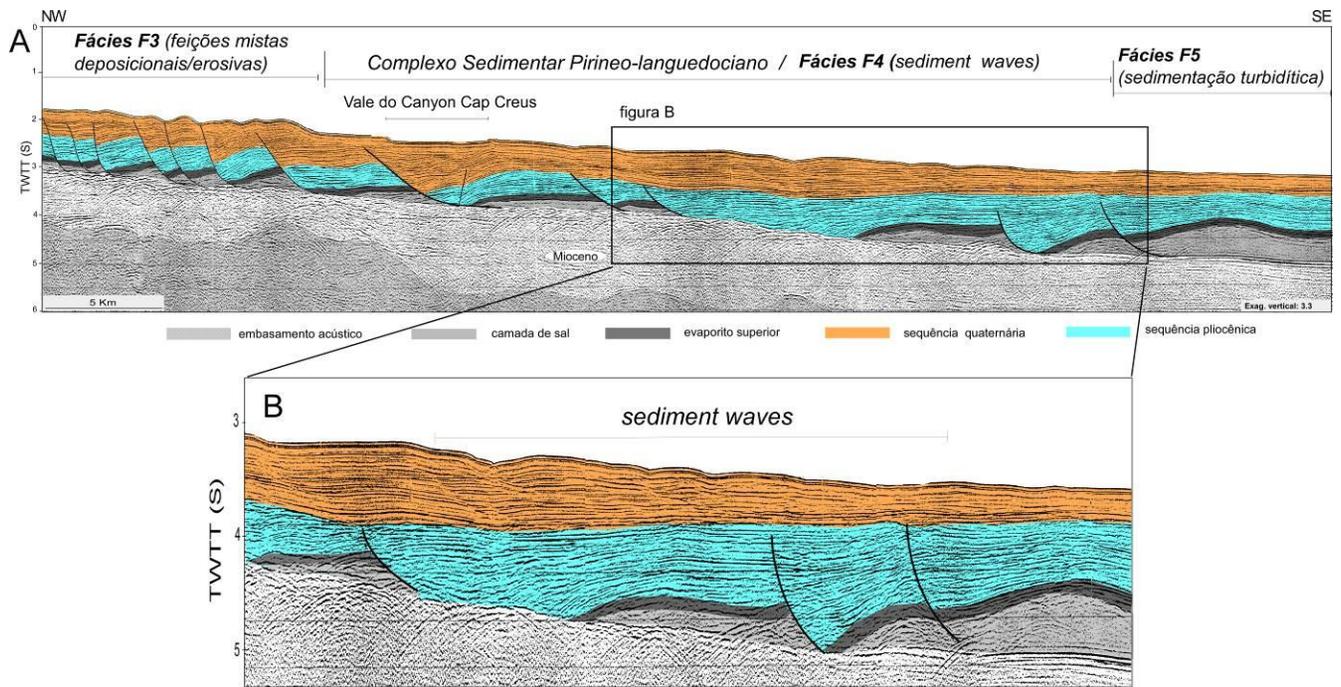


Fig. 3. Perfil sísmico ilustrando a morfologia, as formas de fundo e as fácies sísmicas que caracterizam o setor central da Margem Catalã (localização na Fig. 1).



**Fig. 4** Perfil sísmico ilustrando a morfologia, as formas de fundo e as fácies sísmicas que caracterizam o **setor norte** da Margem Catalã (localização na Fig. 1).