

Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

Modelos de
Fácies

Sistemas de leques submarinos

Processos de transporte e deposição em águas profundas:

- Decantação de partículas finas
- Fluxos gravitacionais
- Correntes de contorno

Depósitos de decantação:

- Sedimentos hemipelágicos – pelitos terrígenos e detritos biogênicos finos
- Sedimentos pelágicos – fora da área de influência dos sedimentos continentais – concentração de detritos biogênicos, poeira soprada pelo vento e cinza vulcânica

Fluxos gravitacionais em águas profundas:

- Origem: aporte fluvial - desestabilização do talude

- Principais tipos de fluxos gravitacionais de sedimento em águas profundas:

- Fluxos de detritos
 - Correntes de turbidez

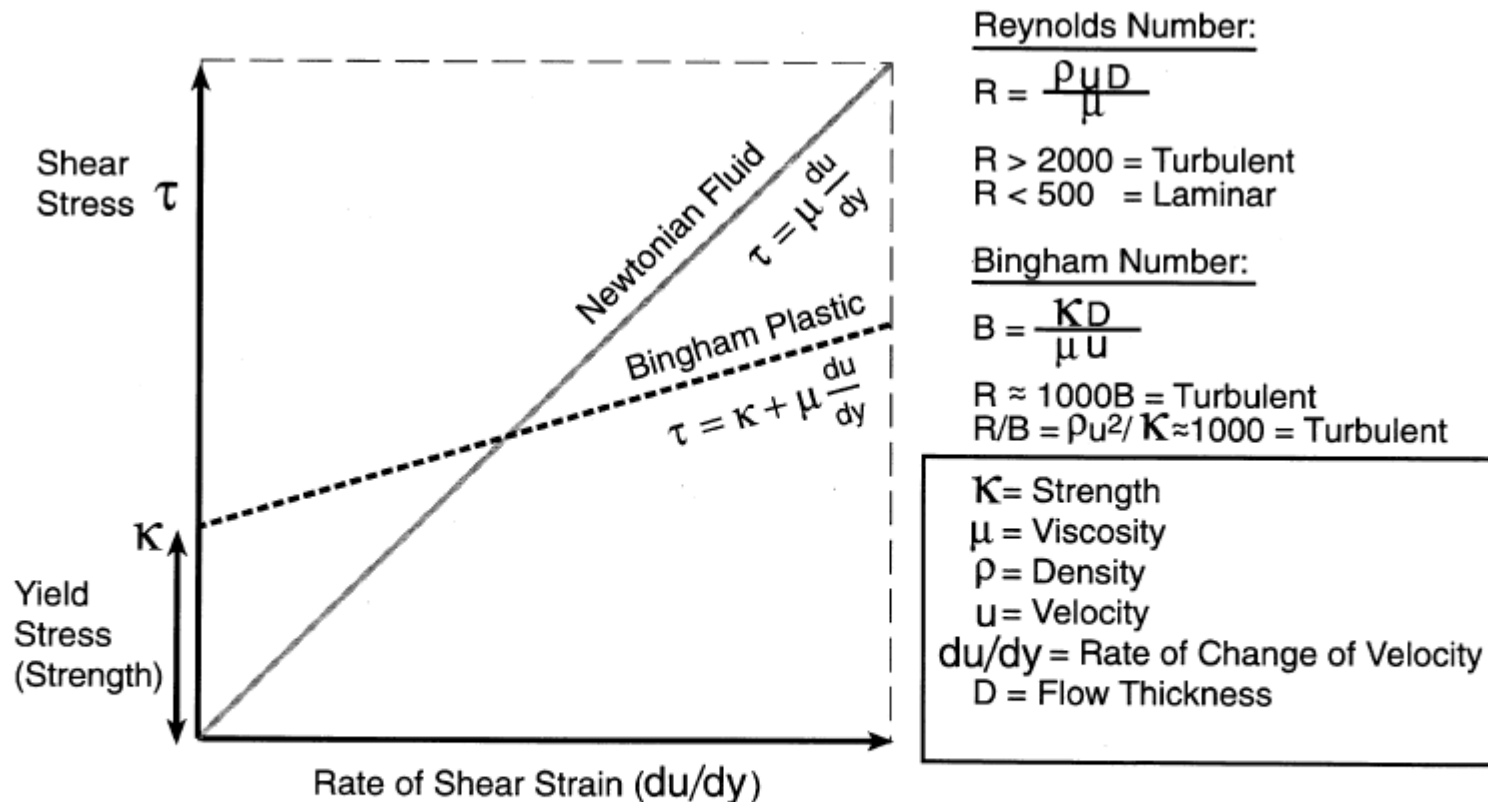
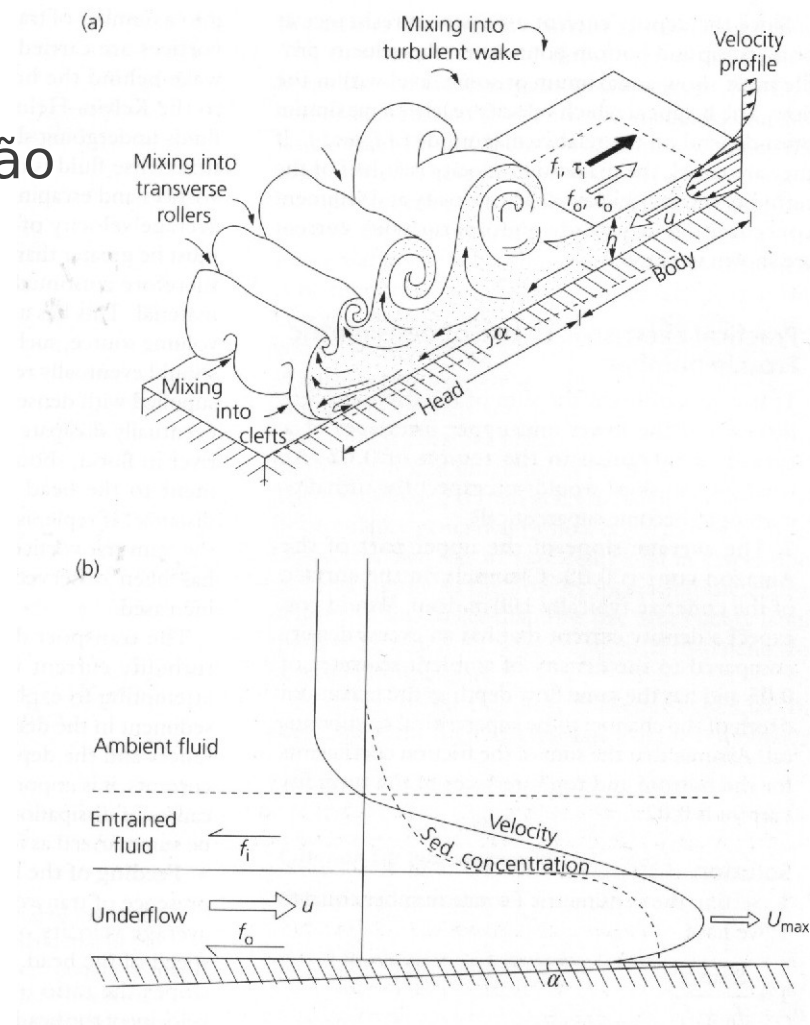


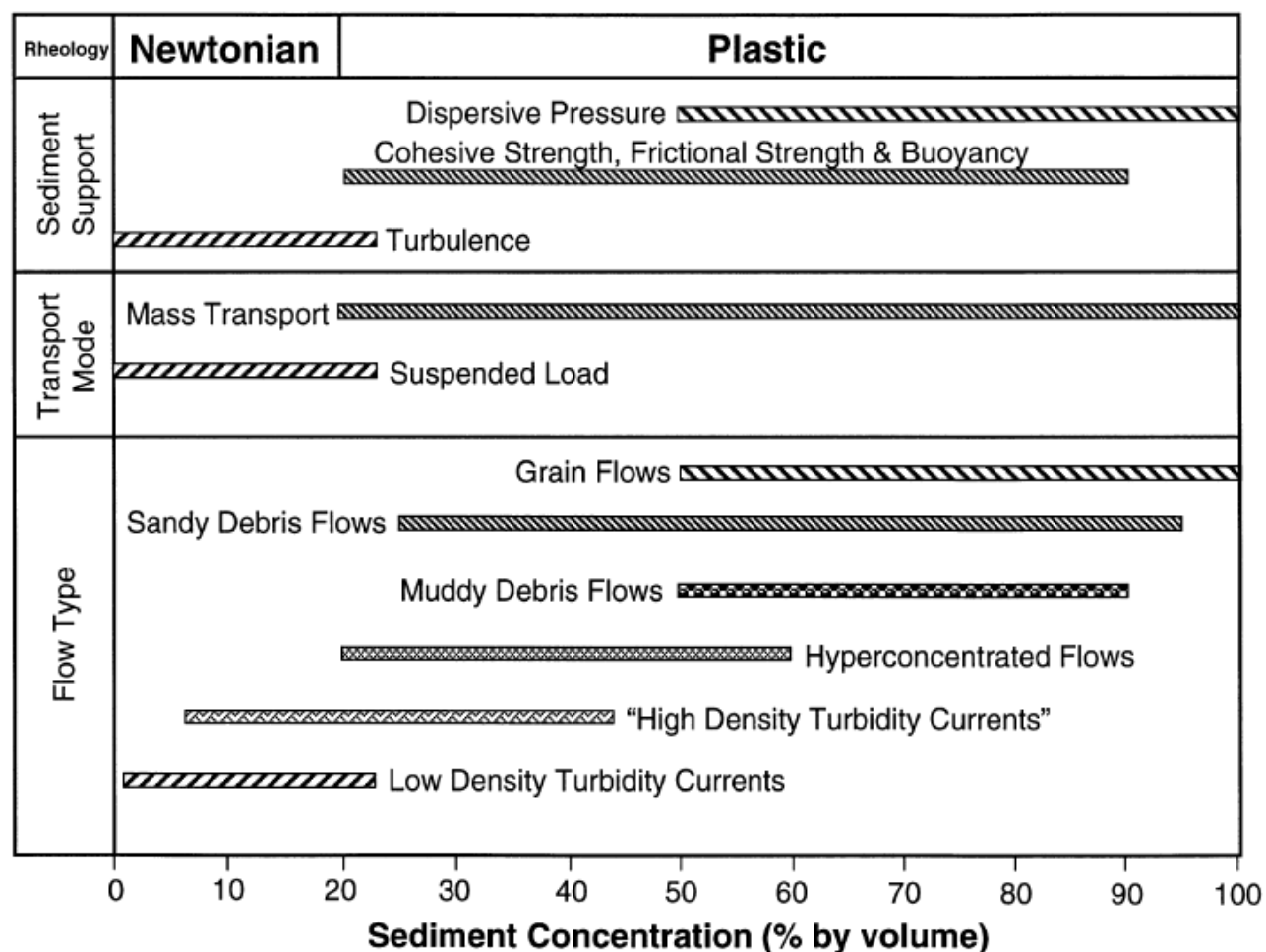
Fig. 3. Rheology (stress-strain relationships) of Newtonian fluids (e.g., turbidity currents) and Bingham plastics (e.g., debris flows), compiled from several sources (Dott, 1963; Enos, 1977; Pierson and Costa, 1987; Phillips and Davies, 1991; Middleton and Wilcock, 1994). This graph shows that a fundamental rheological difference between debris flows (Bingham plastics) and turbidity currents (Newtonian fluids) is that debris flows exhibit strength, whereas turbidity currents do not. In general, turbidity currents are turbulent, and debris flows are laminar in state. From Shanmugam (1997a).

Shanmugam (2000)

Correntes de turbidez:

- Aceleração
- Desaceleração e deposição





Shanmugam
(2000)

Fig. 4. A classification of subaqueous gravity flows, based on fluid rheology, showing two general types, *Newtonian* and *Plastic*. This classification is analogous to a classification originally advocated by Dott (1963). Turbidity currents are *Newtonian* flows, whereas all mass flows (muddy debris flows, sandy debris flows, and grain flows) are *Plastic* flows. Turbidity currents occur only as subaqueous flows, whereas debris flows and grain flows can occur both as subaerial and as subaqueous flows. For purposes of comparison, subaerial flows (river currents and hyperconcentrated flows) are included. Sediment concentration is the most important property in controlling fluid rheology. High-density turbidity currents are not meaningful in this rheologic classification because their sediment concentration values represent both *Newtonian* and *plastic* flows; however, I have included them here for discussion purposes. Published values of sediment concentration by volume % are: (1) river currents (1–5%; e.g., Galay, 1987), (2) low-density turbidity currents (1–23%; e.g., Middleton, 1967, 1993), (3) high-density turbidity currents (6–44%; Kuene, 1966; Middleton, 1967), (4) hyperconcentrated flows (20–60%; Pierson and Costa, 1967), (5) muddy debris flows (50–90%; Coussot and Muenier, 1996), (6) sandy debris flows (25–95%; Shanmugam, 1997a; partly based on my reinterpretations of various processes that exhibit plastic rheology in papers by Middleton, 1966, 1967; Wallis, 1969; Lowe, 1982; Shultz, 1984;), and (7) grain flows (50–100%; partly based on Rodine and Johnson, 1976; Shultz, 1984; Pierson and Costa, 1987). Concentration values of more than 95 vol. % can be without significant particle interlocking (Rodine and Johnson, 1976), and therefore flow (i.e., deformation of material in response to applied stress) is possible at high concentration values. Two general modes of transport represent different subaqueous flow types: (1) suspended mode in turbidity currents, and (2) mass transport mode in plastic flows. Bed-load transport is meaningful only in river currents, but not in turbidity currents because sediment is held in suspension by flow turbulence during transport. Two general sediment support mechanisms represent different subaqueous flow types: (1) turbulence in turbidity currents, and (2) cohesive strength, frictional strength, and buoyancy in plastic flows. Dispersive pressure (frictional strength) can become an important sediment support mechanism at sediment concentration values of 50–100% (Rodine and Johnson, 1976).

Introdução

Elementos Morfológicos

Correntes de turbidez subaquáticas frequentemente desenvolvem-se a partir de fluxos granulares, e fluxos de detritos, quando estes aceleram e misturam-se à água, ficando diluídos.

Isso pode ocorrer quando um grande volume de sedimentos é posto em suspensão por um terremoto ou quando ocorre colapso de um talude muito inclinado.

Tipos

As correntes de turbidez têm duração curta (horas).

Modelos de Fácies

Durante o terremoto de Grand Banks em Newfoundland, em 1929, o rompimento sequencial de cabos telegráficos submarinos revelou um fluxo de sedimentos com velocidade de 7 m/s.

Ciclo de Bouma – primeiros modelos

Ta – Arenitos Maciços

Tb – Arenitos Laminados

Tc – Arenitos com laminação cruzada

Td – Siltitos laminados

Te – Siltitos e argilitos laminados

Qual a sucessão de processos?

Elementos morfológicos:

1- Canions

2- Canais

3 - Lobos

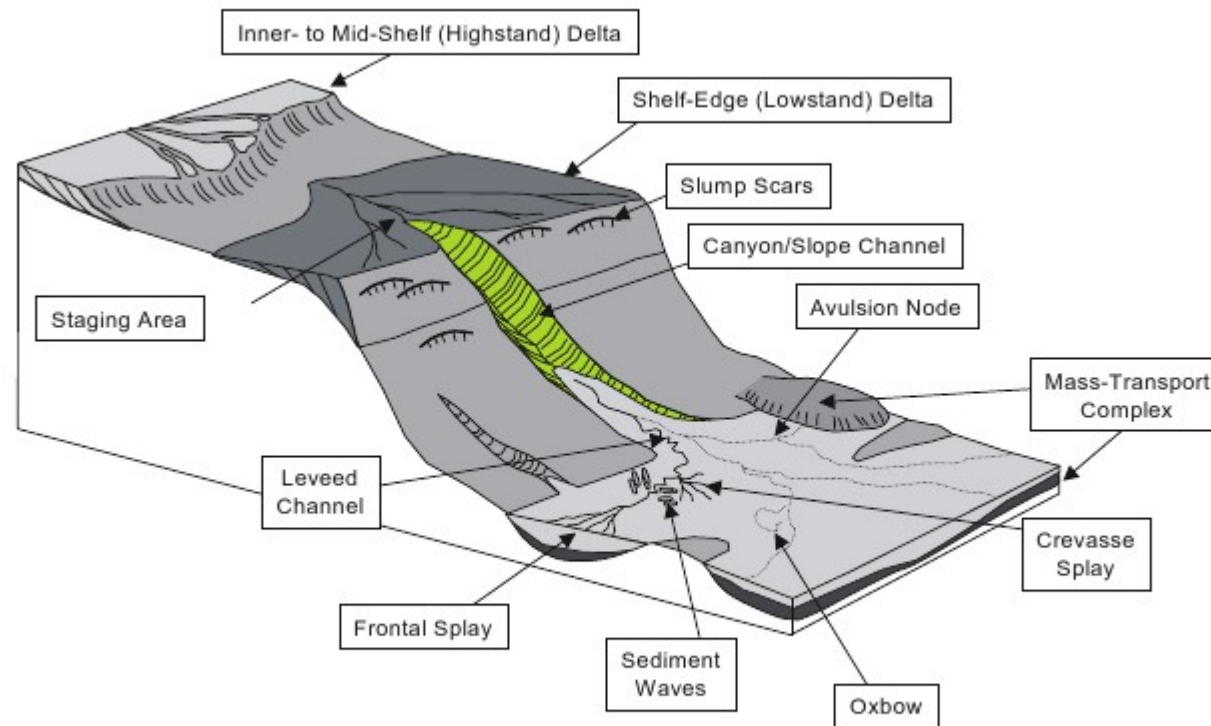


FIG. 1.—Schematic representation of shelf to deep-water physiography. The shelf staging area is connected to the deep-water environment through slope channels and / or canyons. Depositional elements in the deep water include leveed channels, crevasse splays, sediment waves, and frontal splays or lobes. (modified after Posamentier and Kolla, 2003a).

Posamentier & Walker (2006)

Modelo do sistema atual da Bacia de Campos, baseado em sonar de varredura lateral

Elementos Morfológicos

Tipos

Modelos de Fácies

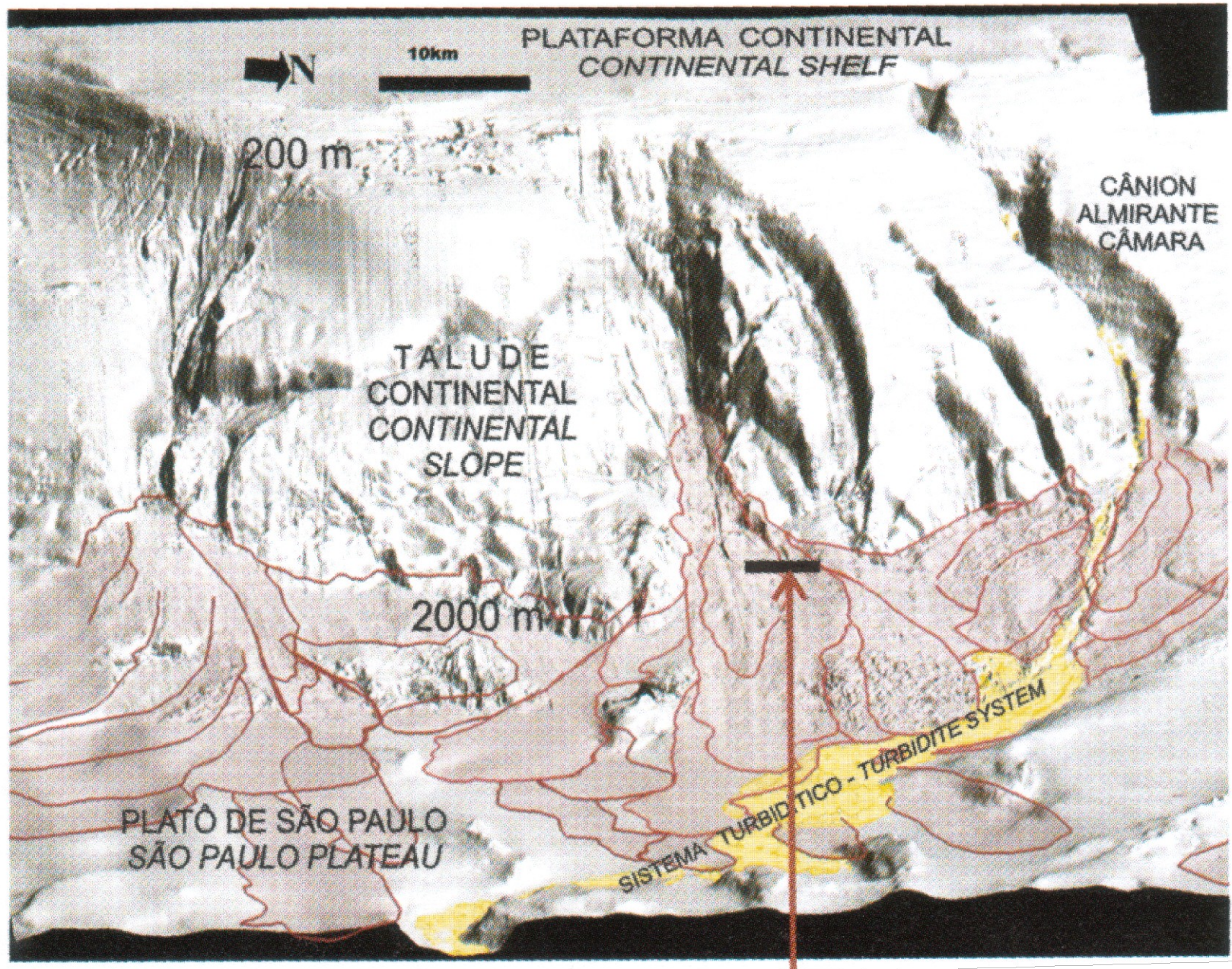
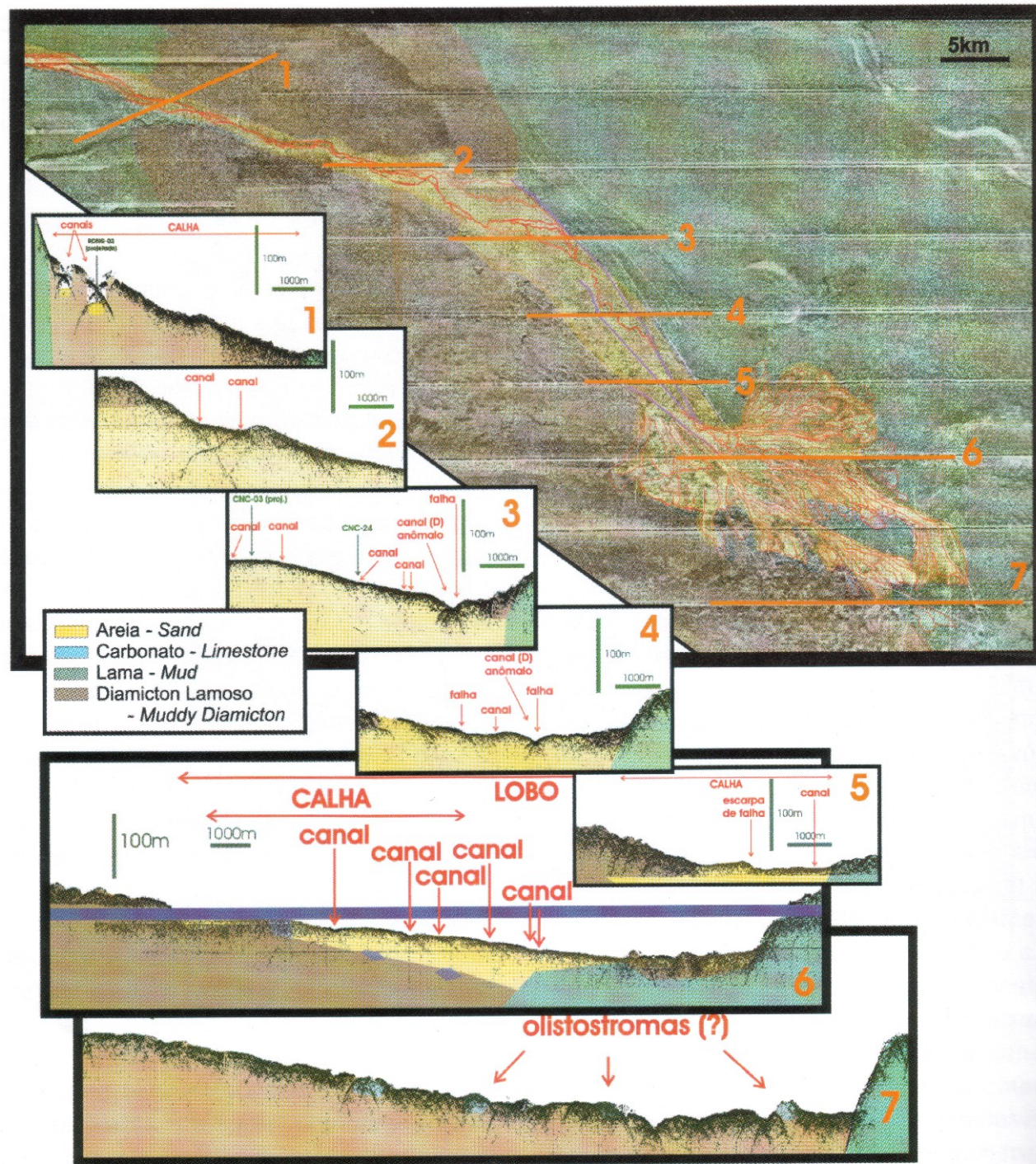
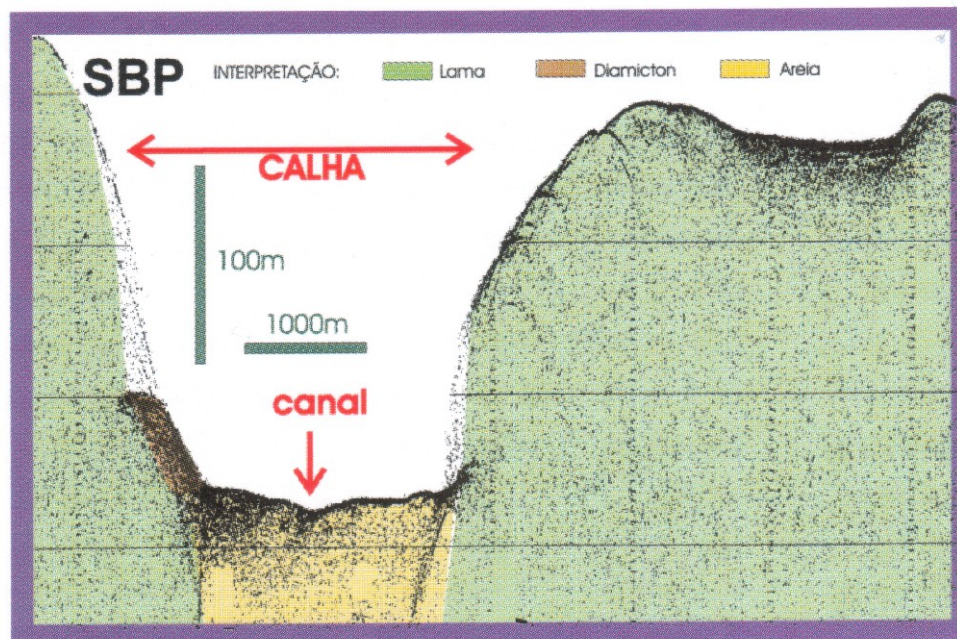


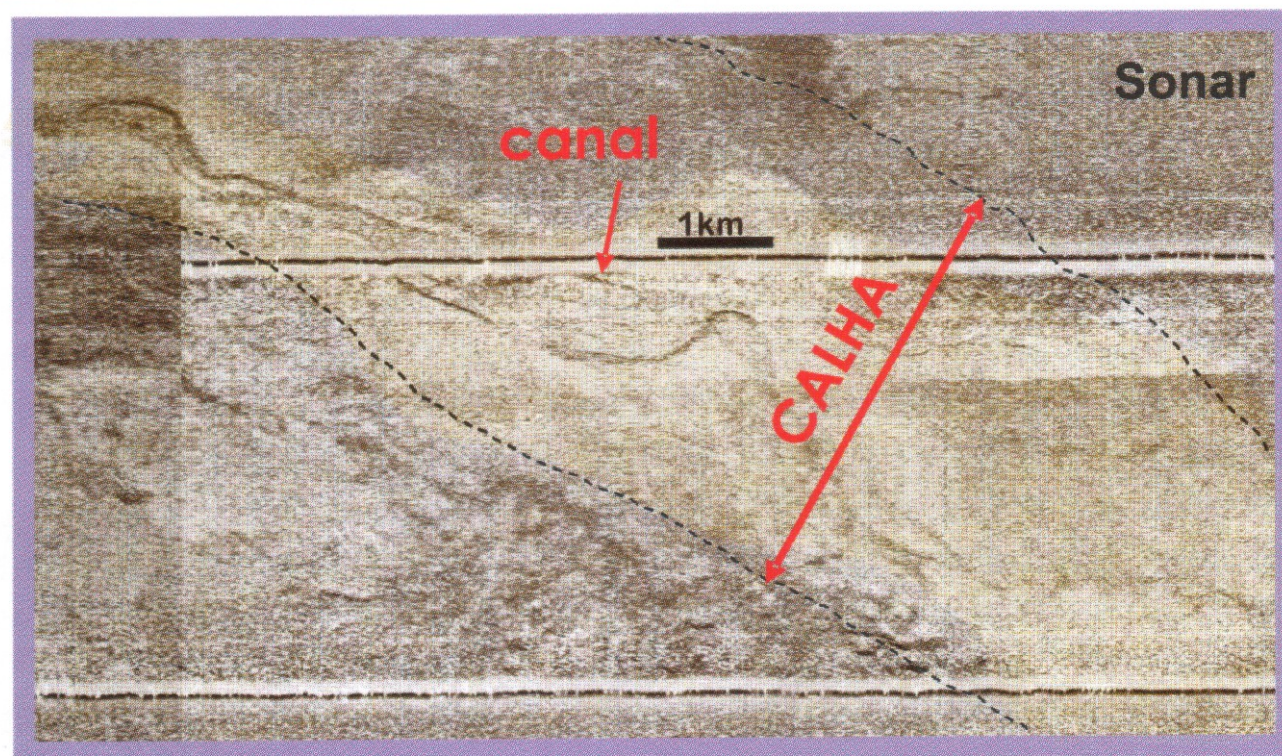
Imagem interpretada de sonar e seções sísmicas de alta frequência mostrando canal e lobo turbidítico

Machado
et al.
(2004)





Detalhe de calha e canal turbidítico



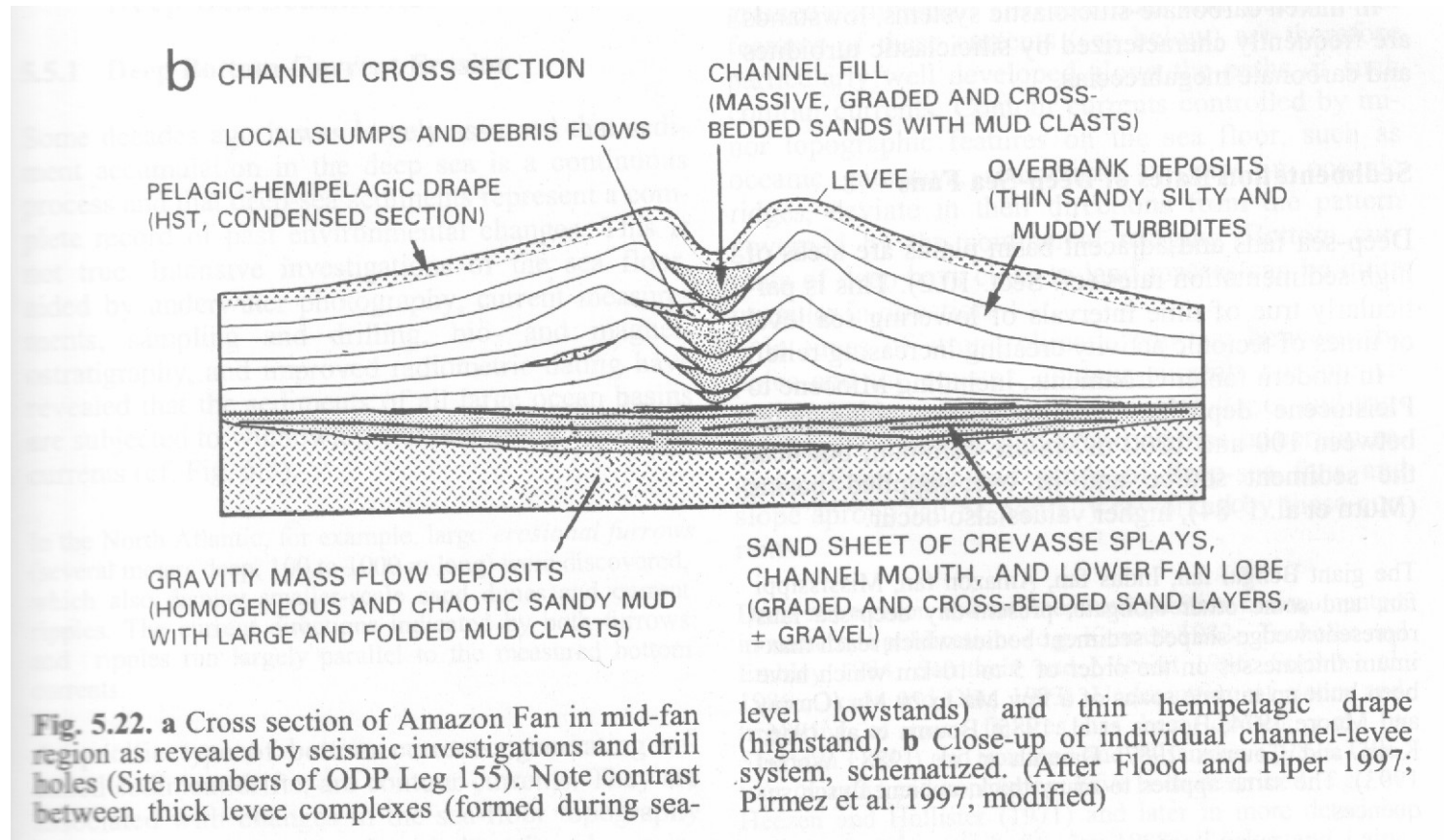
Machado
et al.
(2004)

Imagem interpretada de seções sísmicas de alta frequência mostrando perfil de canal turbidítico do leque do Amazonas

Elementos Morfológicos

Tipos

Modelos de Fácies



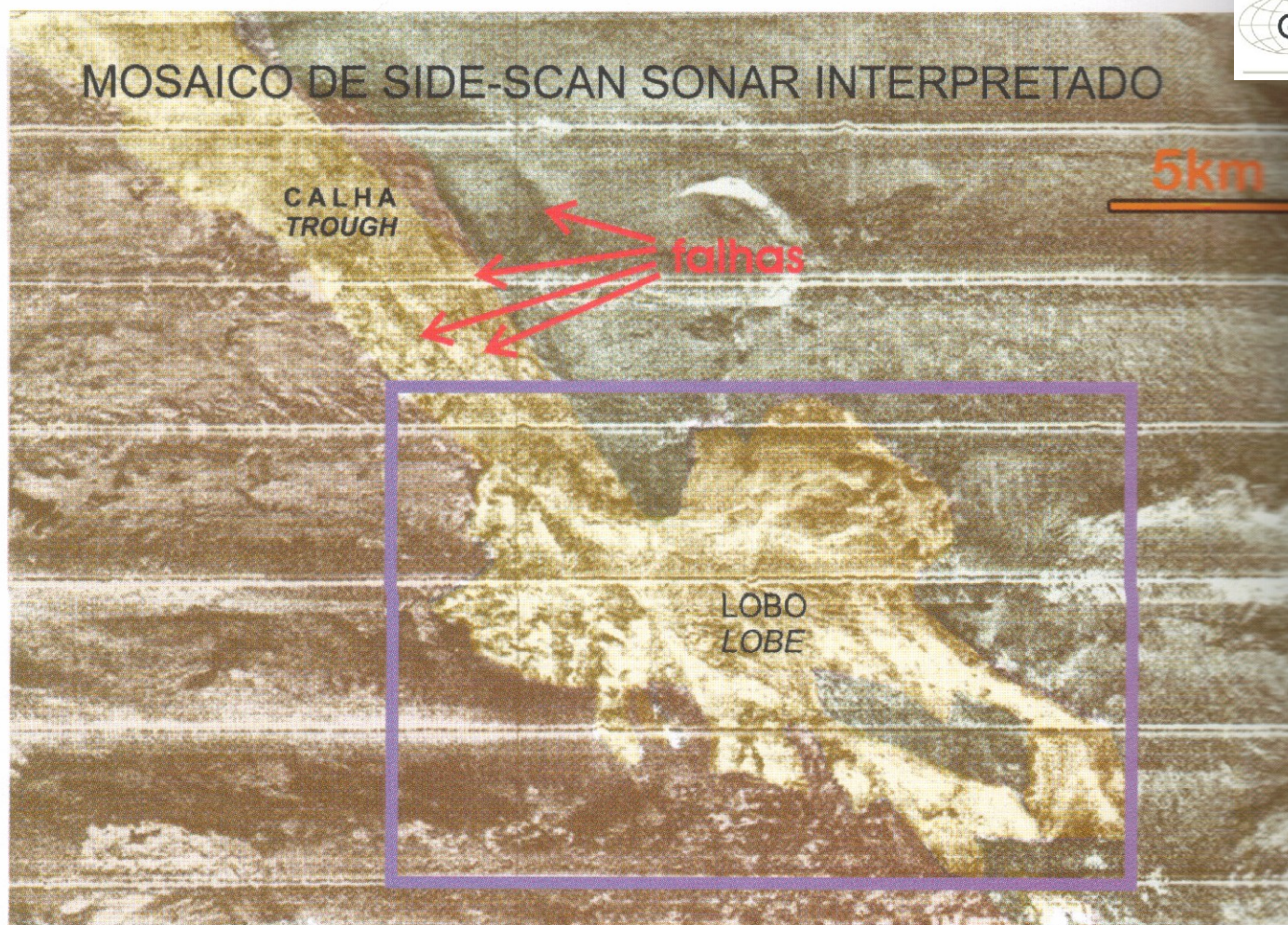
Introdução

Elementos Morfológicos

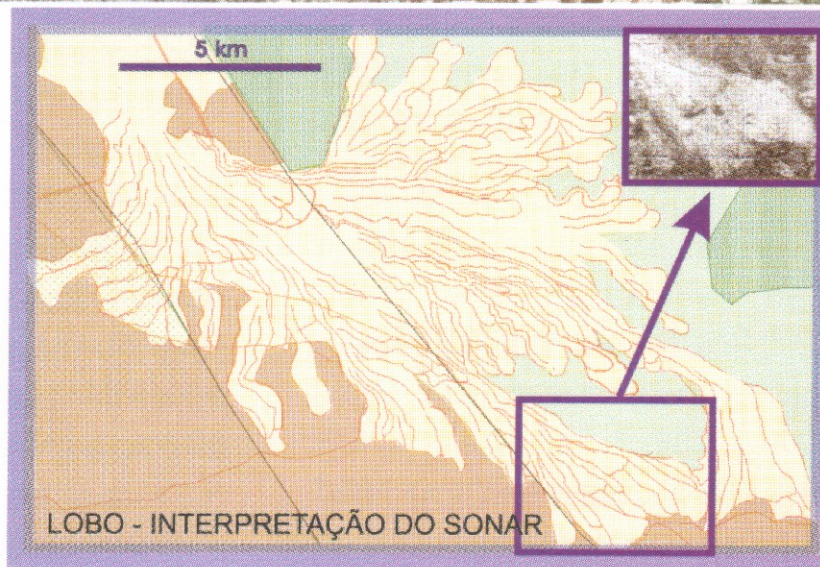
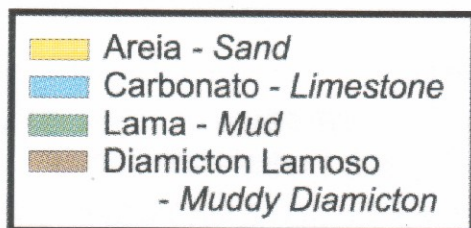
Tipos

Modelos de Fácies

MOSAICO DE SIDE-SCAN SONAR INTERPRETADO



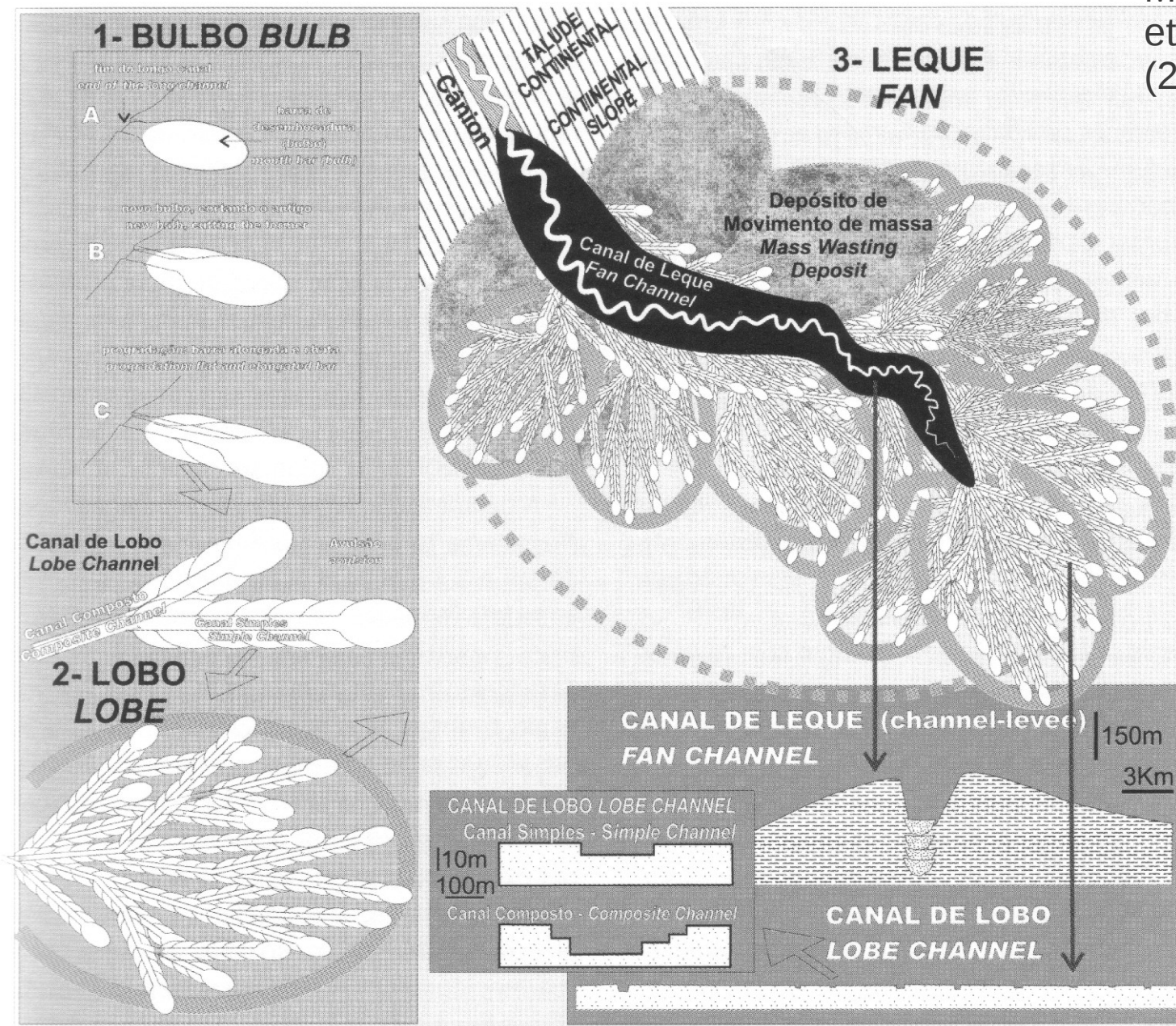
Detalhe de lobo turbidítico



Machado et al. (2004)

Arquitetura de um sistema de canal e lobos

Machado
et al.
(2004)



Elementos
Morfológicos

Tipos

Modelos de
Fácies

Tipos de leques submarinos:

- Leques ricos em pelitos
- Leques areno-pelíticos
- Leques ricos em areia
- Leques conglomeráticos
- Rampas

Leque submarino rico em pelitos

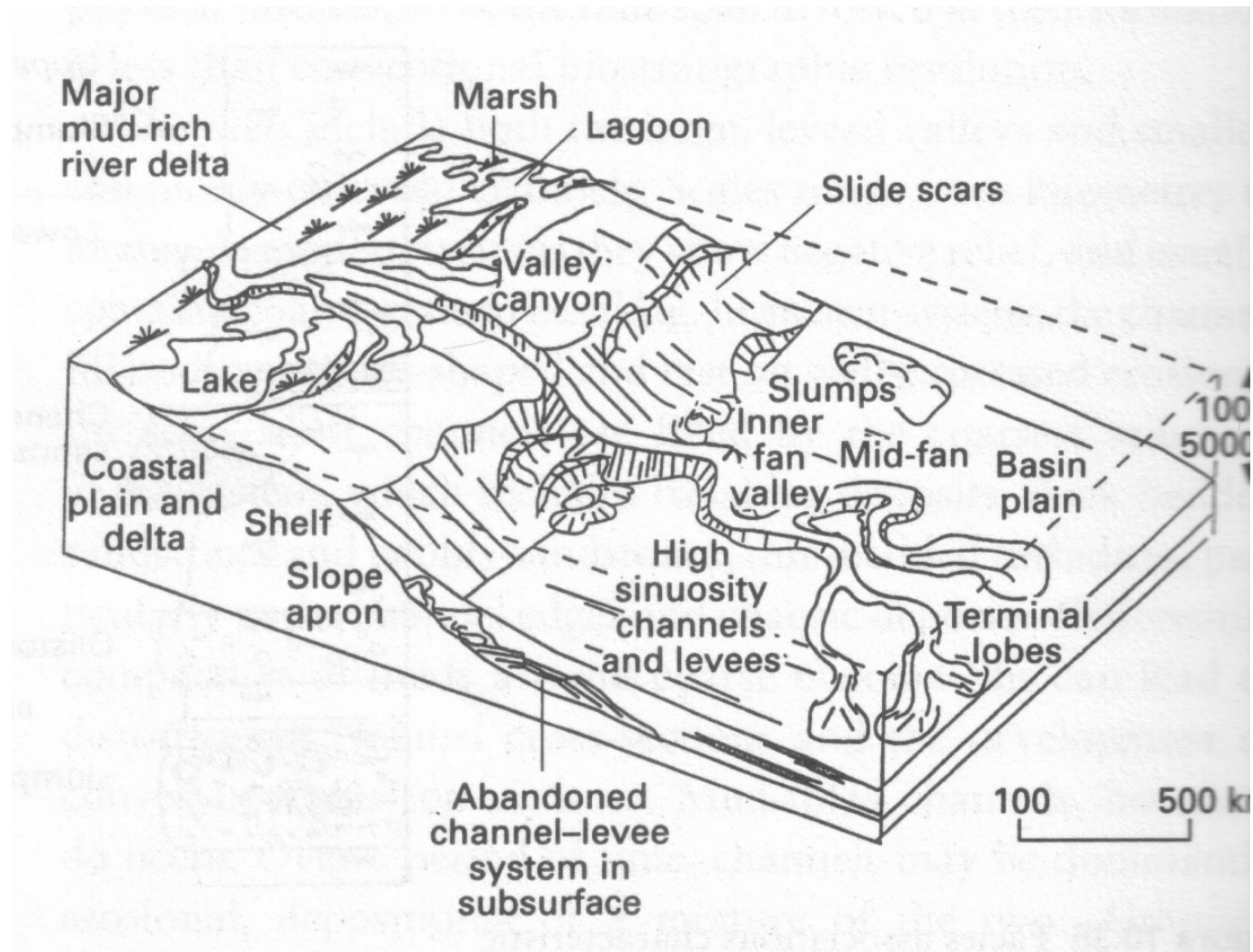


Figure 10.37 Depositional model for mud-rich submarine fan (from Reading & Richards, 1994).

Leque submarino areno-pelítico

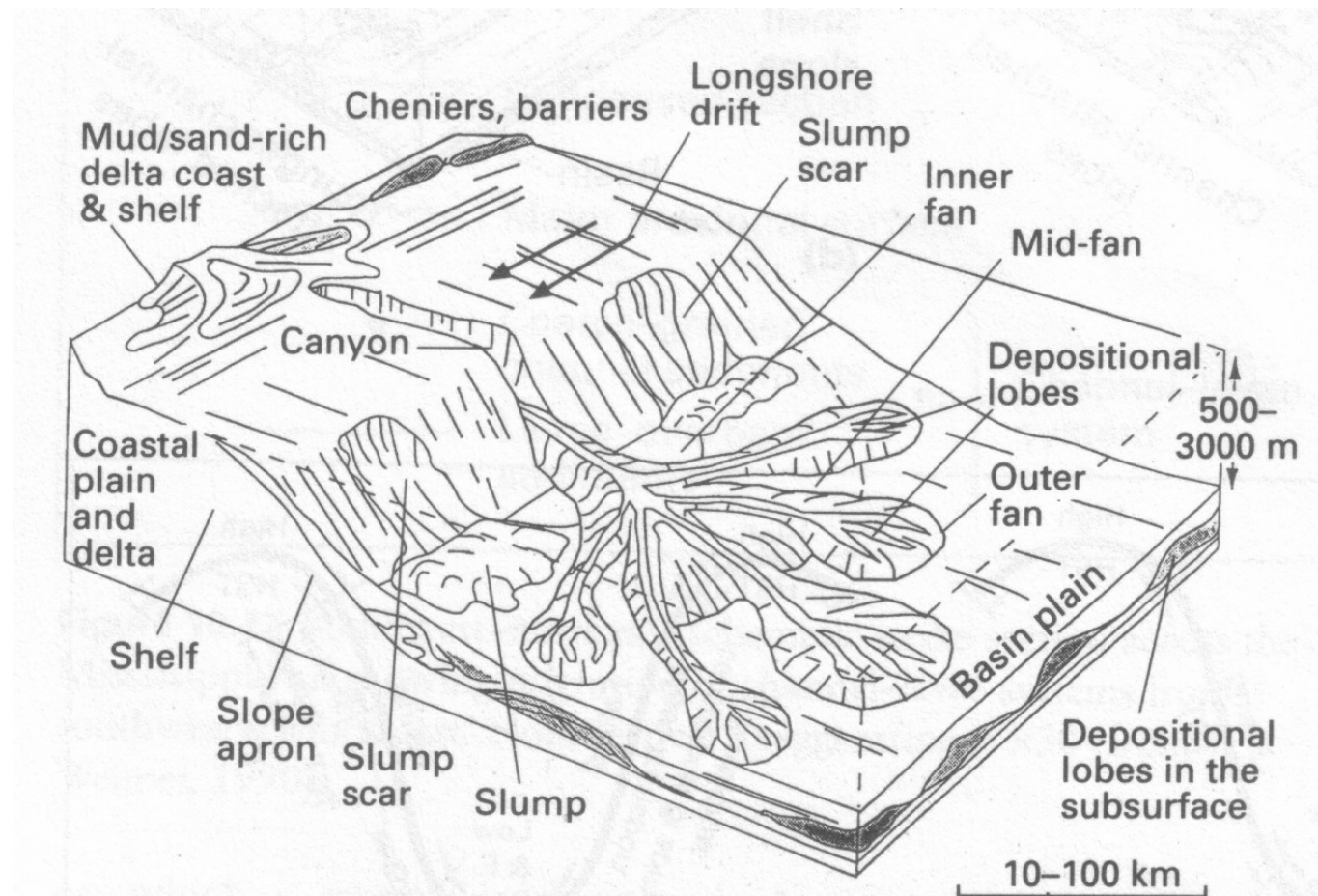


Figure 10.46 Depositional model for mud/sand-rich submarine fan (from Reading & Richards, 1994).

Leque submarino rico em areia

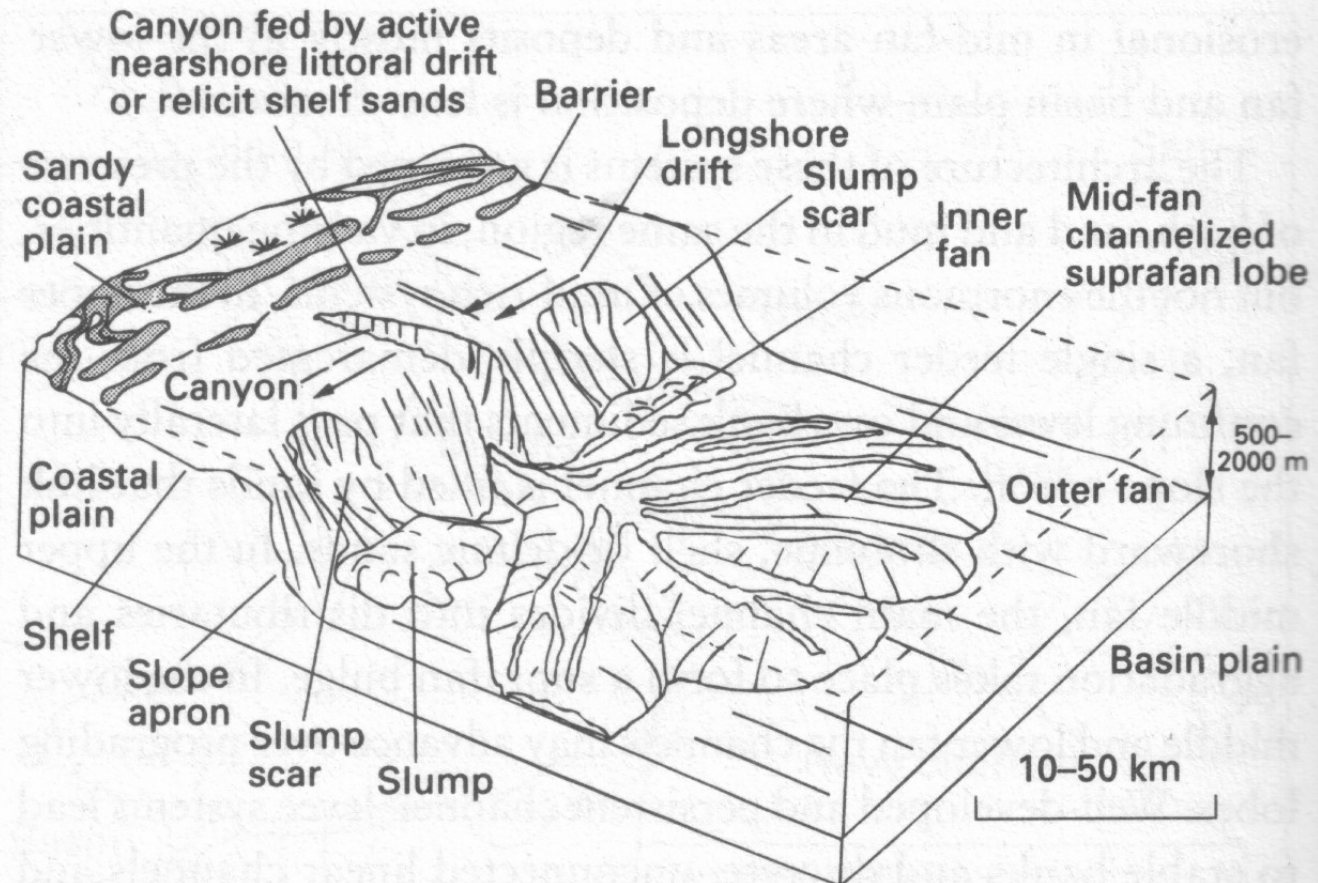
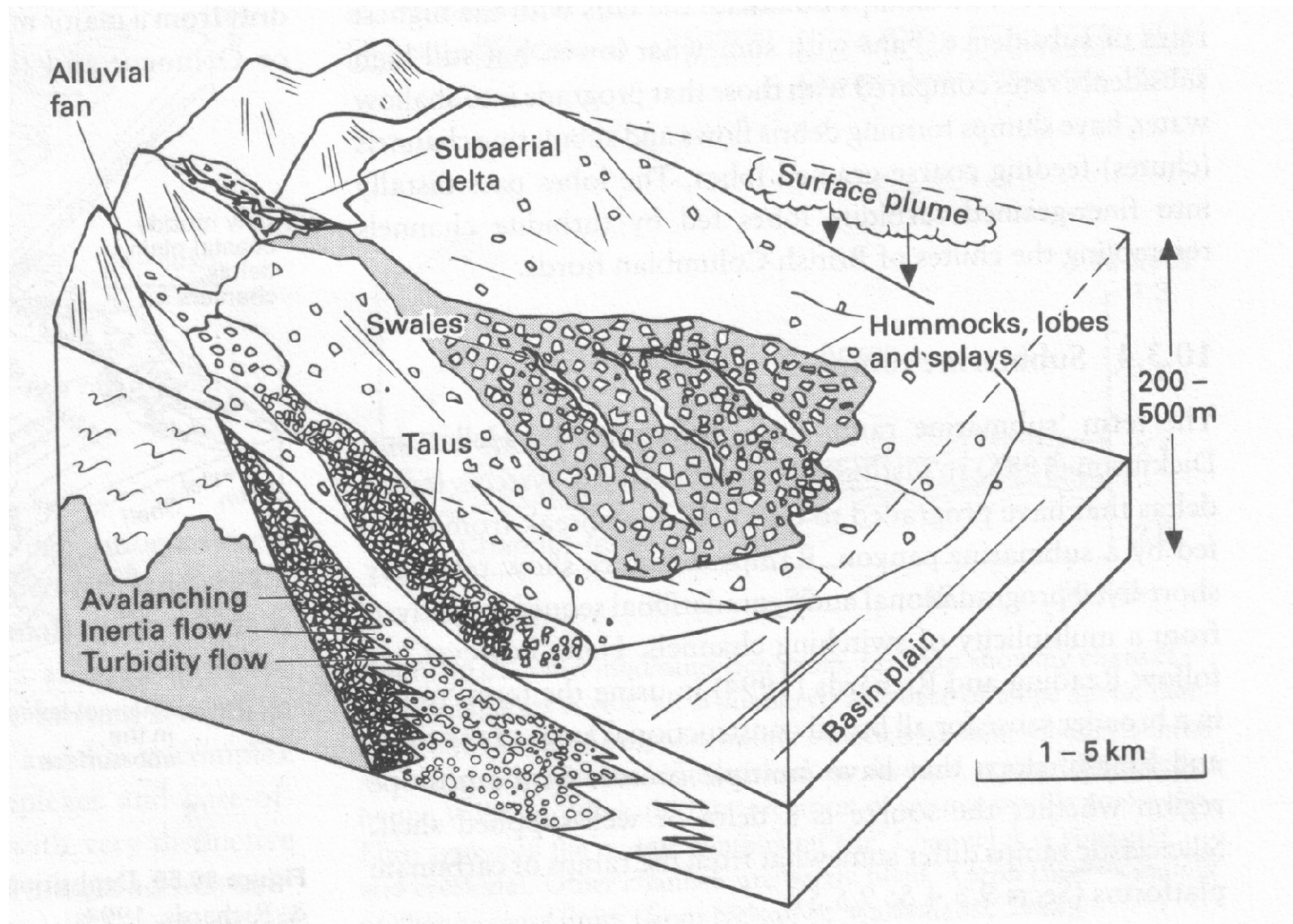


Figure 10.51 Depositional model for sand-rich submarine fan (from Reading & Richards, 1994).

Leque submarino rico em areia



Modelos de fácies:

- Primeiros modelos: empilhamento vertical
- Modelo de Mutti: distribuição horizontal
- Modelos de variação tridimensional de fácies

"Turbiditos Clássicos"

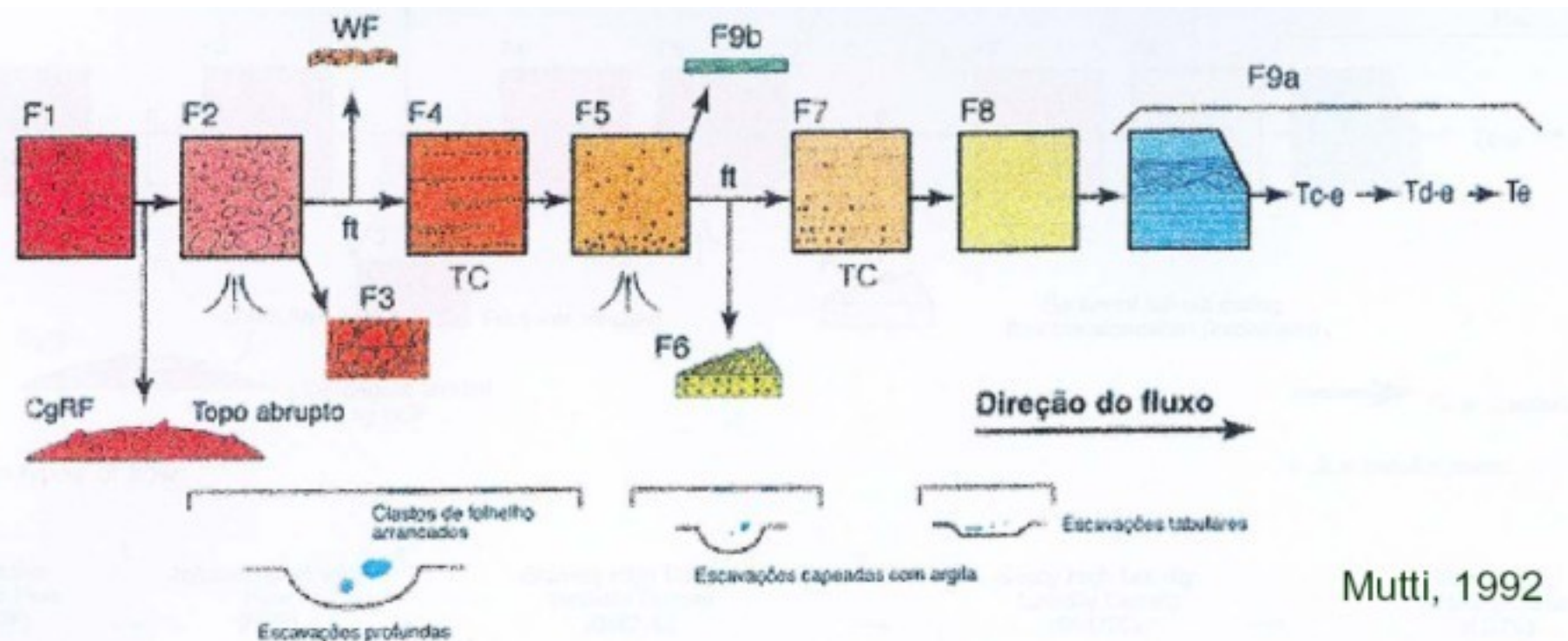
A Seqüência de Bouma

	ϕ	Divisões de Bouma (1962)	Interpretação hidrodinâmica
	↑		
	Lama	Te Pelitos laminados	(Td/Te) ↑ Sedimentação pelágica, decantação em águas calmas ou a partir de suspensão por correntes lentas e diluídas
	↓		
	Silte	Td Silte e argila laminados	↓ A partir de suspensão Leito Plano
	Areia	Tc Laminações cavalgantes ou laminações convolutas	Regime de Fluxo Inferior "climbing ripples"
	↑		
	Tb Laminações plano-paralelas	Regime de Fluxo Superior Leito plano	
	↓		
	Areia a grânulos na base	Ta Intervalo maciço ou com gradação normal	Alta velocidade de fluxo e deposição rápida a partir de transporte por suspensão

Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos



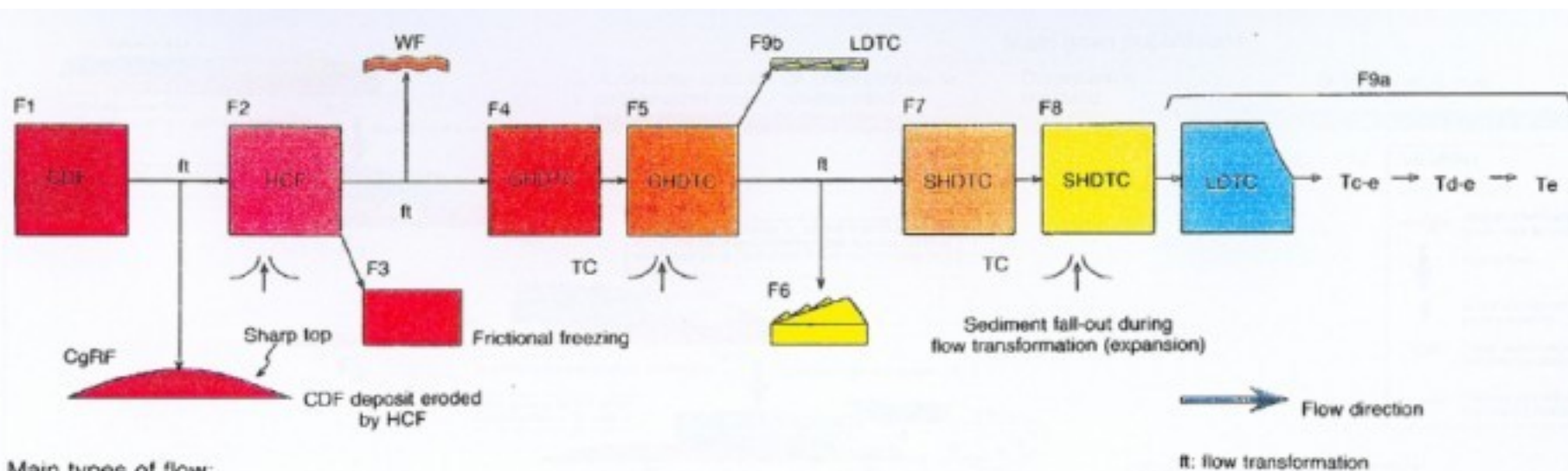
Mutti, 1992

Modelos de
Fácies

	Matacão e seixos		Areia fina a média		Fácies conglomerática remanescente
	Seixos pequenos		Areia fina e silte grosso		Fácies ondulada composta de cascalho mal selecionado e areia
	Seixos muito pequenos grânulos/areia muito grossa		Lama		Estruturas de escape de fluidos
					Carpetes de tração
					Transformação de fluxo

Introdução

Elementos Morfológicos



Main types of flow:



Sediment support mechanisms

(refer to the coarser grain size population within the flow at each considered time)

Matrix strength

Large-scale turbulence, decreased matrix strength and increased concentration of coarse-grained sediment per volume unit

Turbulence and hindered settling

Turbulence and hindered settling

Hindered settling

Turbulence

Mechanisms of deposition:

Cohesive freezing (F1)

Frictional freezing (F3) followed by cohesive freezing (F2)

Traction carpets (F4) followed by en-masse deposition (F5)

Thin traction carpets (F7) followed by en-masse deposition (F8)

Traction-plus-fallout process (b through d divisions) followed by deposition of homogeneous mud (e division)

Modelos de Fácies

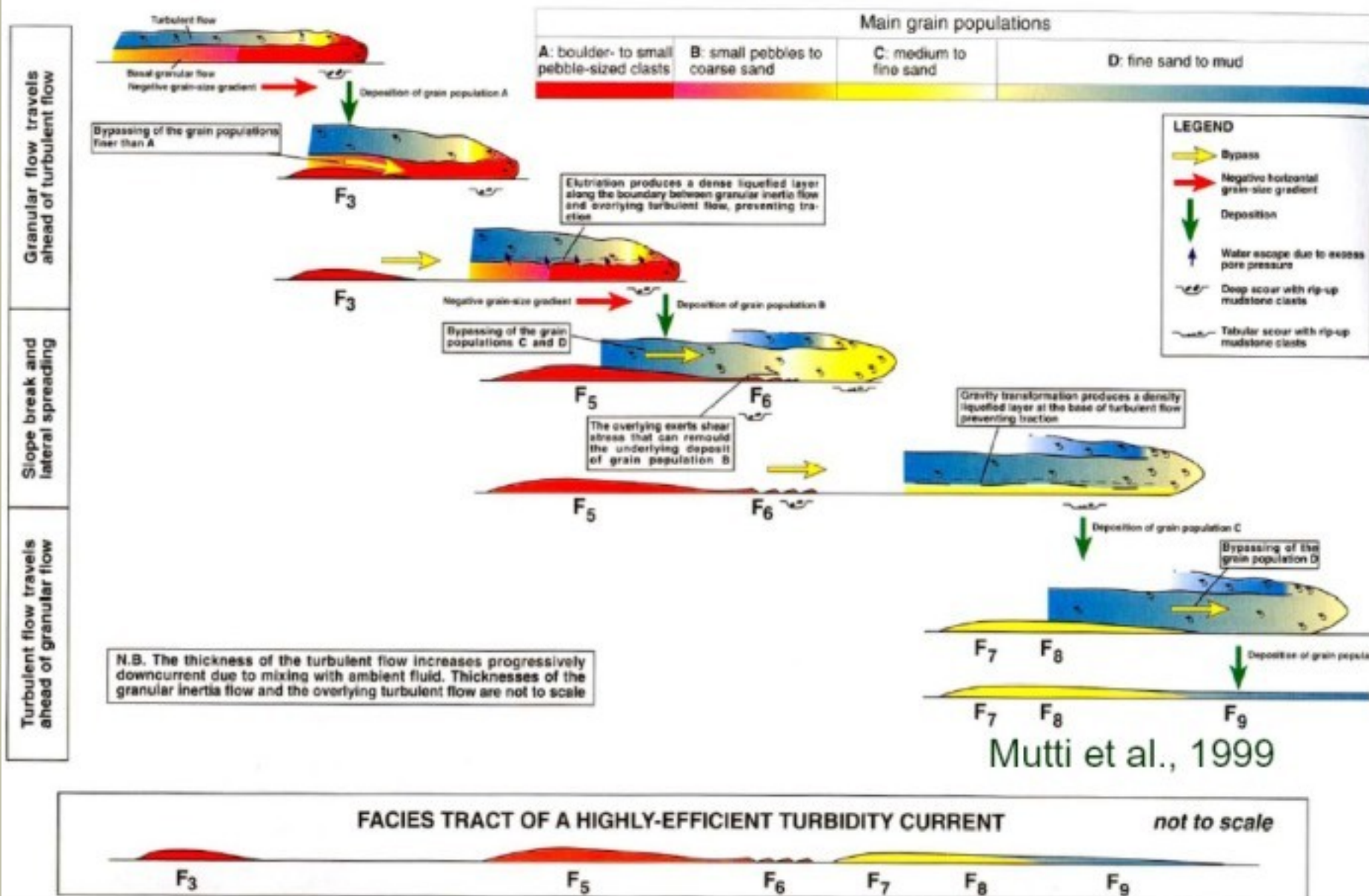
Mutti, 1992

Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

Modelos de
Fácies



Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**



Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**



Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**



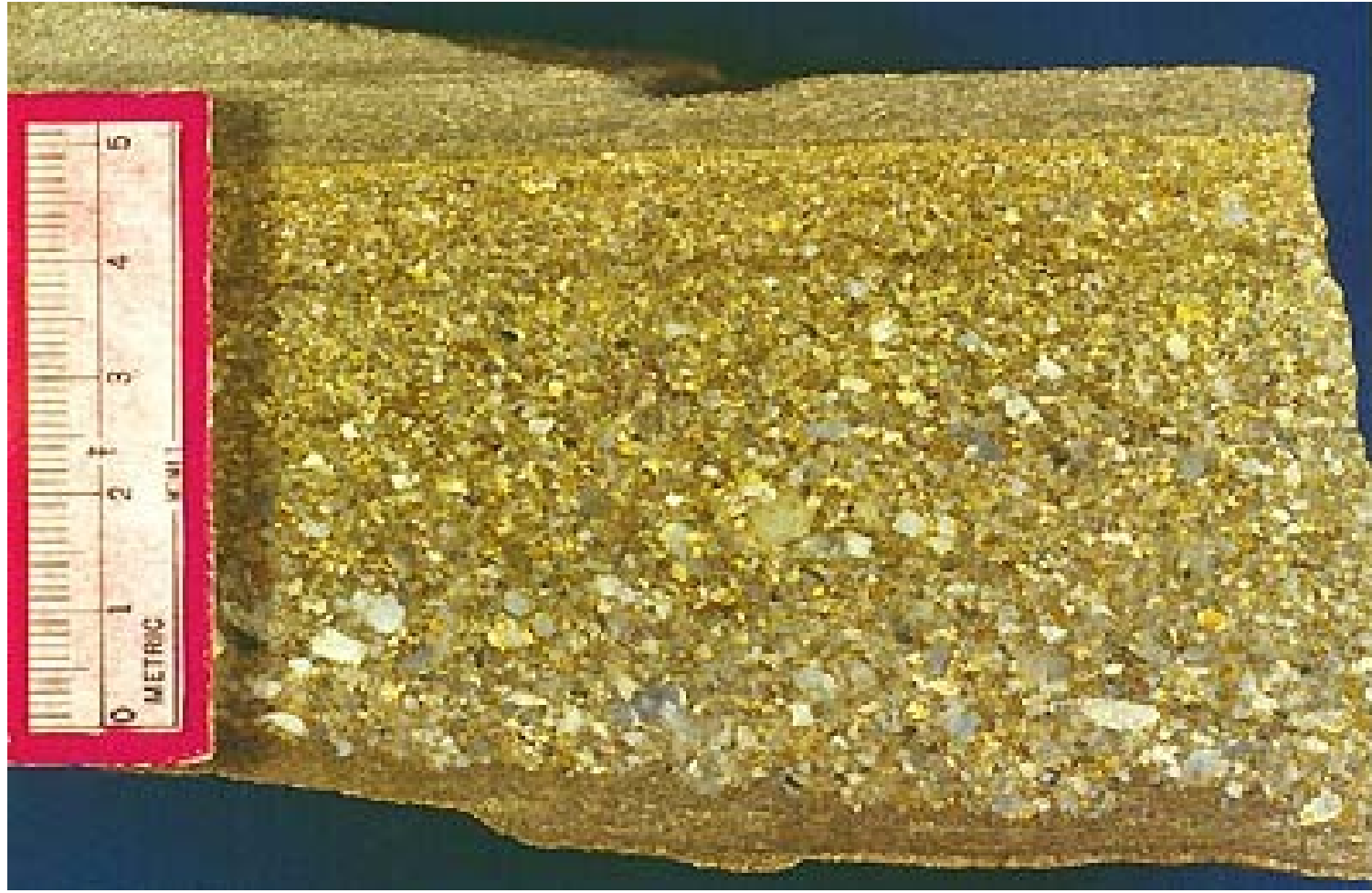
Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**







Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**

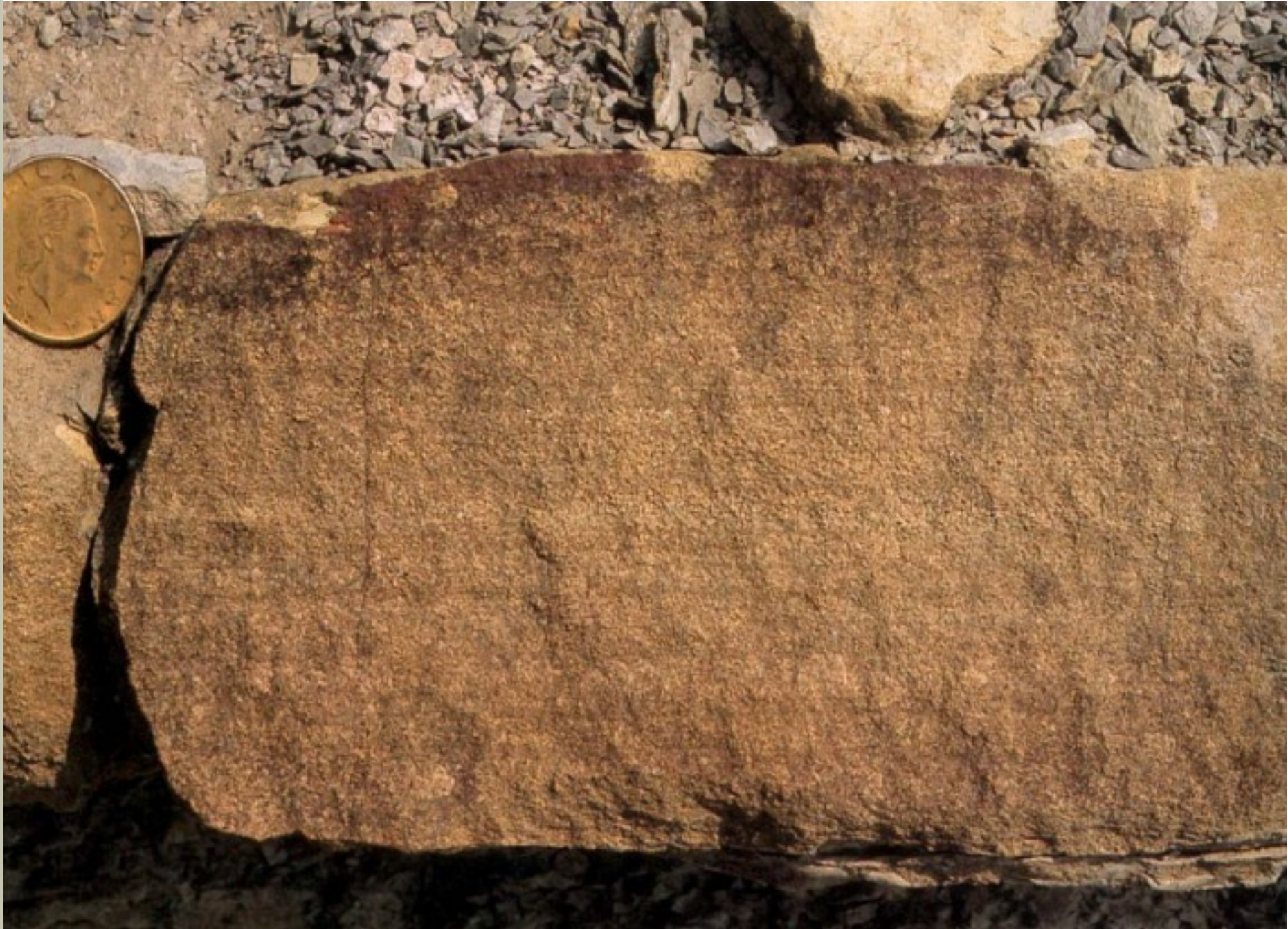


Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**



Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**

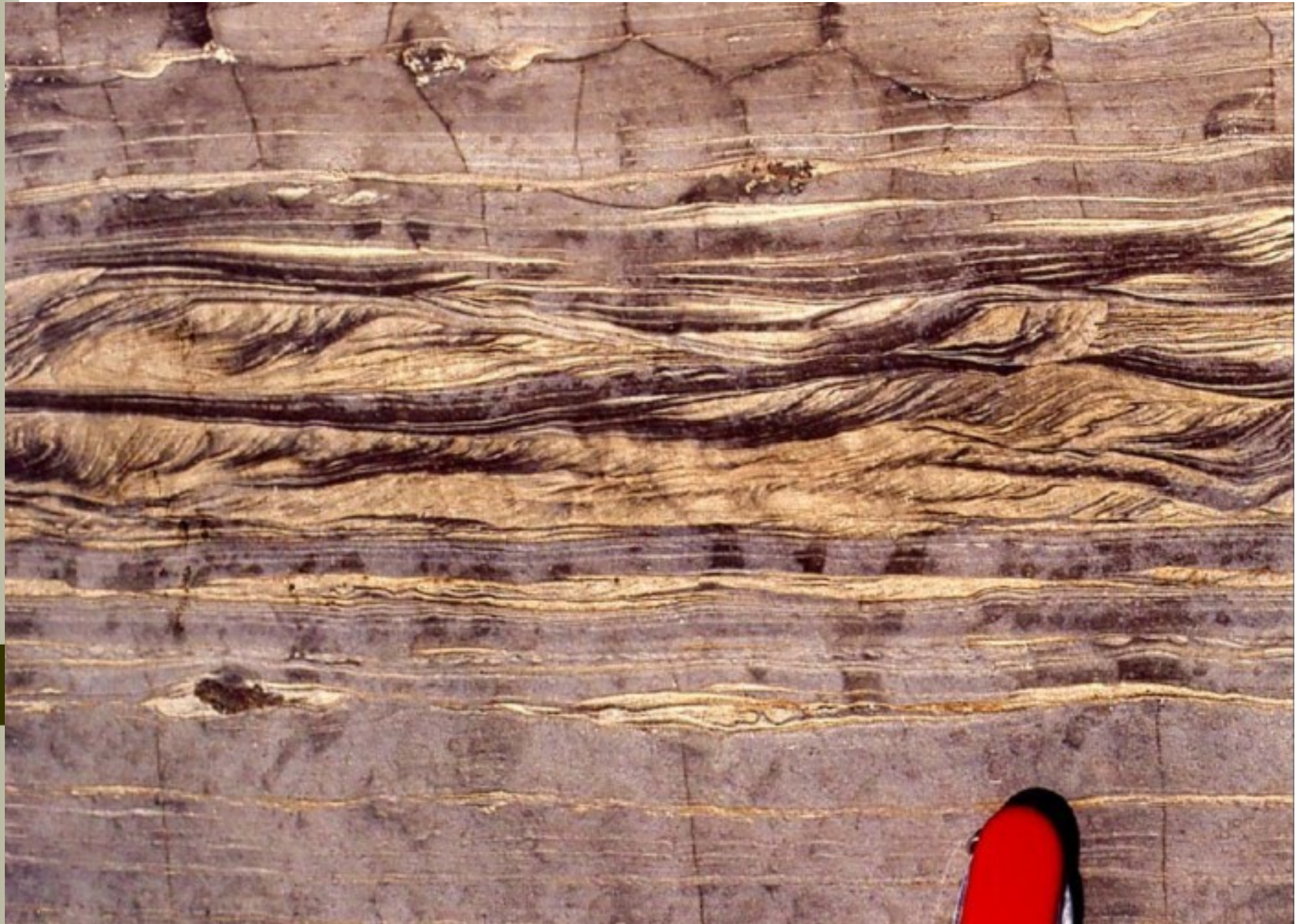


Introdução

Elementos
Morfológicos

Tipos

**Modelos de
Fácies**



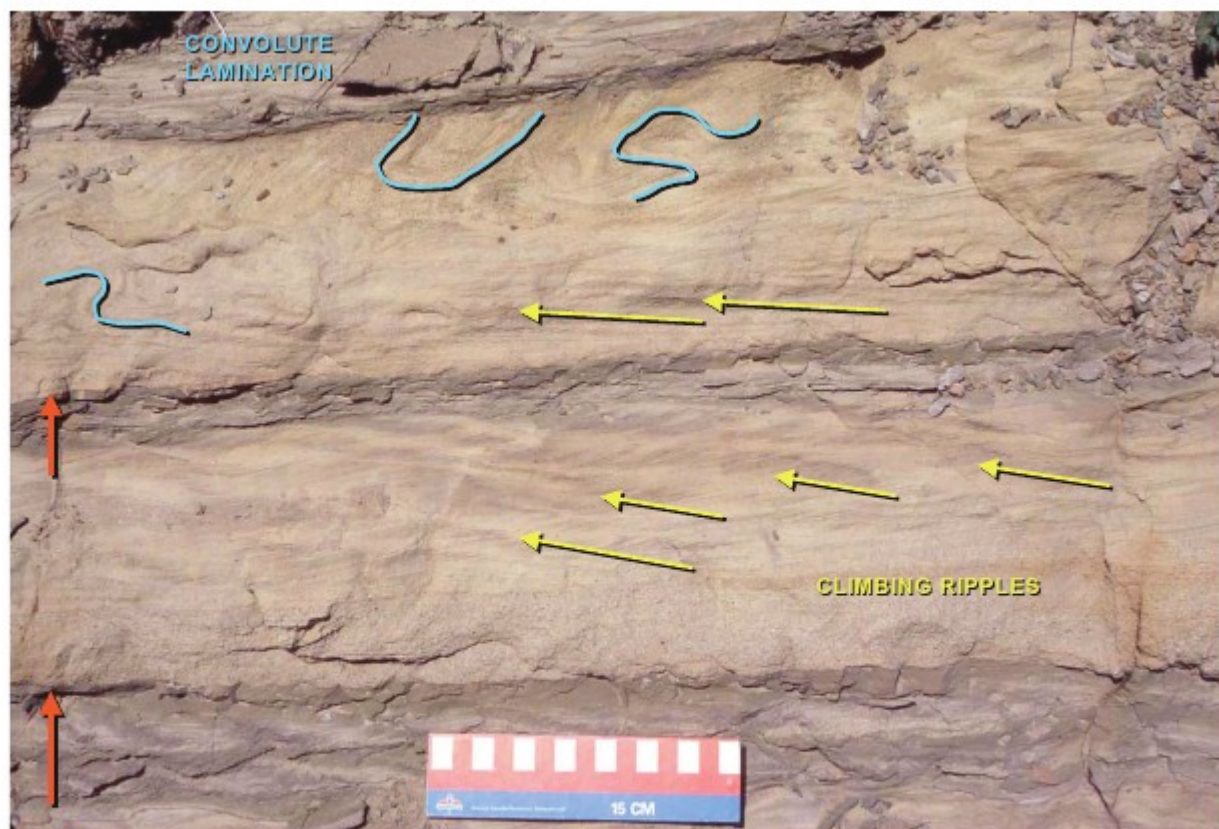


FIG. 7.—Thin-bedded turbidites in the Chatsworth Sandstone (Cretaceous), Chatsworth (Simi Hills), California. Bases shown by red arrows, and climbing ripples shown by yellow arrows. Convolute lamination is outlined in blue. Compare with Figure 6 (where there is no climbing and no convection).

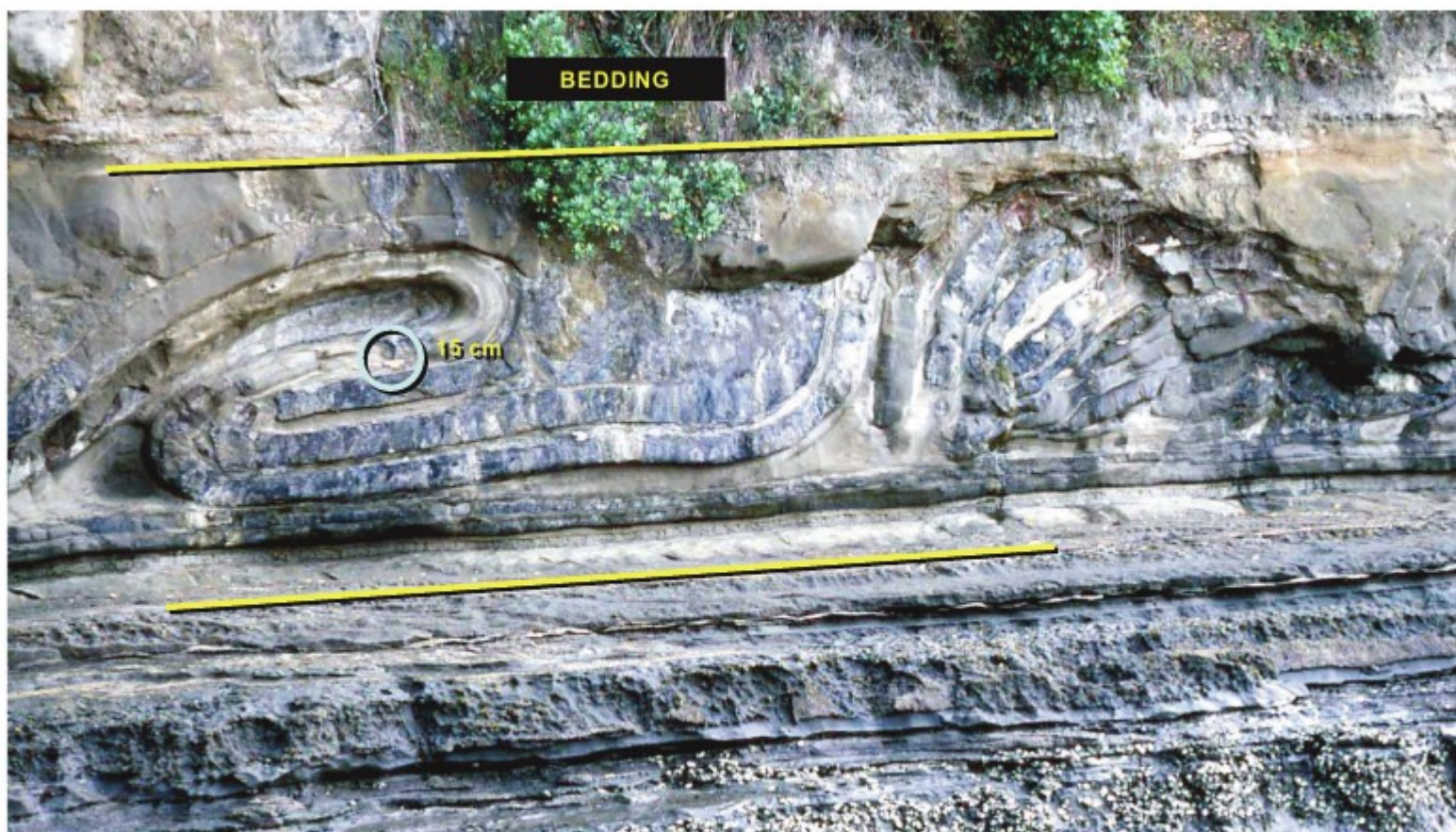
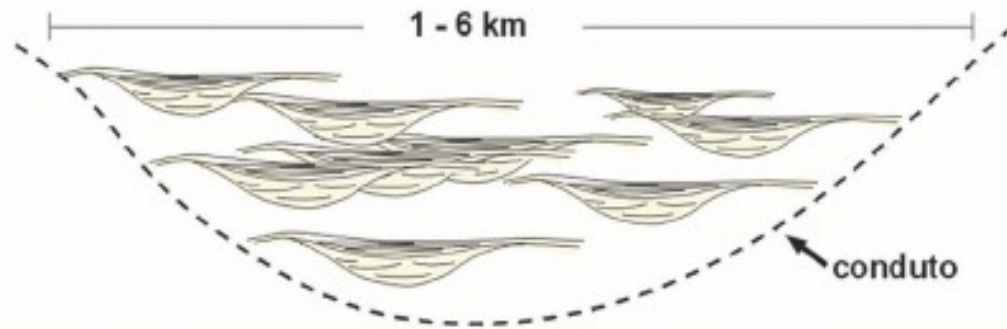
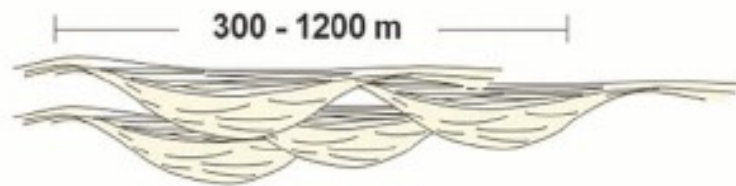


FIG. 25.—Small-scale slump involving only two beds within otherwise flat-bedded succession, Eocene, Waitemata Group, New Zealand.

COMPLEXO DE CANAIS



CANAL COMPOSTO



CANAL INDIVIDUAL

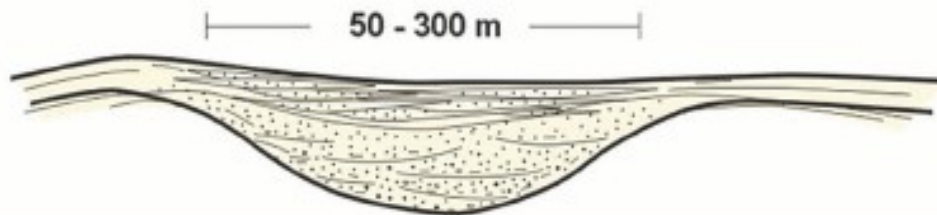
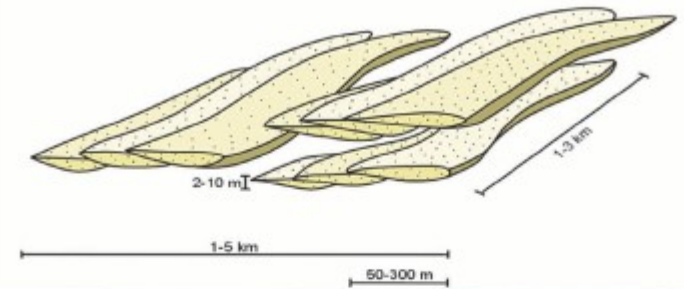


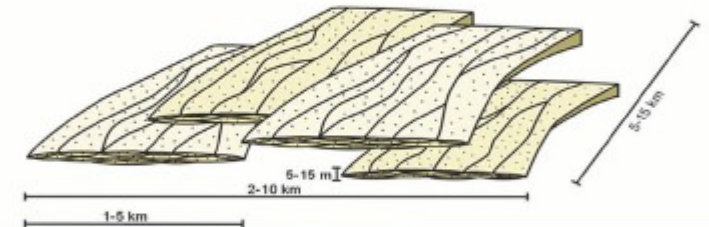
Figura 6 – Hierarquia de elementos de arquitetura observada em reservatórios de águas profundas, com exemplos dos complexos de canais discretos. Note que cada nível de hierarquia apresenta um intervalo de dimensões específico.

Figure 6 – Hierarchy of architectural elements observed in deep-water reservoirs, using the examples of discrete-channel complex. Note that each hierarchical level refers to a specific set of dimensions.

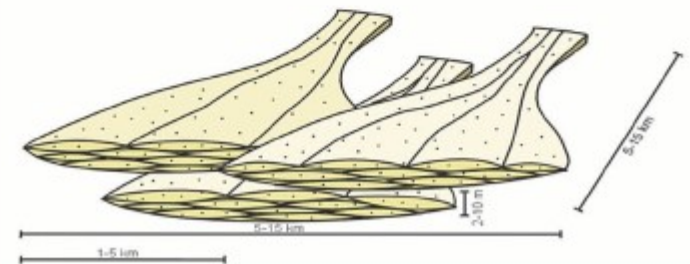
A COMPLEXOS DE CANAIS DISCRETOS



B COMPLEXOS DE CANAIS AMALGAMADOS



C COMPLEXOS DE CANAIS DISTRIBUTÁRIOS E LOBOS



Moraes et al. (2006)



Figura 7 – Fotografia de canal individual da Formação Brushy Canyon (localidade de Brushy Mesa). Extraída de Gardner et al. (2000).

Figure 7 – Individual channel of the Brushy Canyon Formation. Extracted from Gardner et al. (2000).

Moraes et al. (2006)

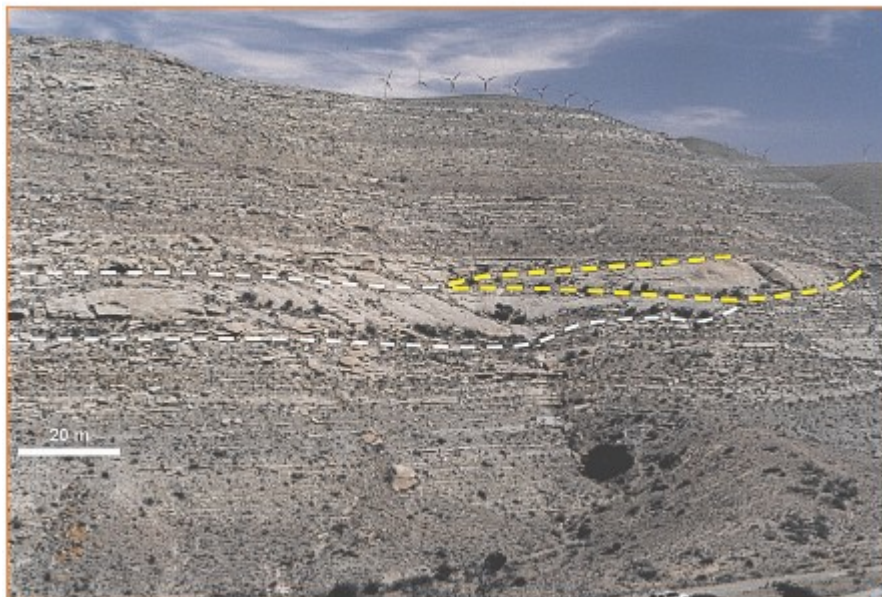
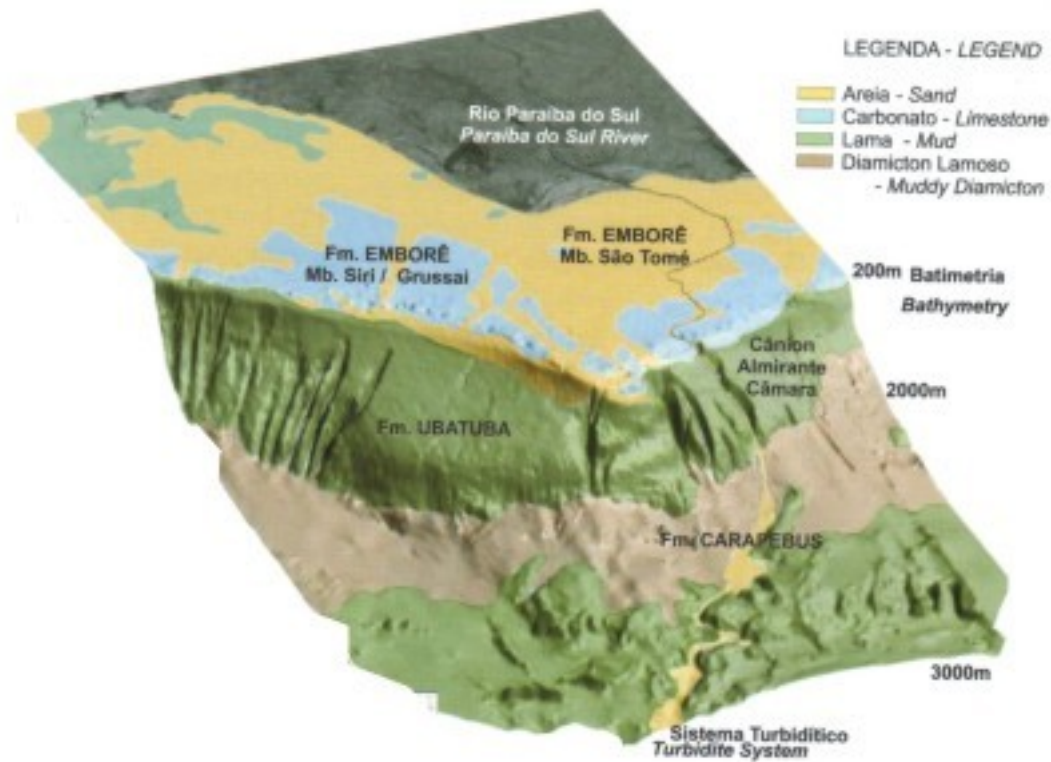


Figura 8

Outra imagem dos canais discretos da Formação Brushy Canyon apresentados na figura 2. Note que a principal feição de canal se trata de um canal composto com cerca de 600 m de largura. Em seu interior são identificados canais individuais menores (como o marcado em amarelo) com largura em torno de 200 m. As paleocorrentes são ligeiramente oblíquas, para a esquerda, no sentido do afloramento.

Distribuição espacial das fácies – variação em área e não só longitudinal



Machado et al. (2004)

Distribuição espacial das fácies – variação em área e não só longitudinal

Introdução

Elementos Morfológicos

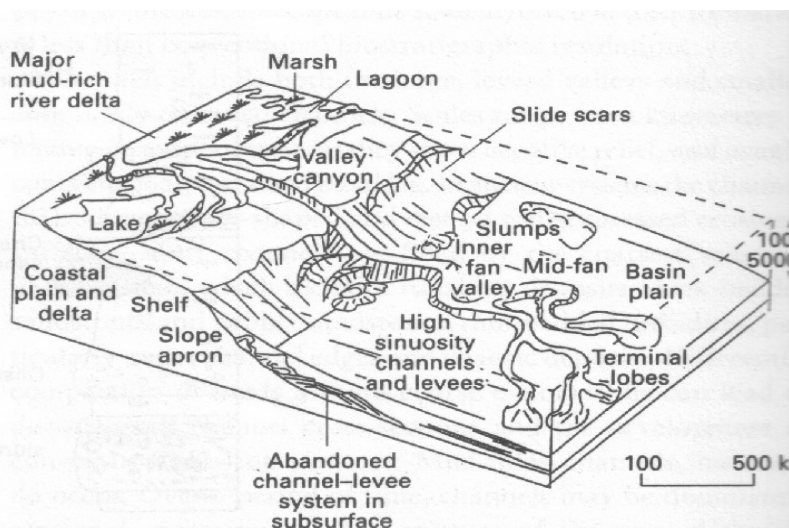


Figure 10.37 Depositional model for mud-rich submarine fan (from Reading & Richards, 1994).

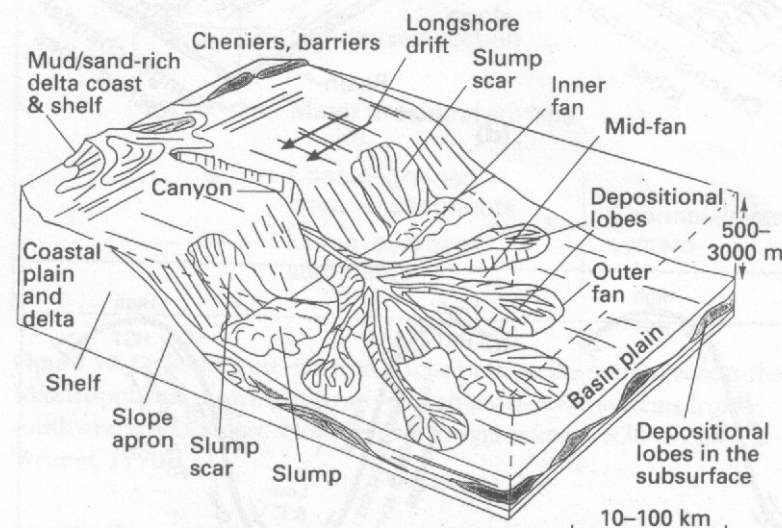


Figure 10.46 Depositional model for mud/sand-rich submarine fan (from Reading & Richards, 1994).

Tipos

Modelos de Fácies

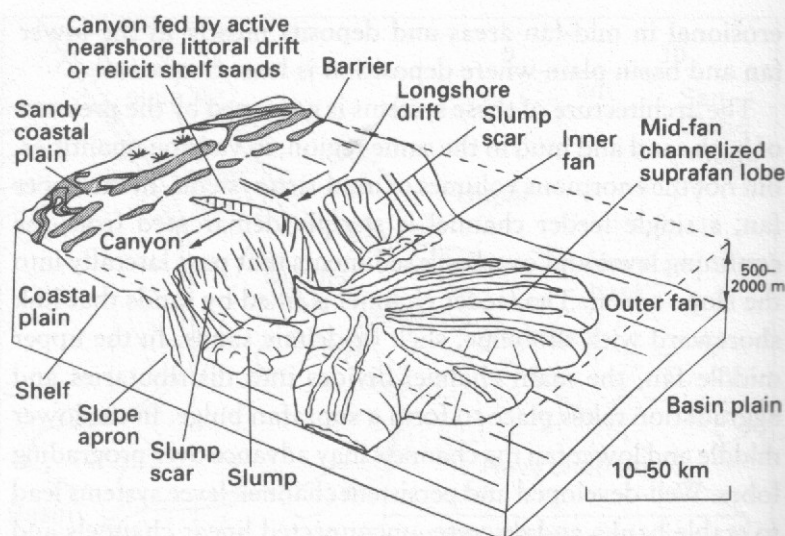
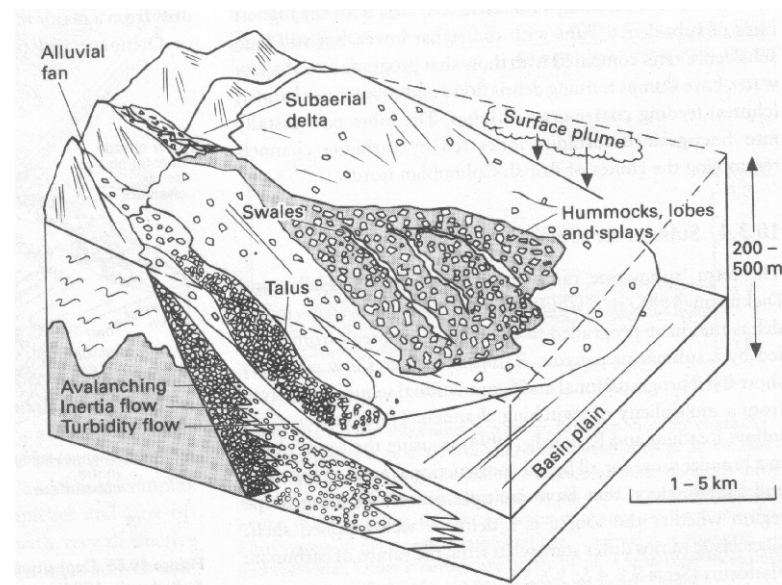


Figure 10.51 Depositional model for sand-rich submarine fan (from Reading & Richards, 1994).



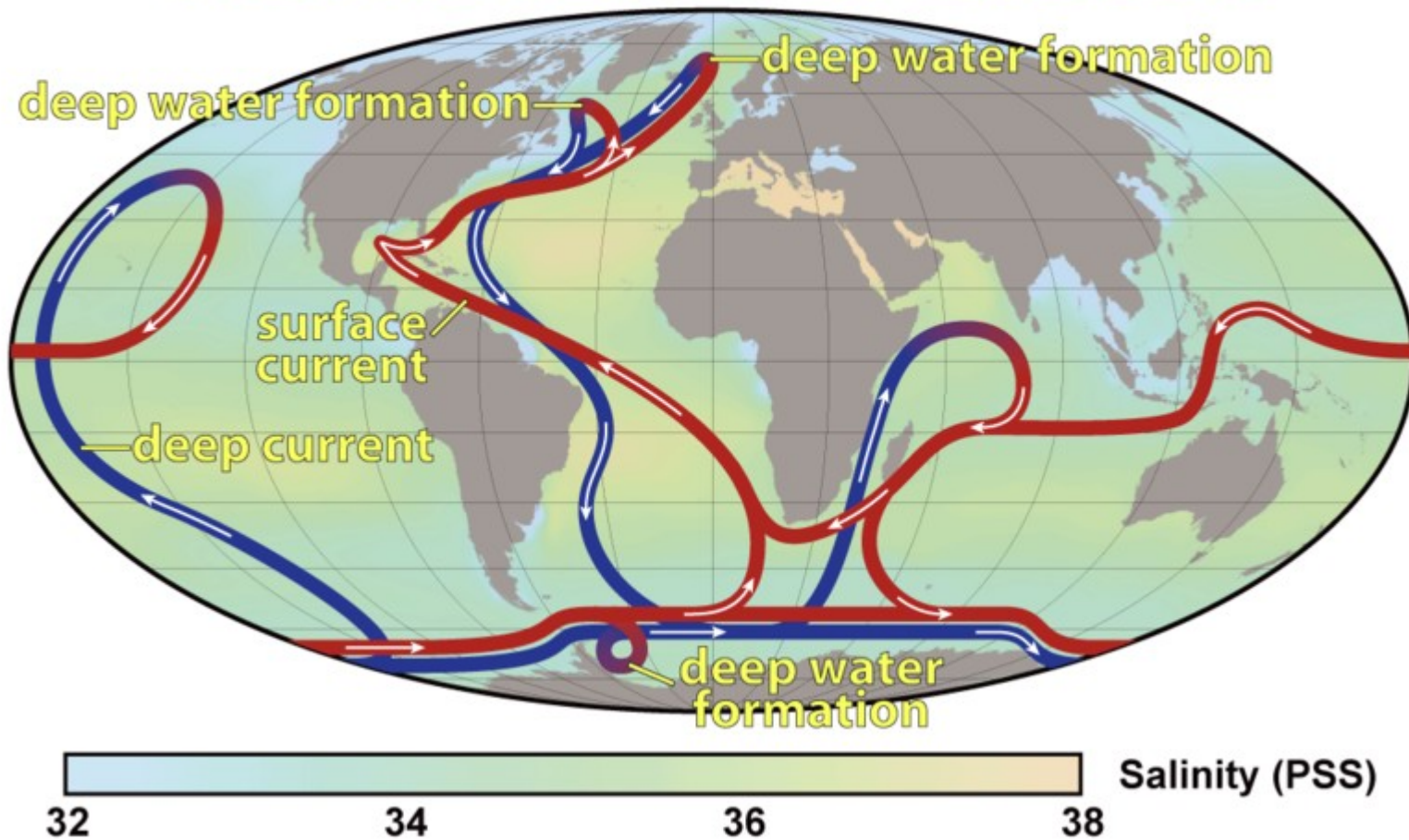
Bypass

Correntes de turbidez descendo o talude podem mover-se a muitos metros por segundo, a velocidades nas quais areia e partículas mais finas mantêm-se em suspensão. Esses fluxos gradualmente desaceleram para velocidades de 1-2 m por segundo, quando as frações maiores da areia começam a depositar. Durante esse período de desaceleração, as correntes podem atravessar o talude sem depositar sedimento (bypass), movendo-se por grandes distâncias pelo assoalho oceânico.

Contornitos

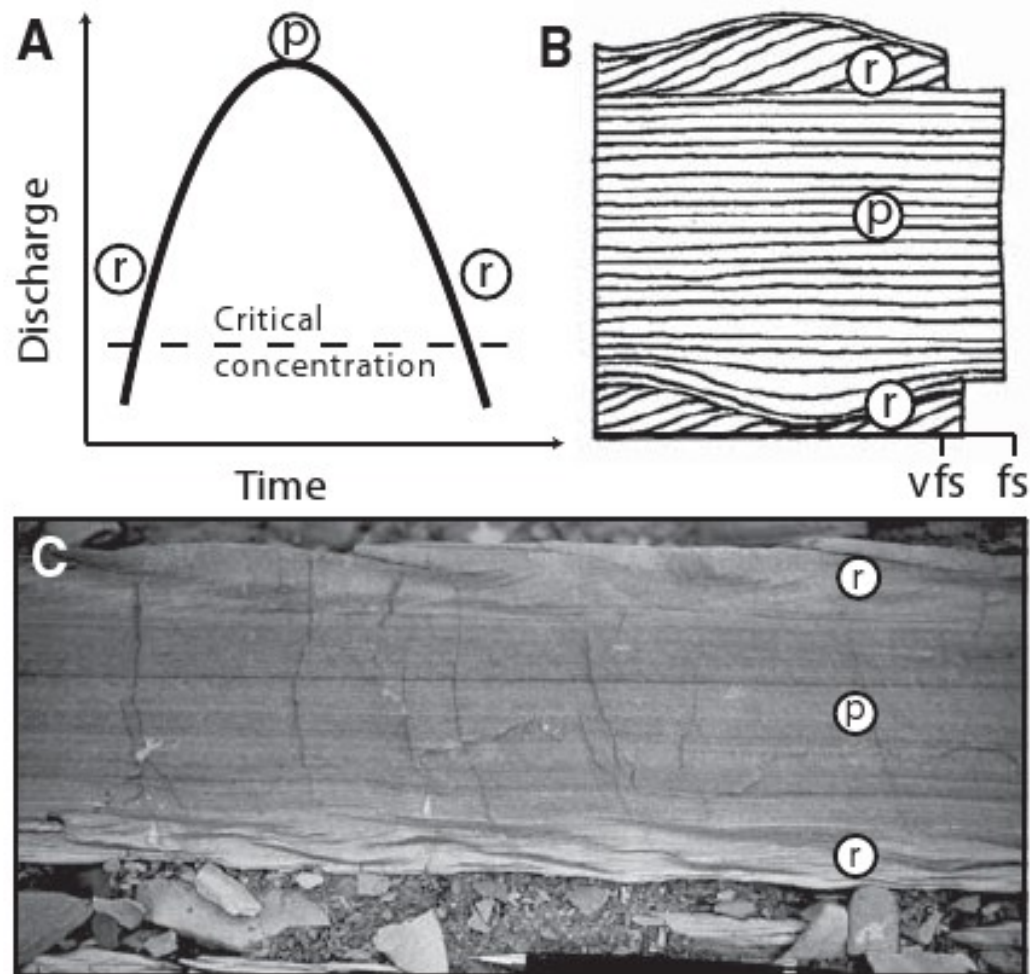
Correntes termohalinas e algumas correntes profundas induzidas pelo vento transportam sedimentos lateralmente em águas profundas, afetando a distribuição de sedimentos pelágicos, hemi-pelágicos e transportados por correntes de turbidez. Correntes de contorno (que fluem paralelamente aos contornos do talude) transportam sedimentos de fundo pelas margens dos principais oceanos, particularmente nas áreas de sopé continental. Velocidades de correntes de contorno são tipicamente da ordem de 0,01 m por segundo, mas podem atingir 0,1 m por segundo em áreas em que o fluxo é forçado a convergir pela ação da força de Coriolis e da topografia do fundo oceânico. A velocidade e a direção dessas correntes podem variar no tempo em diversas escalas, com por exemplo sazonalmente. Correntes de contorno com velocidades de dezenas de centímetros por segundo podem transportar até areia fina, mas correntes ocasionais transportam até partículas mais grossas. Formas de leito incluem ondulações e dunas, mas bioturbação tende a destruir as estruturas resultantes.

Thermohaline Circulation



Hipericnitos

Correntes de turbidez relativamente contínuas (com duração de dias ou semanas) podem ocorrer quando águas de rios densas, ricas em sedimentos, adentram um corpo d'água estagnada (mar ou lago), formando uma corrente mais densa que o meio e que flui pelo fundo (fluxo hiperpicnal = mais denso).



Lamb & Mohig
(2010)

Figure 1. A: Hypothetical flood hydrograph that generates a hyperpycnal river plume; after Mulder et al. (2003). Once critical concentration is exceeded, turbidity current is expected to mirror rising and falling river discharge, producing an inverse to normally graded bed with sedimentary structures indicating waxing to waning flow. B: Schematic drawing of an event bed. C: Photograph of an event bed from the Pennsylvanian Minturn Formation, Colorado, interpreted to be from a hyperpycnal plume (Lamb et al., 2008; Myrow et al., 2008), showing initial deposition of ripples (r) in very fine sand (vfs), then higher-energy plane bed (p) in fine sand (fs), and finally ripples (r) in very fine sand. Pencil for scale is 14 cm long.

Lamb, M. P. & Mohrig, D. (2009), 'Do hyperpycnal-flow deposits record river-flood dynamics?', *Geology* **37**, 1067-1070.

Machado L.C.R., Kowsmann R.O., Almeida Jr. W., Murakami C.Y., Scheiner S., Miller D.J., Piauilino P.O.V. 2004. Geometria da porção proximal do sistema deposicional turbidítico moderno da Formação Carapebus, Bacia de Campos; modelo para heterogeneidades de reservatório. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, **12**(2): 297-315.

Moraes, M. A. S.; Blaskovski, P. R. & Paraizo, P. L. B. (2006), 'Arquitetura de reservatórios de águas profundas', *Boletim de Geociências da PETROBRAS* **14**(1), 7-25.

Mutti, E., & Normark, W.R., 1991, An integrated approach to the study of turbidite systems, in Weimer, P., and Link, M.H., eds., *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*: New York, Springer-Verlag, p. 75–106.

Posamentier, H. W. & Walker, R. G. (2006), *Facies Models Revisited*, SEPM, chapter Deep-water turbidites and submarine fans, pp. 403-450.

Reading, H. G. & Richards, M. (1994), 'Turbidite system in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system', *AAPG Bulletin* **78**, 792-822.

Shanmugam, G. (2000), '50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models - a critical perspective', *Marine and Petroleum Geology* **17**, 285-342.