

## O "ESTADO DE ARTE" DOS DEPÓSITOS DE TURBIDITOS

Fernando Alves PIRES

### RESUMO

Este trabalho faz uma revisão dos conhecimentos sobre depósitos de turbiditos, principalmente aqueles relacionados às seqüências de leques submarinos. São discutidos os trabalhos mais recentes, que abordam a classificação de fácies, os padrões geomórficos e os sistemas deposicionais desses depósitos.

### ABSTRACT

This paper deals with current knowledge of turbidite deposits, mainly those associated with submarine fans. Facies classification and depositional systems are discussed based upon the recent literature.

### 1 INTRODUÇÃO

Em várias partes do mundo os leques submarinos constituem importantes reservatórios de hidrocarbonetos. Conseqüentemente, a necessidade de entender suas geometrias e fácies associadas tornou-se fundamental para efetuar a exploração desses depósitos.

Essa motivação econômica gerou nos últimos 20 anos enorme quantidade de artigos científicos enfocando os sedimentos gerados por correntes de turbidez e processos associados. Modernos leques submarinos foram investigados e inúmeras seqüências antigas foram interpretadas como turbiditos. Os estudos resultaram na formulação de modelos e mais recentemente na interpretação faciológica das seqüências, sendo, portanto, os turbiditos as seqüências litológicas melhor estudadas no presente, contribuindo para a adequada interpretação de seus paleoambientes.

Tendo em vista esta quantidade de artigos abordando turbiditos, foi necessário limitar o campo de abrangência deste trabalho. Pretende-se aqui discutir os trabalhos mais recentes contendo as idéias mais atuais sobre os depósitos de turbiditos.

### 2 CARACTERIZAÇÃO/HISTÓRICO

Após a introdução, em 1950, por KUENEN & MIGLIORINI do conceito de corrente de turbidez, este foi aplicado a rochas de diferentes idades e em diversos lugares. Muitos estudos descreveram e classificaram uma nova assembléia de estruturas sedimentares associadas com turbiditos e indicadoras de paleocorrentes, porém não havia nenhum trabalho que organizasse

essas observações, o qual pudesse servir de comparação a um novo exemplo.

Ainda nos anos 50 e 60, gradualmente foi surgindo um conjunto de fatores sedimentológicos que começaram a ser associados com turbiditos. Esses fatores, que são considerados na atualidade para caracterizar os turbiditos clássicos, são os seguintes:

a) Arenitos e folhelhos intercamados por dezenas ou centenas de metros. As camadas tendem a ter topos planos e bases com estruturas de corrente e canais com tamanho de poucos centímetros;

b) As camadas de arenito têm contatos abruptos e apresentam gradação vertical, desde areia até argila;

c) Na interface areia-argila encontram-se inúmeras estruturas de sola, classificadas em três tipos:

— *Tool marks* (marcas de objetos), *flutes marks* (marcas de fluxos) e marcas orgânicas (tubos, cones e tocas preenchidas). *Tool e flute marks* são ótimos indicadores de paleofluxo local;

d) Nas camadas de arenitos ocorre uma seqüência de estruturas internas (laminação paralela, laminação cruzada, *climbing ripple*, laminação convoluta e estrutura gradacional). Uma seqüência ideal foi proposta por ARNOLD BOUMA, em 1962 (Figura 1), a qual se tornou excelente modelo faciológico para turbiditos clássicos;

e) Alta percentagem de matriz.

A seqüência de Bouma foi "destilada" de um número muito vasto de exemplos, literalmente milhões de camadas individuais. Portanto, pode ser reconhecido como um modelo bastante geral e homogêneo.

A seqüência de Bouma atua muito bem como prognóstico. Por exemplo, se um afloramento mostra camadas que iniciam com a divisão C de Bouma, o modelo prevê que foram depositadas por correntes de turbidez de menor densidade, talvez em regiões mais distais do que camadas que começam com divisão A de Bouma (Figura 2). No entanto, grupo de camadas, iniciando com divisão C de Bouma, pode ser depósito proximal (diques marginais), adjacente a camadas começando com divisão A de um canal. No entanto, o modelo tem funcionado muito bem para interpretações hidrodinâmicas.

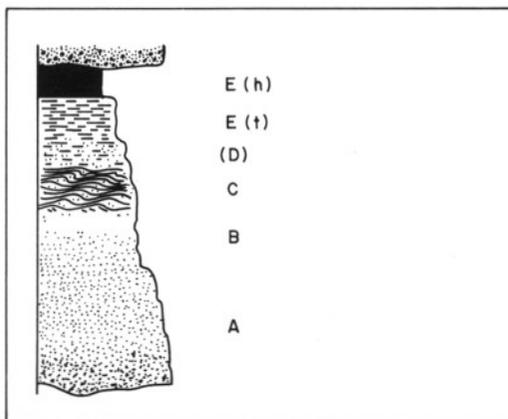


FIGURA 1 — Seqüência de Bouma: A— maciça ou gradada; B— laminação paralela; C— laminação ondulada ou convoluta; D— interlaminação paralela de silte e argila; E(t)-lama introduzida pela corrente de turbidez e E(h)-lama hemipelágica da bacia.

O principal ambiente deposicional de turbiditos são os leques submarinos e o maior volume de turbiditos encontra-se neste ambiente.

Diferentes leques submarinos modernos e seqüências antigas foram estudados ultimamente e foram propostos alguns modelos gerais para sintetizar a origem desses depósitos. Destacam-se dentre eles o de NORMARK (1970/1978), MUTTI & RICCHI LUCCHI (1972) e WALKER (1978). A maioria dos modelos descritos para leques submarinos baseia-se em critérios morfológicos, observados nos leques atuais, principalmente o La Jolla, Navy e San Lucas, situados na costa da Califórnia e pouco práticos para a utilização no campo, a nível de afloramentos.

Os modelos de MUTTI & R. LUCCHI (1972) e WALKER (1978) apresentam uma sistematização faciológica, associando tipos de fácies com os padrões geomórficos, possibilitando dessa forma a aplicação prática.

O modelo de WALKER (1978) apresenta importante descrição faciológica dos depósitos presentes no canal alimentador, ou seja, o *Upperfan*; por outro lado o modelo, ou melhor, a

classificação faciológica de MUTTI & R. LUCCHI (1972) se adequa melhor às porções intermediárias e distais do leque, isto é, às porções terminais dos canais, lobos e à deposição bacial influenciada pelos processos inerentes do leque.

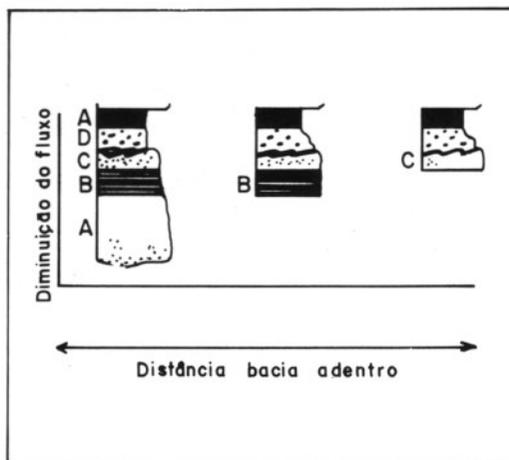


FIGURA 2 — A seqüência ABCDE é um turbidito individual, sugerindo diminuição do fluxo ao longo do sítio deposicional. Usando Bouma como modelo, poderíamos sugerir que as camadas começando com divisão B e C devem representar correntes progressivamente menos densas. A diminuição do fluxo seria co-relacionada com a distância percorrida ao longo da bacia. São limitações do modelo da seqüência de Bouma. Modificado de WALKER (1984).

Os modelos, como apresentados, são bastante simples e devem ser utilizados como referencial, a nível de comparação. Funcionam razoavelmente bem quando aplicados em pequenos e médios leques, principalmente quando possuem um único ponto alimentador de sedimento (um *canyon*, por exemplo).

Perdem muito da eficiência quando ocorre sobreposição (*overlapping*) entre diferentes leques, pois a seqüência de fácies não pode ser explicada por um único processo. Tornam-se também ineficientes, quando aplicados a estreitas calhas geossinclinais, onde o paleofluxo é predominantemente paralelo ao mergulho tectônico.

### 3 CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES DE MUTTI & RICCHI LUCCHI (1972)

MUTTI & R. LUCCHI, em 1972, estudaram várias unidades de *flysch* nos Apeninos setentrionais (Itália) e reconheceram fácies indicativas de processos deposicionais e ambientes diferentes. A partir dessa constatação, propuseram uma classificação dessas seqüências e os estudos posteriores passaram a utilizá-la como modelo nos estudos faciológicos de sedimentos turbidíticos.

MUTTI & R. LUCCHI utilizaram o termo fácies, ou melhor, litofácies para indicar um grupo de estratos ou, menos comumente, um único estrato, com litologias, texturas e estruturas sedimentares bem definidas. As características de uma fácies reflete, como regra, apenas o mecanismo de deposição. Uma associação de fácies é a combinação de duas ou mais fácies em um arranjo espacial limitado.

Portanto, as características de uma fácies refletem, como regra, apenas o mecanismo da deposição. Uma associação de fácies expressa a variação no tempo e no espaço dos mencionados processos e fornece os mais importantes elementos para a interpretação ambiental.

As fácies turbidíticas nos Apeninos Setentrionais foram classificadas em:

- A — arenosas e conglomeráticas;
- B — arenosas;
- C — arenopelíticas;
- D — pelítico-arenosas I;
- E — pelítico-arenosas II;

e as fácies consideradas associadas:

- F — caóticas;
- G — hemipelágicas e pelágicas.

#### FÁCIES A

Consiste de camadas e estratos de arenitos com granulometria média a grossa, conglomeráticos e conglomerados verdadeiros. As camadas geralmente possuem espessura superior a 1 metro, mas variações laterais em espessura são frequentes. Estrutura de fluxo (*scour*) e canais são constantes; no entanto, nas porções distais os conglomerados da fácies A normalmente possuem bases planas. Os afloramentos apresentam uma sucessão de camadas compostas e a individualização de uma unidade de fluxo é feita pela variação da granulometria ou pelo alinhamento de clastos intraformacionais. A camada pode apresentar-se maciça ou com gradação normal ou mesmo inversa. Sua extensão lateral é limitada a dezenas ou mesmo centenas de metros.

A razão areia/argila é muito alta e as camadas pelíticas, quando presentes, são ricas em areia.

A fácies A aparece normalmente associada com as rochas das fácies B e E.

Para camadas da fácies A, a seqüência de Bouma não é normalmente aplicada, embora, para algumas camadas de arenitos grossos, Ta ou Tae podem ser utilizados.

#### FÁCIES B

Os sedimentos da fácies B são considerados, em parte, análogos aos da fácies A, porém são granulometricamente mais finos, melhor selecionados, os estratos são menos espessos e as in-

tercalações pelíticas são melhor desenvolvidas contendo laminação paralela.

A fácies B é geralmente composta de arenitos médios a grossos, maciços e freqüentemente composta por seqüência de camadas. Algumas estruturas de fluxo e canais podem ocorrer, porém a continuidade lateral das camadas é maior que na fácies A.

Uma camada típica apresenta grânulos ou fragmentos de argila na superfície basal, com fraca laminação paralela e estruturas em pires (*dish*). Fluxos individuais são difíceis de separar, devido à uniformidade de granulação em um afloramento.

A seqüência de Bouma não é aplicada nas camadas dessa fácies.

As camadas de fácies B costumam aparecer interacamadas com camadas de fácies E e algumas vezes com A, C e D. Quando as fácies A e B ou B e C ocorrem juntas, há gradação das características dificultando a separação das unidades.

A fácies B geralmente ocorre em ambiente canalizado.

#### FÁCIES C

Compreende arenitos finos até grossos, normalmente interacamados com finas camadas de folhelho. As camadas de arenito representam os turbiditos clássicos de Bouma. Nem sempre a seqüência de Bouma apresenta-se completa. O intervalo Td normalmente está ausente ou pode ser difícil distingui-lo do Tc ou Te.

As camadas possuem espessura normalmente entre 0,5 e 2,5 metros, embora camadas mais finas contendo a seqüência de Bouma completa possam ocorrer. Possuem espessura lateral constante por grandes distâncias. Fragmentos de argila ou seixos podem estar presentes. Gradação normal é comum e marcas de solas costumam ser bem desenvolvidas.

A fácies C aparece associada geralmente nas porções superiores das seqüências de preenchimento de canal e com ambientes não canalizados. A fácies C é depositada por correntes de turbidez.

#### FÁCIES D

Consiste de finas camadas de arenitos e folhelhos interacamadas, sendo os arenitos tabulares e persistentes lateralmente por grandes distâncias. Os arenitos são gradados e normalmente apresentam a parte superior da seqüência de Bouma (Tde ou Tce). A espessura das camadas situa-se geralmente entre 0,05 e 0,25. As camadas apresentam marcas de sola bem desenvolvidas. Estratos de fácies D, espessos, são transicionais para fácies C, e as duas fácies mostram-se comumente

intercaladas. As camadas de fácies D são interpretadas como turbiditos distais, embora admita-se que tal fácies possa ocorrer em várias partes do leque.

Representam deposição por correntes de turbidez de baixa densidade. É freqüente o intervalo Te apresentar-se muito mais espesso que os inferiores Tc ou Td, numa mesma camada.

### FÁCIES E

Consiste de finas camadas de arenitos e folhelhos intercamados com uma variedade de características, incluindo estrutura *flaser*, arenitos maciços, gradados e com marcas de ondas cavalgantes. Pode ser diferenciada da fácies D pelas seguintes características:

- 1 — Os arenitos são mais grossos que os da fácies D, para camadas de mesma espessura.
- 2 — Alta razão areia/argila (em torno ou maior que 1:1).
- 3 — As camadas de areia são mais finas, porém mais numerosas.
- 4 — Normalmente contém *wavy* e camadas descontínuas.

A seqüência de Bouma nem sempre pode ser aplicada, no entanto o ciclo Tce, com pronunciada descontinuidade granulométrica, pode ser utilizado.

As camadas de fácies E ocorrem em associação com ambientes canalizados do leque. Representam processos com alta ação gravitacional e fluxo com tração, próximo aos canais.

### FÁCIES F

Compreende depósitos remobilizados exibindo deslize de massa (*slumping*) e processos de ressedimentação localizados. Exemplos típicos de fácies F estão presentes na área de ocorrência de deslizamentos (*slumps*), em seqüências de lamas conglomeráticas onde a matriz apresenta estruturas de fluxo e deformação e zonas isoladas de deslize de blocos.

### FÁCIES G

Compreende material pelágico e hemipelágico que preenche todas as áreas do leque submarino.

O acamamento, quando presente, é geralmente fino e paralelo. Encontra-se bem desenvolvida no talude e bacias intercanais. Pode estar associada com fácies D e E.

O mecanismo de deposição dessas camadas é pouco entendido e pode envolver a deposição natural pelágica, deposição de camadas nefelólicas ou depósitos de contornitos.

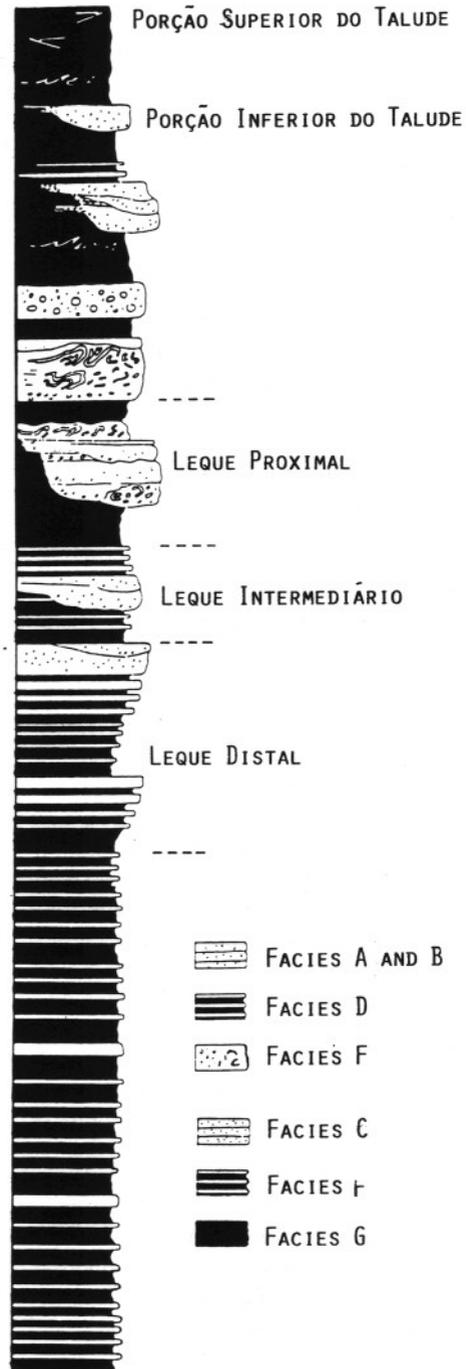


FIGURA 3 — Seção estratigráfica esquemática de um leque submarino e as principais associações de fácies (modificado de RICCHI & LUCCHI, 1972).

## 4 PADRÕES GEOMÓRFICOS E DEPÓSITOS ASSOCIADOS

Para melhor entendimento da morfologia e processos erosivos/deposicionais atuantes num leque submarino, faremos breve descrição dos padrões geomórficos.

#### 4.1 Canal

O canal é uma expressão negativa do relevo produzida por fluxo confinado de corrente de turbidez e representa o principal caminho para o transporte dos sedimentos. Marcas de escavação e preenchimento por si, ou mesmo poucas estruturas de preenchimento, não são consideradas canais, pois não representam, propriamente, um conduto para os sedimentos que se depositam no leque. Tipicamente, tanto nos leques antigos como nos modernos, os depósitos presentes nos canais estão representados pelos sedimentos mais grossos que suprem o sistema.

Os depósitos de preenchimento de canais podem exibir grande variedade de fácies típicas, estruturas internas e geometrias; no entanto, esses depósitos consistirão de seqüências de camadas e/ou eventos erosivos que representarão, ao longo do tempo, o caráter original da deposição nos canais. Nos depósitos antigos, normalmente ocorre a justaposição, vertical e lateral, de inúmeras seqüências individuais de preenchimento de canal. Tais complexos raramente excedem a espessura de 100 metros e largura de 2 km.

MUTTI & NORMARK (1987) distinguiram 3 tipos de seqüências de preenchimento de canal: (1) erosivo, (2) deposicional e (3) misto.

(1) Seqüência Erosiva — é caracterizada por fácies com depósitos grossos, estruturas erosivas e contatos basais planos sobre uma superfície erosiva.

É tipicamente composta por unidades conglomeráticas (*clast-supported*) e lenticulares que se encontram, localmente, associadas com fluxos de detritos e, mais raramente, com arenitos com estratificações cruzadas e horizontais alternadas e conglomerados.

(2) Seqüência Depositional — consiste em espessa seqüência de arenitos/arenitos conglomeráticos (com seixos), amalgamados, gradados e com inúmeras estruturas erosivas, distribuídos em área desde 100 m a 1 km e, comumente, com espessuras entre 5-50 metros.

(3) Misto — esses depósitos são caracteristicamente compostos de fácies que registram um estágio erosivo, expresso por depósitos residuais conglomeráticos, seguidos por um período de deposição de areias. Essa seqüência pode ser única, ou repetir-se por diversas vezes.

Os três tipos de seqüências, descritos anteriormente, passam, para cima, para dois tipos de depósito. Num caso, ocorre transição abrupta para fácies argilosa, provavelmente resultante da desativação do canal. No segundo caso, que é mais comum, a seqüência de preenchimento do canal é recoberta por depósitos rítmicos de granulometria fina e camadas pouco espessas, associa-

das com pequenos canais desenvolvidos dentro do talvegue do canal principal. Camadas de arenitos dentro desses pequenos canais são comuns. Localmente esses canais exibem características de acreção lateral, indicando caráter meandrante.

#### 4.2 Zona de transição canal-lobo

Compreende a região, em qualquer sistema turbidítico, entre os depósitos de canais e lobos bem definidos, isto é, os sedimentos exibem características transicionais tanto de canais como de lobos.

Segundo MUTTI & NORMARK (1987), as principais características dessa região estão relacionadas às mudanças que ocorrem quando a corrente de turbidez passa por um *hydraulic jumping* ou outras mudanças rápidas nas condições de fluxo.

KOMAR (1973); MENARD (1964); MIDDLETON (1970); KAVENE e BEGHIN (1983) *apud* MUTTI & NORMARK (1987) sugerem que o *hydraulic jumping* é acompanhado por: (1) dissipação de energia através do aumento interno da turbulência; (2) diluição do fluxo e (3) aumento dos processos erosivos, resultante da turbulência.

MUTTI & NORMARK (1987) apresentam dois tipos de depósitos com características próprias, que podem ocorrer na zona de transição canal-lobo (Figura 3).

(1) Para correntes de turbidez compostas predominantemente por areias e sedimentos rudáceos;

(2) Para correntes de turbidez que transportam areia junto com substancial quantidade de lama.

Quando correntes arenosas experimentam um processo de *hydraulic jumping*, a rápida diluição dos sedimentos resultante do aumento da turbulência reduz a competência do fluxo e leva à rápida deposição do material mais grosso. A falta de lama no fluxo resulta em insuficiência da força motora para dar continuidade ao fluxo, declive abaixo; portanto, a maioria do sedimento é depositada na “boca” do canal. Este regime de fluxo é considerado de muito baixa eficiência (*poorly efficient*, MUTTI, 1979).

No caso decorrente de turbidez com substancial quantidade de lama, ao passar por *hydraulic jumping* ocorre dispersão dos sedimentos finos pela turbulência (não deposição) e o fluxo se mantém em ação, carregando a maioria dos sedimentos que serão depositados nos lobos, e são essencialmente separados dos canais. Este processo foi denominado de altamente eficiente (*highly efficient*; MUTTI, 1979).

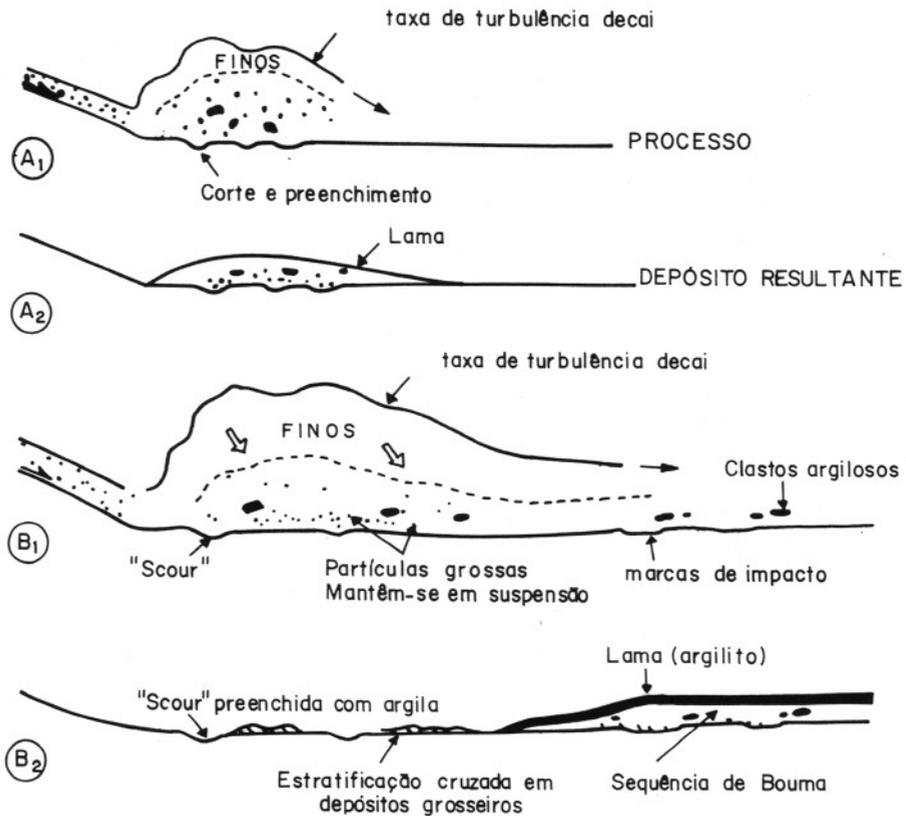


FIGURA 4 — Processos e depósitos resultantes relacionados com “Hydraulic Jumping” em correntes de turbidez. A-Fluxo arenoso com volume relativamente pequeno e com pequena proporção de finos. B-Fluxo arenoso com volume relativamente grande e grande proporção de finos. Modificado de MUTTI & NORMARK (1987).

### 4.3 Lobos

O termo lobo, geralmente, não possui a mesma conotação entre os diversos pesquisadores, principalmente entre aqueles que estudam os leques submarinos modernos (atuais) e os que estudam os depósitos antigos.

A definição dos lobos para os modernos leques baseia-se, principalmente, em critérios morfológicos, sendo definidos como extensas áreas com suave convexidade, comumente com canais e onde se processa a deposição de areias (NORMARK *et al.*, 1979).

Nos depósitos antigos, os lobos são considerados como um elemento deposicional composto por corpos arenosos não canalizados que ocorrem corrente abaixo dos depósitos de canais (MUTTI & NORMARK, 1987).

As principais características dos depósitos de lobos antigos incluem:

(1) Lobos são limitados entre si por superfícies paralelas e consistem, primariamente, de camadas de areias espessas e de granulometria relativamente grossa.

(2) Os lobos arenosos ocorrem individualmente dentro de seqüências de lama ou, mais comumente, em sucessões verticais de diversas cen-

tenas de metros de corpos arenosos, alternados com variáveis espessuras de lama intercamadas com pequenas camadas de areia fina.

(3) Podem exibir terminações abruptas com fácies de *slope* ou gradar progressivamente para porções distais (franjas de lobos).

(4) Em qualquer sistema turbidítico, os sedimentos dos lobos apresentam as melhores gradações e desenvolvem as melhores seqüências verticais de estruturas sedimentares internas (seqüência de Bouma; BOUMA, 1962). A figura 4 ilustra esquema das mudanças que ocorrem, corrente abaixo, nas espessuras de camadas arenosas e estruturas internas, em uma típica fácies de lobos. A seqüência clássica de Bouma é encontrada nos lobos onde há sedimentos finos suficientes (fácies C de MUTTI & RICCHI LUCCHI, 1972, 1975). Menor proporção de finos implica camadas arenosas gradadas, sem estratificação interna das divisões de Bouma e estruturas de escape de água (fácies B de MUTTI & RICCHI LUCCHI, 1972, 1975).

(5) Os lobos comumente apresentam seqüências *thickening-upward*, de pequena escala, contendo pequeno número de camadas arenosas (em geral menos que 10). Estas seqüências foram denominadas de ciclos de compensação por MUT-

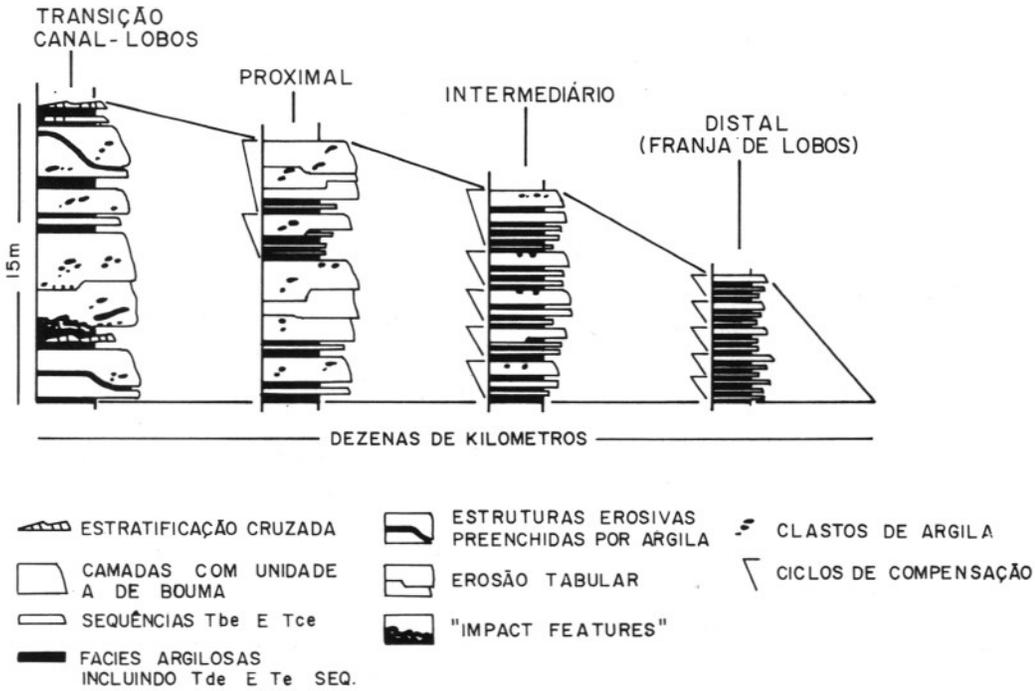


FIGURA 5 — Principais mudanças de fácies, corrente abaixo, em lobos arenosos. Esquema baseado em observações no complexo turbidítico do Grupo Hecho, Pirineus (MUTTI & NORMARK, 1987).

TI & SONNINO (1981, *apud* MUTTI & NORMARK, 1987) e são interpretadas como resultantes do progressivo crescimento dos lobos.

(6) Estruturas de fluxo (*scours*) são comuns em depósitos de lobos, porém não são profundas e nem abundantes como as observadas na região de transição canal-lobo.

#### 4.3.1 Porções proximais de lobos

São representadas, principalmente, pelas fácies arenoconglomeráticas e arenopelíticas e, subordinadamente, por pelítico-arenosas, isto é, fácies B e C predominantemente e D, segundo a classificação de MUTTI & RICCHI LUCCHI (1972, 1975).

As camadas são relativamente espessas (fácies B e C) e granulometricamente grossas. Ocorrem em sucessões verticais de arenitos e conglomerados por centenas de metros, com eventuais intercalações de pelitos intercamados com camadas de arenitos finos a médios (fácies D).

Normalmente, as camadas apresentam-se com granodrecrescência ascendente ou maciças (fácies B) ou apresentam divisões internas da seqüência de Bouma (fácies C) bem desenvolvidas.

São nítidos os ciclos de compensação (MUTTI & SONNINO, 1981, *apud* MUTTI & NORMARK, 1987), representados por seqüências métricas *thickening upward*, iniciadas com

camadas menos espessas com divisões de Bouma Tde, Tce, e finalizando com camadas com conglomerados na base e arenitos médios a finos no topo, com ondulações e *climbing ripples*, representando seqüências de Bouma Tabc, Tac.

Estruturas de fluxo (*scours*) são abundantes.

As camadas geralmente apresentam contatos planos e se distribuem lateralmente por grandes distâncias.

#### 4.3.2 Porções distais de lobos

São representados principalmente por fácies C (arenopelíticas) e D (pelítico-arenosas). A razão areia/lama é menor em relação à porção proximal.

As camadas são geralmente pouco espessas (0,10 — 0,30m) e as mais espessas alcançam 1 metro em média (fácies C), porém são mais raras. Essas são constituídas de arenitos médios a finos e geralmente possuem as divisões internas superiores da seqüência de Bouma (Tce, Tcde ou mesmo Tace). As camadas menos espessas (0,10 — 0,30m) constituem fácies D e apresentam, normalmente, o Te bastante espesso, condizente com fluxos de baixa densidade ou mesmo devido à maior contribuição da deposição hemipelágica (Teh).

As camadas possuem contatos planos e regulares por longas distâncias.

#### 4.4 Depósitos de transbordamento (*overbank*)

Os depósitos de *overbank* são geralmente definidos como depósitos granulometricamente finos, laminados e/ou gradados, dispostos em estratos centimétricos a milimétricos, resultantes do escape lateral de uma corrente de turbidez confinada. Esses depósitos podem ocorrer em diversas partes de um sistema deposicional turbidítico. Há tendência em se utilizar o termo dique marginal (*levee*) para os depósitos situados ao longo das margens de canais ativos, no entanto muitos canais nos leques modernos não apresentam diques, e depósitos de *overbank* são normalmente encontrados em áreas não canalizadas e distantes de canais.

Nos depósitos antigos, os diques marginais (*levee*) são dificilmente reconhecidos, sendo, portanto, o termo geral depósitos de *overbank* mais adequado.

MUTTI & NORMARK (1987) subdividem esses depósitos em dois grupos: (1) Depósitos relacionados a canais e (2) Depósitos não associados a canais (*overbank Hedge*). O primeiro grupo ocorre ao longo de canais (diques marginais, crevasses) e em áreas intercanais. Os autores relatam que no sistema turbidítico do Grupo Heccho, nordeste da Espanha, esses depósitos não são volumetricamente importantes em nenhum estágio do sistema, porém tendem a se formar durante o estágio no qual as areias são depositadas dentro dos canais e/ou em áreas imediatamente abaixo da "boca" dos canais.

Quando ocorre redução do volume dos fluxos, depósitos de *overbank* podem ser encontrados em associação com camadas espessas e grossas dentro do canal. Com a desativação do sistema e a progressiva diminuição dos fluxos turbidíticos, depósitos de *overbank* e fácies de preenchimento de canal encontram-se associados, ambos restritos ao canal.

Depósitos associados a cunhas (*overbank Hedges*) são corpos de sedimentação fina que formam um estágio deposicional distinto dentro do sistema turbidítico do Grupo Heccho. Estes corpos, em forma de cunha, possuem centenas de metros de espessura próximos à margem da bacia e se estendem por dezenas de quilômetros bacia adentro, em unidades de finas camadas de lama. As relações estratigráficas indicam que essas cunhas de sedimentos turbidíticos finos estão associadas com deposição flúvio-deltaica na plataforma adjacente (MUTTI *et al.*, 1985; MUTTI & NORMARK, 1987).

Os depósitos relacionados à cunha de transbordamento (*overbank Hedges*) são principalmente compostos de finas camadas gradadas de lamitos (*mudstone*) alternadas com finas camadas, descontínuas, de silte e areia siltosa, laminadas.

A deposição desses sedimentos envolve, além dos processos relacionados a fluxos confinados em canais, processos associados à margem plataformal e talude, incluindo diluição, correntes turbidíticas não confinadas e *sluping* superficial, todos relacionados a sedimentos instáveis de margens deltaicas adjacentes (COLEMAN *et al.*, 1983).

### 5 ESTÁGIOS DE CRESCIMENTO/SISTEMAS DEPOSICIONAIS

Os sistemas deposicionais turbidíticos são definidos por unidades de rochas geneticamente inter-relacionadas. Abrange desde pequenos corpos de conglomerados ou depósitos pobremente organizados, registrando provavelmente pequenos períodos no tempo geológico, até imensos pacotes sedimentares, onde normalmente acumulam-se sedimentos ao longo de milhares de anos (MUTTI, 1985).

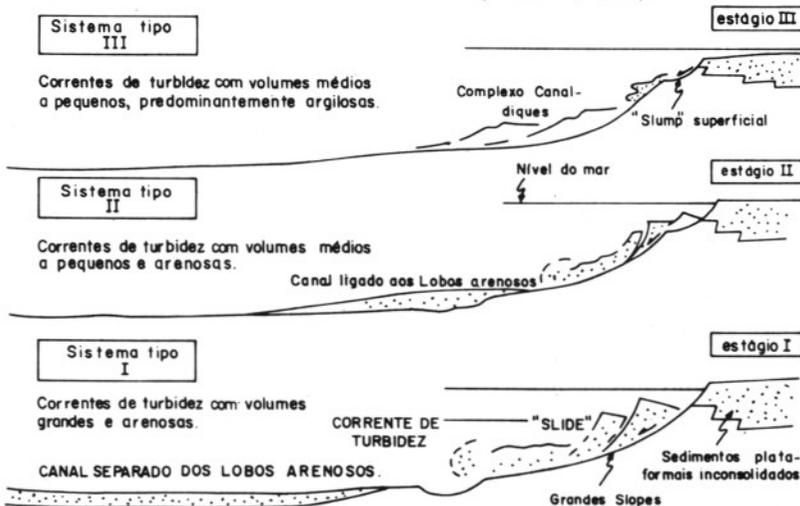


FIGURA 6 — Relações entre o grau de instabilidade do talude e o volume das correntes de turbidez. Modificado de MUTTI (1985).

Esses sistemas possuem tal variedade de fácies e associações de fácies que dificilmente podem ser estruturados dentro dos modelos gerais de deposição de sedimentos turbidíticos (NORMARK, 1970; MUTTI & RICCHI LUCCHI, 1972; WALKER, 1978).

MUTTI (1985) apresenta três diferentes tipos de sistemas deposicionais para a deposição de leques submarinos (Figura 5). Considera que o tipo de sistema é controlado pelo volume de correntes turbidíticas e pela quantidade de lama presente no sistema. Esses sistemas deposicionais se diferenciam, consideravelmente, em termos de tamanho, geometria, tipo de fácies, associação de fácies, e distribuição e geometria dos corpos arenosos.

Nos leques turbidíticos antigos, os sistemas são diferenciáveis, principalmente com base no local onde as areias estão depositadas dentro do sistema. Dessa forma, três diferentes tipos de sistema podem ser reconhecidos.

### 5.1 Depósitos do tipo I

Definido como um sistema deposicional, onde a maioria das areias ocorre em áreas não canalizadas, ou lobos, nas regiões mais distantes do sistema. Esse sistema corresponde ao modelo de leques de alta eficiência (*highly efficient fans*) de MUTTI (1979, 1985). Os corpos arenosos são caracterizados por forte continuidade lateral e geometria tabular, por dezenas de quilômetros, na direção da corrente. Cada lobo, geralmente com espessuras entre 3 e 15 metros, passa, progressivamente, para depósitos granulometricamente mais finos, denominados de franja de lobos por MUTTI & RICCHI LUCCHI (1975). Em alguns sistemas a espessura geral dos lobos arenosos e os depósitos de franja associados podem alcançar diversas centenas de metros.

Antecede aos depósitos arenosos, erosões submarinas de grande escala, que cortam os sedimentos, inclusive plataformais.

O esquema deposicional desse sistema sugere que os arenitos passam pelas regiões de canais e vão se depositar nas áreas mais distantes da bacia, adquirindo nessa passagem forte poder erosivo. Propriamente não ocorrem depósitos de canais associados a essa deposição e, sim, feições erosivas que são preenchidas posteriormente em outro ciclo de sedimentação.

### 5.2 Depósitos do tipo II

Incluem todos os depósitos onde as fácies arenosas estão depositadas, predominantemente nas partes baixas alcançadas pelos canais e nas regiões de "bocas" de canais. Esse sistema forma extensivos corpos canalizados que gradam para lobos arenosos.

Se o suprimento de sedimento for de grã grossa, esse sistema tende a ter predominantemente areias canalizadas. O decréscimo da granulometria favorece o desenvolvimento de lobos. No entanto, os lobos do tipo II não são tão bem desenvolvidos como os dos depósitos do tipo I.

O sistema do tipo II corresponde ao modelo de leques pouco eficientes (*poorly efficient fans*) de MUTTI (1979, 1985).

### 5.3 Depósitos do tipo III

Basicamente são depósitos compostos de camadas pouco espessas (centimétricas) e granulometricamente finas. O sistema possui pequenos canais preenchidos por areia média a fina, restritos, e gradam rapidamente para seqüências predominantemente lamíticas. As fácies arenosas canalizadas estão restritas à porção proximal do sistema. São constituídos, predominantemente, por depósitos de *overbank*.

Esses sistemas são semelhantes aos atuais leques submarinos, melhor estudados e associados a deltas (DAMMUTH *et al.*, 1983).

A figura 5 mostra as relações entre o grau de instabilidade do talude e o volume das correntes turbidíticas. A inferência é baseada no volume de sedimentos envolvido em camadas individuais ou grupo de camadas dentro de cada sistema, assim como o volume total de cada sistema.

No sistema do tipo I, as camadas ou grupo de camadas que ocorrem nas seqüências de lobos, comumente alcançam volumes da ordem de 1 a 10 km<sup>3</sup>. No tipo III, as camadas de arenitos são pouco espessas e descontínuas, e a abundância de camadas finas de lamitos siltosos sugere fluxos de pequeno volume e com altas proporções de lama. A geometria dos corpos e camadas arenosas do tipo II indica fluxo de volume intermediário, geralmente com altas taxas de areia.

Os três estágios da figura 5 podem se desenvolver como fatores de crescimento independentes e resultar em diferentes tipos de sistemas turbidíticos; portanto, cada sistema resulta de um estágio de crescimento específico e predominante e pode ser classificado de acordo com o modelo da figura 4. Esses fatores podem também representar diferentes fases de crescimento, as quais são controladas pelas variações do nível do mar, durante o desenvolvimento do sistema, e essa situação parece ser a mais comum, onde sistemas compostos mostram a ordenação vertical das seqüências e/ou associações de fácies representando diferentes fases de crescimento dentro do mesmo sistema. Dependendo da escala, essas associações de fácies podem ser chamadas de estágios ou subestágios de crescimento dentro do sistema.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUMA, A. H. 1962. Turbidites — Sedimentology of some flysch deposits. Amsterdam. Elsevier 168p.
- DAMMUTH, J.E.; KOWSMANN, R.O.; FLOOD, R.O.; BELDERSON, R. H.; GORINI, M.A. 1983 — Age relationships of distributary channels on Amazon deep-sea fan: Implication for fan growth pattern Geology, v. 11, p.470-473.
- KUENEN, P.H. & MIGLIORINI, C. 1950. Turbidity current as a cause of graded bedding. Journal of Geology. Chicago, III. 58(2):91-127.
- MUTTI, E. 1979. Turbidites et cones sous-marins profonds. IN: Homewood. P. (ed.) Sedimentation detritique (fluviale, littorale et marine). Institut de Geologie de L'Université de Fribourg. Short course. 1979, p. 353-419.
- . 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. IN: G. G. Zuffa (ed.). Provenance of Arenites. Nato-ASI Series. Reidel Publishing Company, p. 65-93.
- & RICCHI LUCCHI, F. 1972. Le turbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies. Memorie della Società Geologica Italiana, 11:161-199.
- . 1975. Examples of Turbidite Facies and Facies association from selected formation of the northern Appenines. IN: INTERNATIONAL CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY. 9th, Nice, France. 1975. Guide Book to Field Trip All. Nice, France, 120 p.
- MUTTI, E.; RENACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R.; ZAMORANO, M. 1985. Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Heccho Group turbidite systems, south-central Pyrenees. IN: European Regional Meeting of International Ass. of Sedimentology. 6 th. Llerida. 1985. Excursion Guide Book. Llerida, p. 521-576.
- MUTTI, E. & NORMARK, W.R. 1987. Comparing Examples of Modern and Ancient Turbidite Systems: Problems and concepts. Marine Clastic sedimentology, p. 1-38.
- NORMARK, W.R. 1970. Growth pattern of deep-sea fans. Am. Ass. Petr. Geol. Bull. Tulsa, Okla., 54:2170-2195.
- . 1978. Fan valleys, channels and depositional lobes on modern submarine fans: characters for recognition of sandy turbidite environments: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 62. p. 912-931.
- PIPER, D.J.W.; HESS, G. R. 1979. Distributary channels, sand lobes and mesotopography of Navy submarine fan. California Borderlands, with applications to ancient fan sediments sedimentology, v. 26. p. 749-774.
- WALKER, R.G. 1978. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps. Am. Ass. Petr. Geol. Bull. 62(6):932-966.
- . 1984 Turbidites and Associated coarse clastic deposits. IN: WALKER, R.G. Facies Models (1984), Ontário. Geological Association of Canada, 188 p. (Geoci. Canada Reprint Series 1).

*Endereço do autor:*

Fernando Alves Pires — Instituto Geológico — SMA — Caixa Postal 8772 — 04301-903 — São Paulo, SP — Brasil.