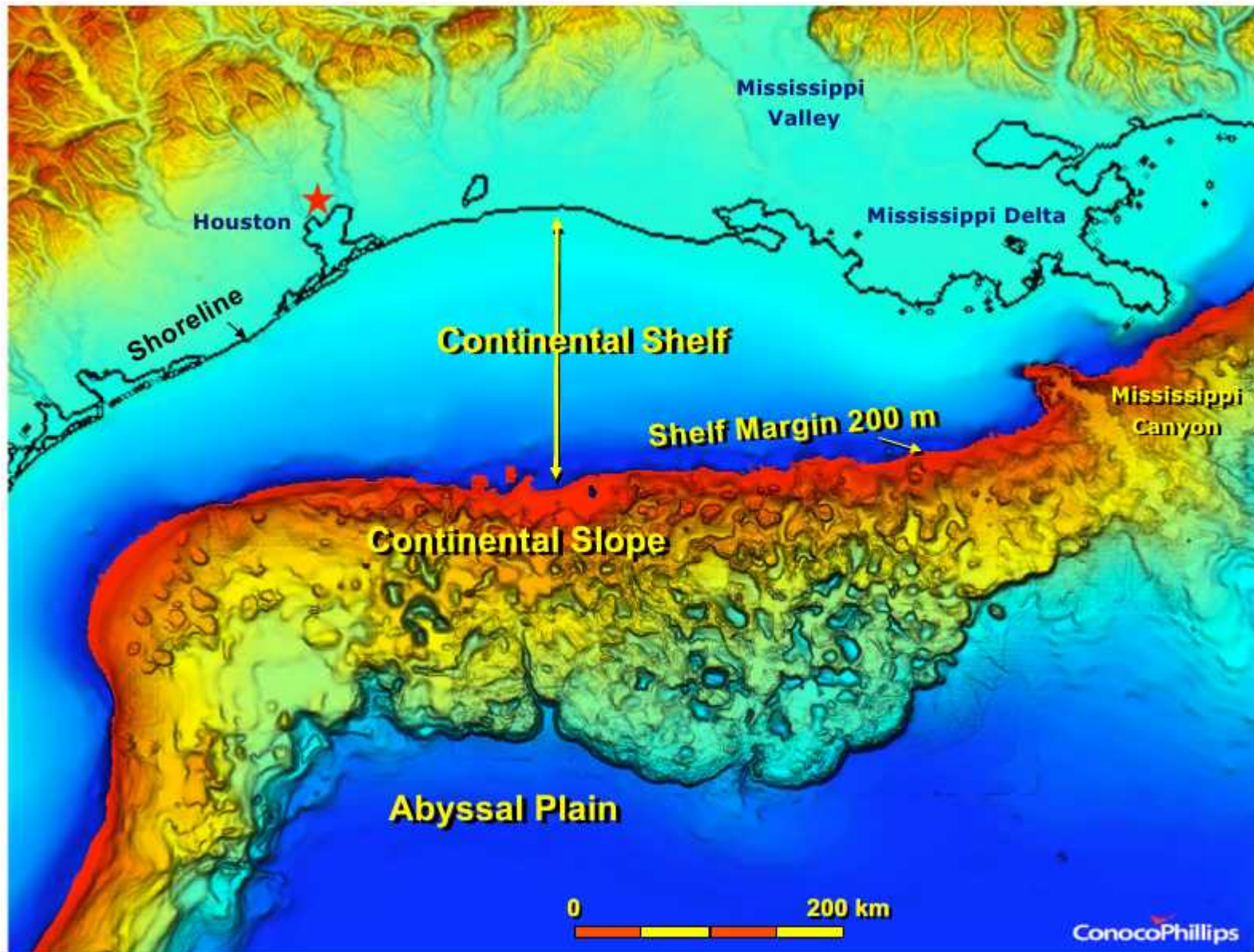


Processos sedimentares e distribuição dos sedimentos na Plataforma continental I: Plataformas Clásticas



Golfo do México – exemplo de plataforma clástica

Suter, 2006

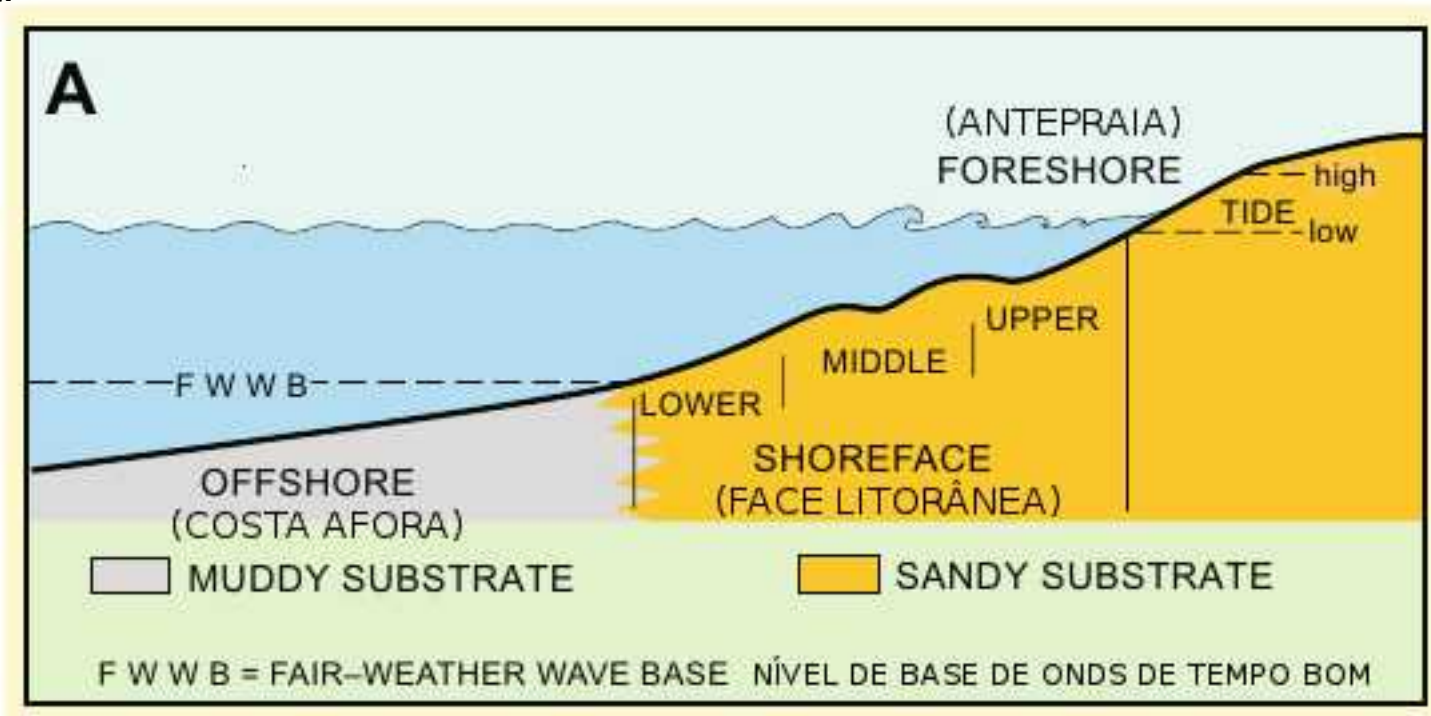
Processos sedimentares e distribuição dos sedimentos na Plataforma continental I: Plataformas Clásticas

- Introdução
- Classificação de Margens Continentais
 - Contexto e tectônica
 - Processos sedimentares dominantes
- Processos sedimentares em Plataformas Continentais
 - Plumas de sedimento proveniente de rios
 - Retrabalamento por ondas de tempestades
 - Retrabalamento por marés
 - Bioturbação
- Influência de Variações do Nível Eustático
- Distribuição dos sedimentos

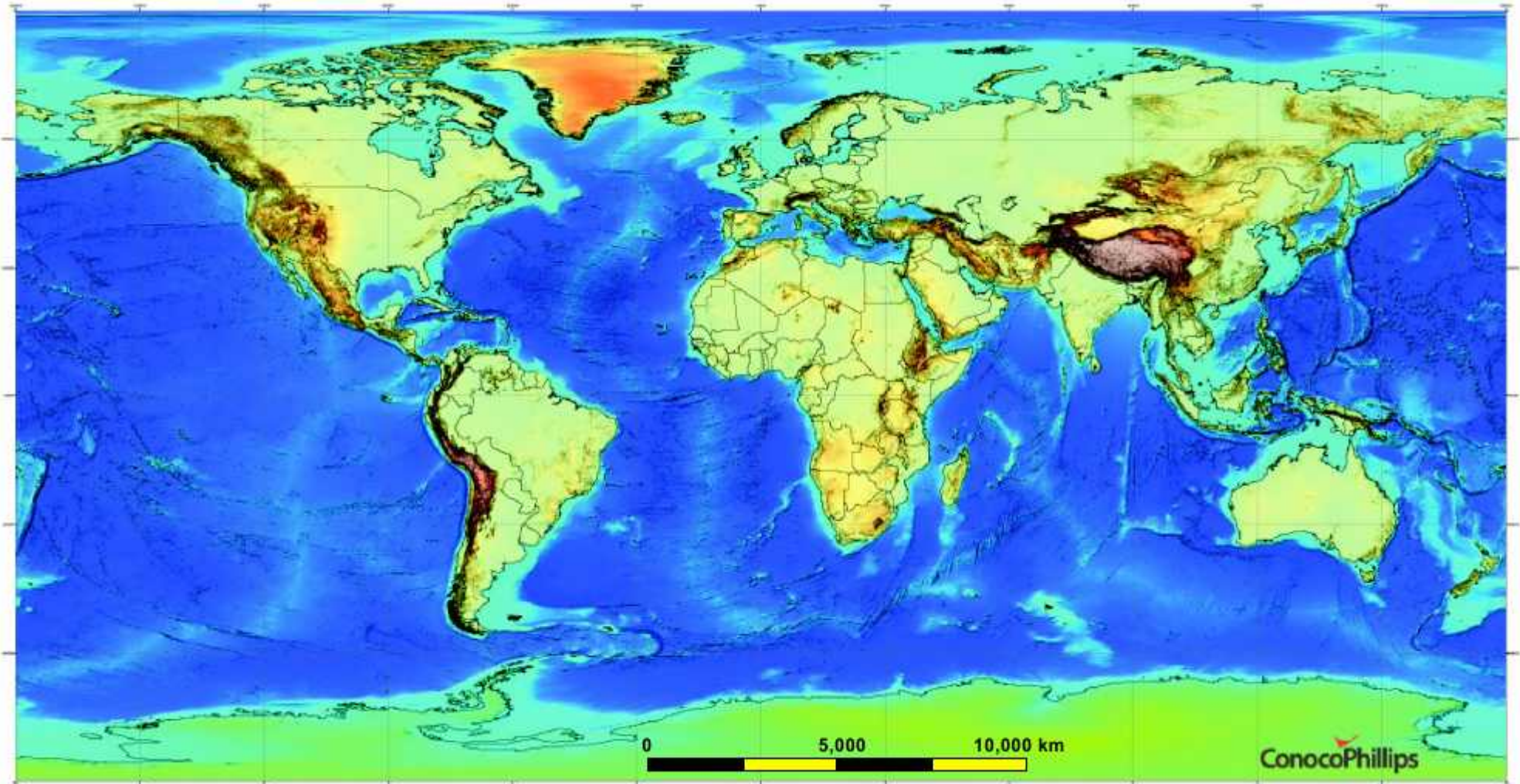
Plataformas clásticas em margens continentais são área de baixa declividade localizadas entre o nível de base de ondas de tempo bom, que pode variar entre 2 e 25 m de profundidade, e a quebra entre a plataforma e o talude, que varia em função do tipo de bacia e contexto tectônico, com valores próximos a 200 m de profundidade.

A declividade das plataformas continentais é também variável, com valores típicos da ordem de décimos de grau. Assim, a largura das plataformas continentais atuais varia entre 2 e 1500 km.

Aproximadamente 30.000.000 km² podem ser considerados como plataformas continentais atuais, perfazendo cerca de 6% da superfície da Terra.



Distribuição atual das plataformas continentais (azul claro)



Suter, 2006

Considerando-se sua posição em relação à porção emersa do continente, plataformas continentais podem ser classificadas em:

- **Pericontinentais**, quando desenvolvem-se na transição entre crosta continental e oceânica.

- **Epicontinentais**, quando desenvolvem-se em mares restritos, cercados por massas continentais.

O registo geológico revela que **Plataformas Epicontinentais** forma muito mais frequentes durante o Paleozoico que nos dias atuais.

Por outro lado, o atual estado de nível eustático elevado em relação ao Último Máximo Glacial resulta em grande área total de **Plataformas Pericontinentais**

Exemplo de Plataforma Pericontinental: trecho da Margem Norte Brasileira
(fonte: Google Earth)

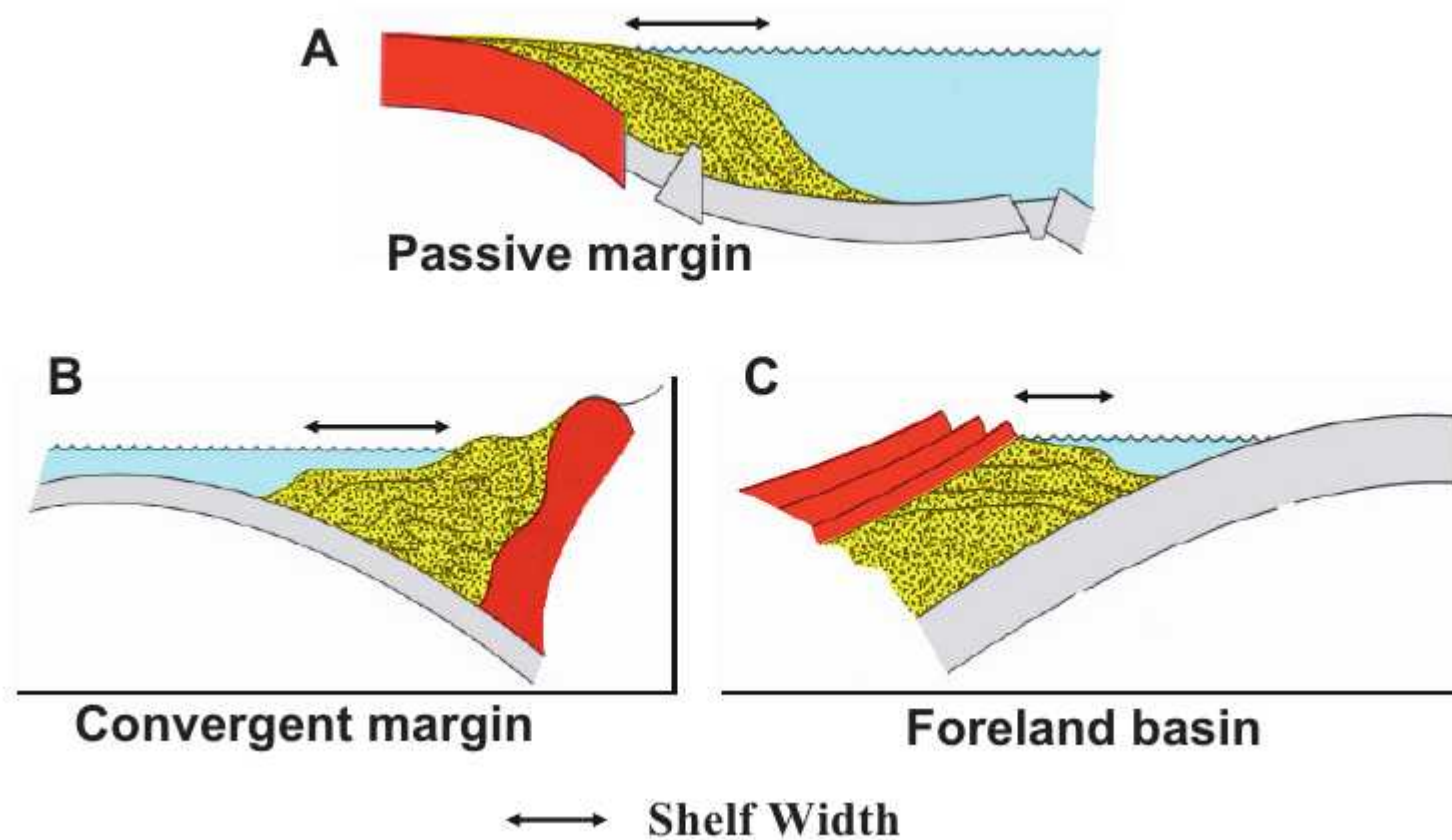


100 km

Exemplo de Plataforma Epicontinental: Mar de Arafura, entre Austrália e Papua Nova Guiné
(fonte: Google Earth)

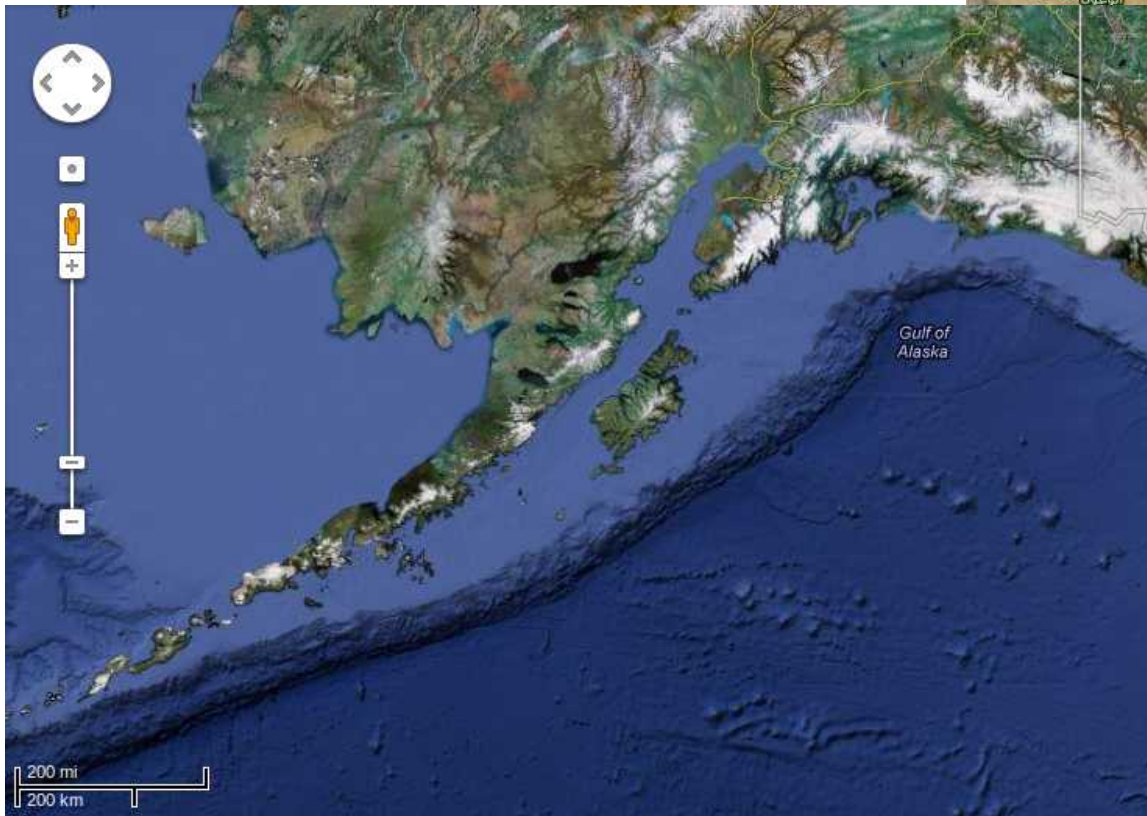


Considerando-se o contexto tectônico, Plataformas continentais ocorrem Em Margens Passivas, Margens Convergentes (em Bacias de Antearco) e em Bacias de Antepaís.



Suter, 2006

Golfo Pérsico, exemplo de Plataforma Continental em Bacia de Antepaís



Golfo do Alasca, exemplo de Plataforma Continental em Bacia de Antearco – Margem Convergente

Processos de transporte sedimentar nas Plataformas continentais

Sedimentos terrígenos que chegam à plataforma continental são provenientes principalmente da desembocadura de rios.

O sedimento trazido até a costa pode seguir um dentre três destinos:

1- Depositar-se na região próxima à costa.

2- Ser transportados em direção à plataforma ou ao longo da direção da costa em plumas flutuantes de menor densidade que a água do mar (hipopicnais)

3- Ser transportados para a plataforma em plumas mais densas que a água do mar (hiperpícnais)

Plumas hipopícnais boiantes

A salinidade da água oceânica a torna mais densa que as águas de rios, mesmo no caso de altas concentrações de sedimento em suspensão.

Dessa forma, grandes rios geram plumas de sedimentos em suspensão que são transportadas por correntes superficiais ao longo da costa e em direção à plataforma.

Essas plumas mantêm sedimentos finos em suspensão, nas frações argila e silte, pelo efeito da turbulência existente nas correntes hipopícnais, com contribuição de turbulência induzida por ondas e marés.

A pluma do Rio Amazonas propaga-se a uma distância de mais de 100 km através da plataforma, e posteriormente várias centenas de km ao longo da margem, chegando ao delta do Orinoco.

Plumas hipopícnais boiantes

Sedimentos de plumas hipopícnais depositam-se com a perda de capacidade de transporte progressiva pela redução da turbulência.

Os depósitos resultantes são finos, resultantes da floculação (formação de microagregados de argilominerais em ambiente salino) e decantação com relativa homogeneidade em grandes áreas.



Pluma hipopícnal do Rio Amazonas

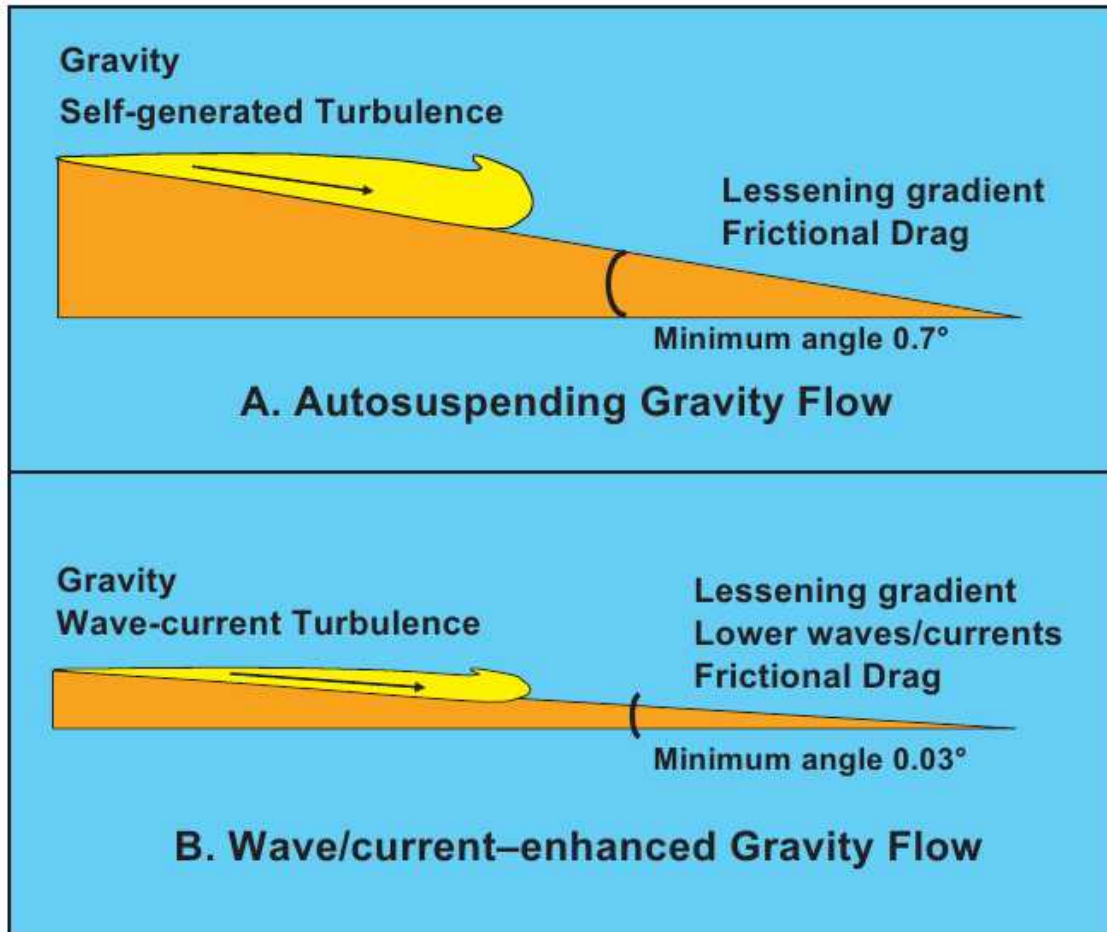
Plumas hiperpicnais (mais densas que a água do mar)

Plumas hiperpicnais são resultantes de aporte com grande concentração de sedimento.

O aporte direto de eventos relativamente raros de enchentes com grande concentração de sedimento em suspensão e declividade de fundo maior que 0,70 podem resultar em correntes hiperpicnais.

A gravidade agindo sobre a pluma de densidade maior e a turbulência interna à pluma fazem com que o transporte seja mantido até que o atrito de fundo exceda essas forças. A corrente hiperpicnal é uma corrente de turbidez.

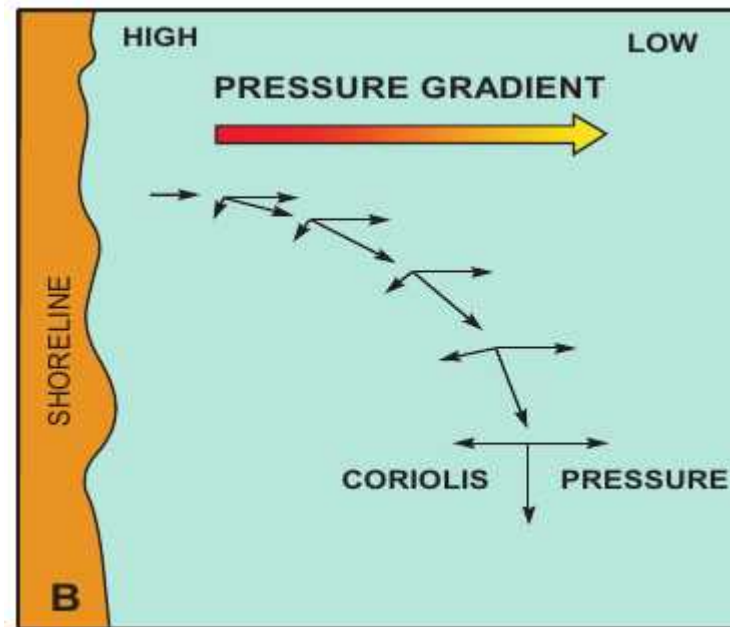
A turbulência adicional promovida por ondas e marés pode facilitar a formação de correntes hiperpicnais na plataforma, permitindo sua formação em declividades mais baixas (até 0,030).



Suter, 2006

Plumas hiperpicnais e correntes geostróficas

O efeito da rotação da Terra (efeito Coriolis) causa a mudança de direção das correntes hiperpicnais, com giro para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Correntes hiperpicnais duradoras podem dar origem a um equilíbrio entre a força e Coriolis e força gravitacional na direção de maior declividade, gerando correntes em equilíbrio denominadas geostróficas, paralelas à direção da costa .



Plumas hiperpicnais - depósitos

Apesar de o processo de geração de uma corrente de fundo densa ser semelhante no talude continental e na plataforma, os depósitos resultantes podem ser muito diferentes. Isso ocorre principalmente pelo grande potencial de retrabalhamento desses turbiditos por tempestades e correntes de maré em plataformas clásticas.

As baixas declividades das plataformas, como visto acima, tornam correntes não relacionadas a turbulência adicional por ondas ou marés muito mais raras.

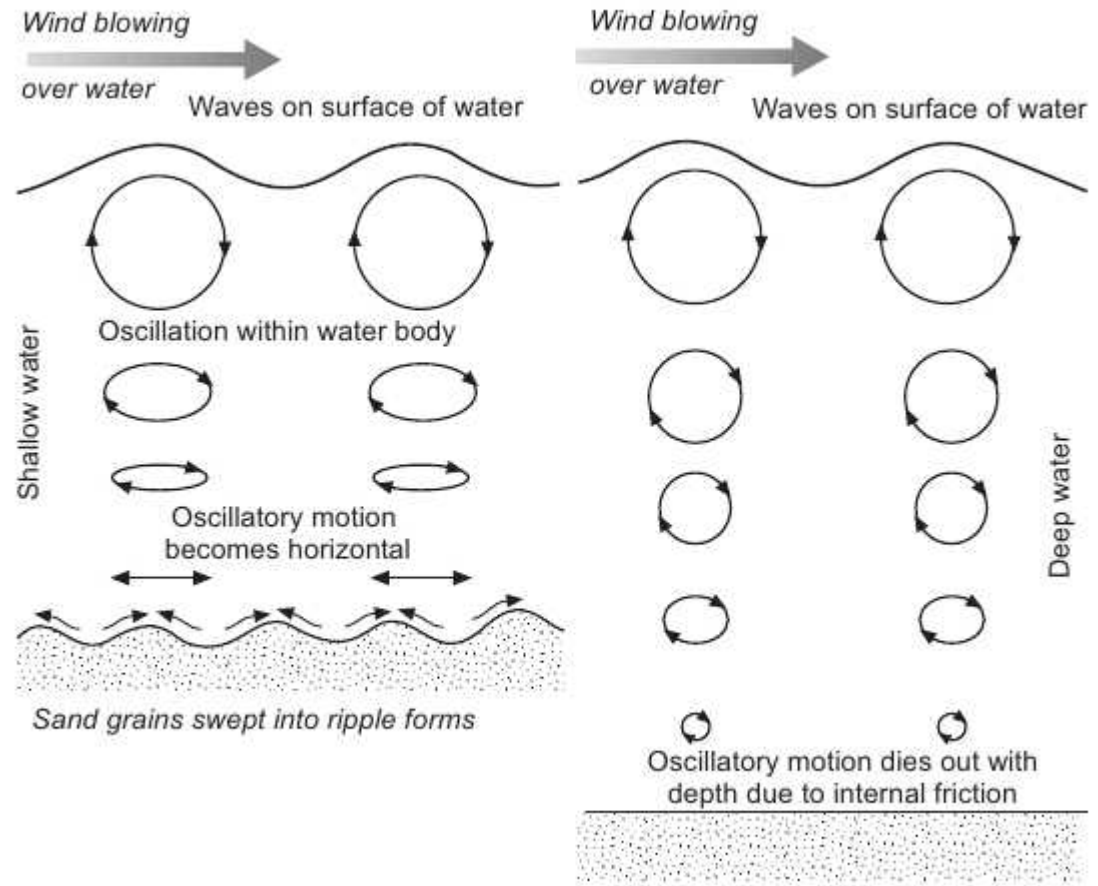
O mais importante resultado de correntes hiperpicnais na plataforma é a possibilidade de aporte de frações mais grossas que aquelas trazidas por plumas hipopicnais, incluindo volumes expressivos de areias retrabalhadas de ambientes costeiros.

As formas de leito hidrodinâmicas e as estruturas sedimentares resultantes, entretanto, podem refletir apenas os processos responsáveis por remobilização posterior dentro da plataforma.

Retrabalhamento por ondas de tempestade

A própria definição dos depósitos de plataforma continental como aqueles que ocorrem abaixo do nível de ondas de tempo bom faz com que apenas eventos meteorológicos que geram ondas com amplitude anômala possam interferir com o leito deposicional de plataformas continentais.

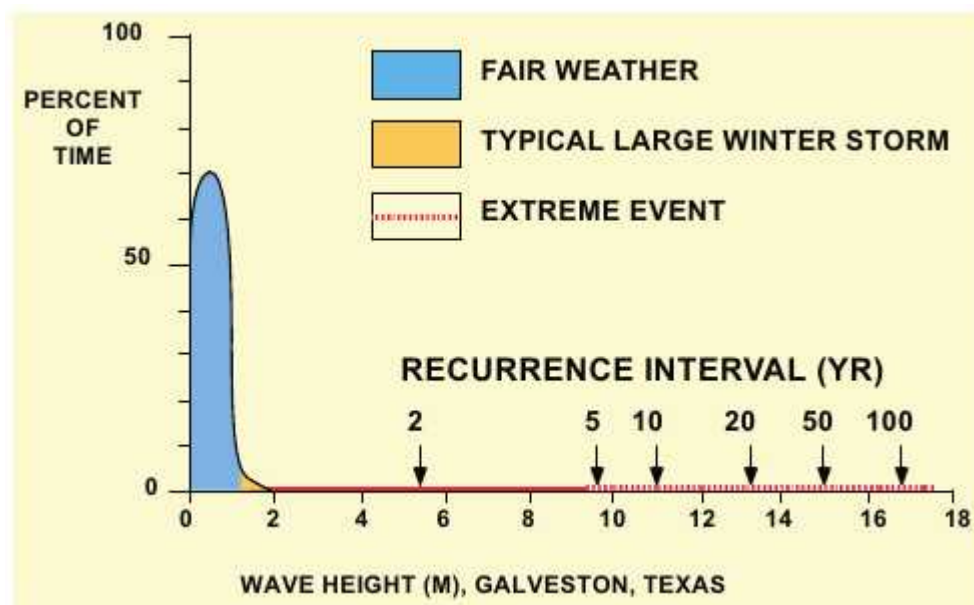
Ondas de superfície promovem deslocamento orbital em partículas na água, e o raio dessas órbitas diminui com a profundidade. Quando há interação com o fundo, as órbitas são deformadas para oscilações horizontais.



Tempestades como eventos anômalos

A dimensão de um orbital a dada profundidade é função de sua amplitude na superfície. Assim, eventos com amplitude de ondas de superfície maior que aquela de tempo bom irão afetar o fundo marinho a profundidades maiores.

Eventos com amplitudes de onda progressivamente maiores são proporcionalmente mais raros. Na região costeira, a ação constante de ondas de tempo bom pode mascarar os efeitos de tempestades. Na plataforma, eventos externos tendem a deixar registro, sendo recobertos por material fino da sedimentação de tempo bom.



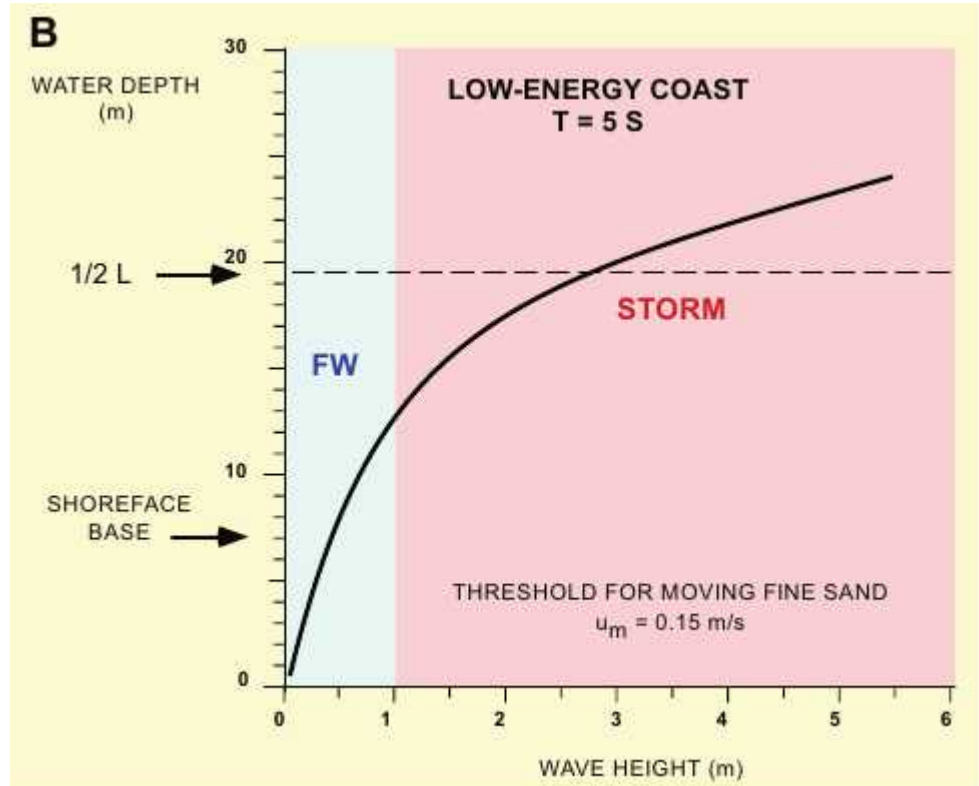
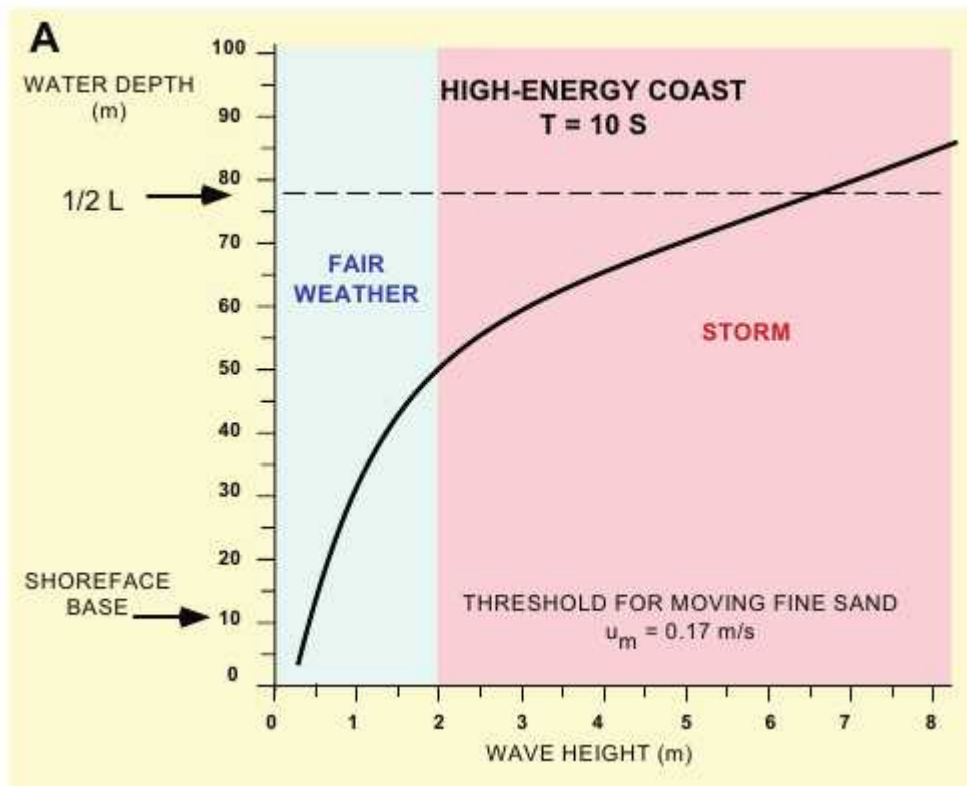
Frequência de eventos com amplitude de ondas progressivamente maiores na costa do Golfo do México.

Clifton, 2006

Capacidade de remobilização de sedimento

A redução progressiva da amplitude dos orbitais em profundidade implica em redução da velocidade máxima de deslocamento de uma partícula durante cada oscilação. Assim, profundidades maiores implicam em menor capacidade de remobilização. Dependendo da amplitude na superfície e na energia da costa (ondas com períodos maiores têm mais energia).

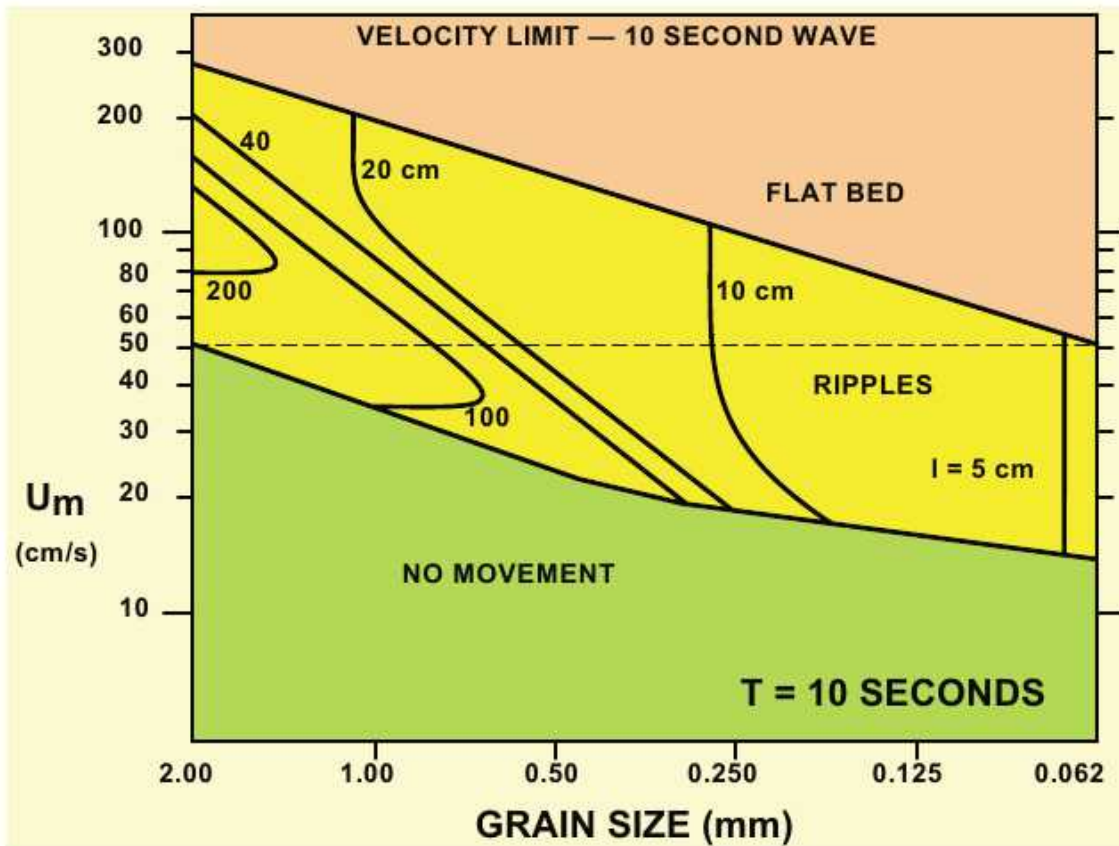
Tempestades são capazes de retrabalhar sedimentos até a fração areia (trazidos por correntes hiperpicnais) a profundidades de várias dezenas de metros.



Formas de Leito geradas por ondas

As principais formas de leito geradas pela ação de ondas no substrato sedimentar são ondulações de diferentes dimensões (*wave ripples*).

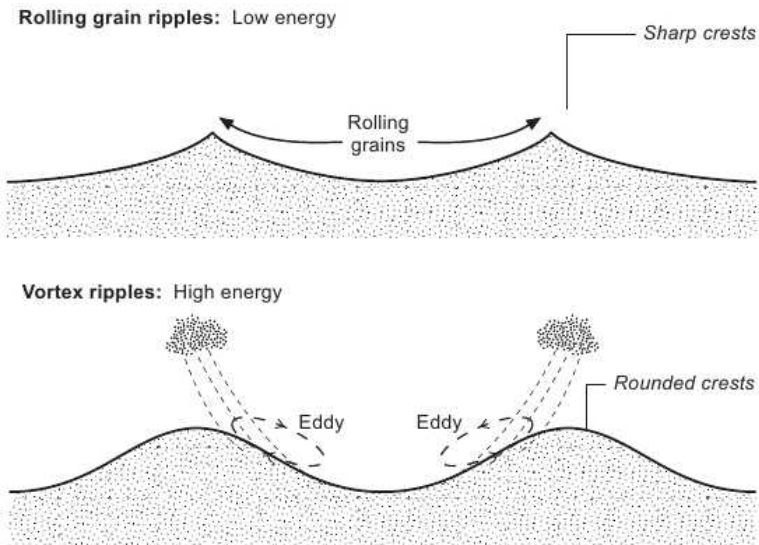
O comprimento de onda dessas ondulações em areia é proporcional à velocidade máxima das partículas em um ciclo.



Comprimento de onda de ondulações para diferentes velocidades máximas e granulações.

Ripples de onda

A forma também depende da velocidade máxima da perturbação no fundo durante cada ciclo. Ondas com energia capaz apenas de mover as partículas por rolamento no fundo geram *ripples* com formas cúspides, enquanto ondas com maior energia geram *ripples* com forma convexa.



Nichols, 2009

Ripples de onda têm perfil simétrico e cristas tendendo a retas em planta, com bifurcações em “Y”.

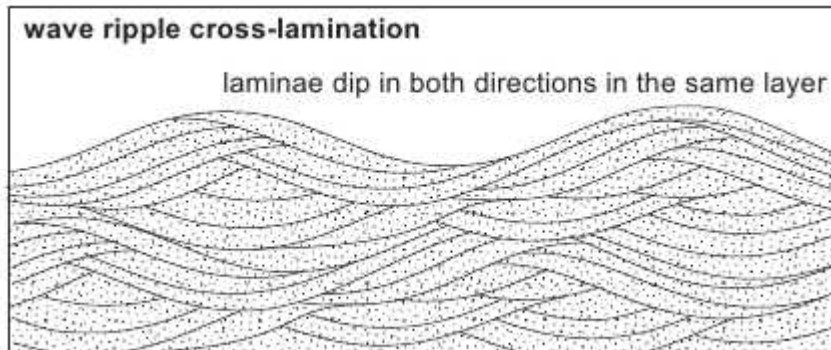


Nichols, 2009

Estruturas sedimentares geradas por ondas

As estruturas sedimentares geradas por ondas em substrato arenoso são caracterizadas por laminação interna em sentidos opostos no mesmo estrato e padrão *chevron* na região da crista.

Nichols, 2009



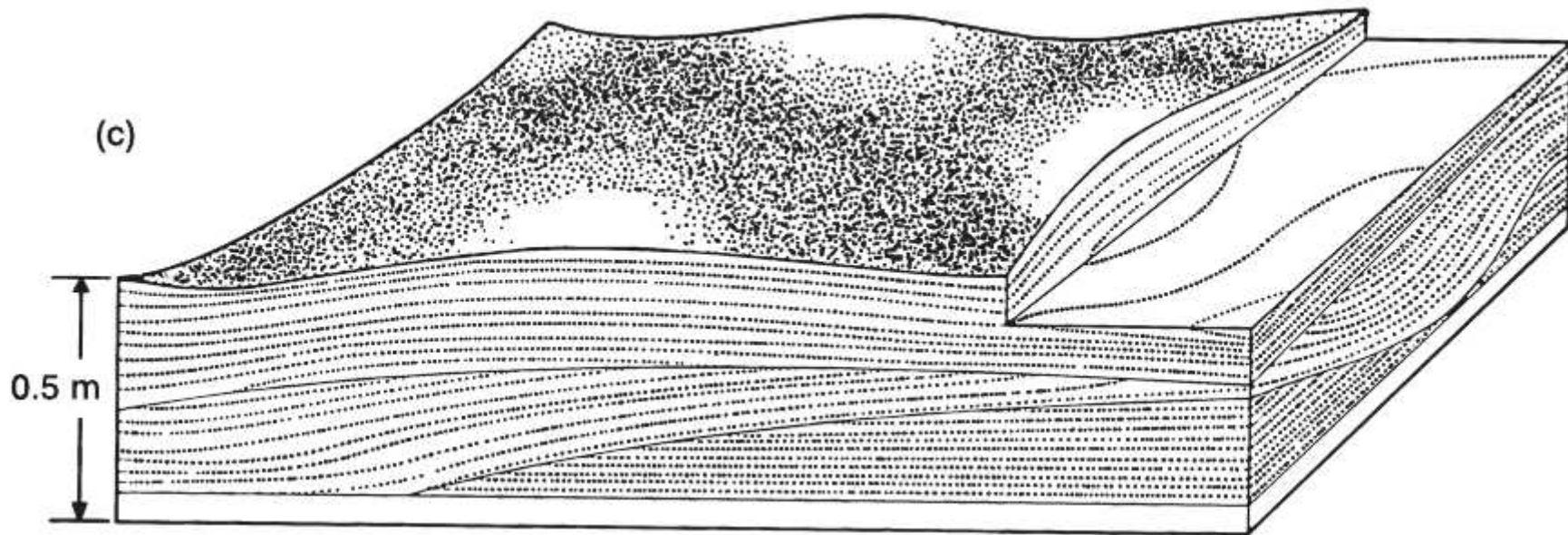
Preservação de formas cúspides é também frequente.



Nichols, 2009

Estruturas sedimentares geradas por ondas

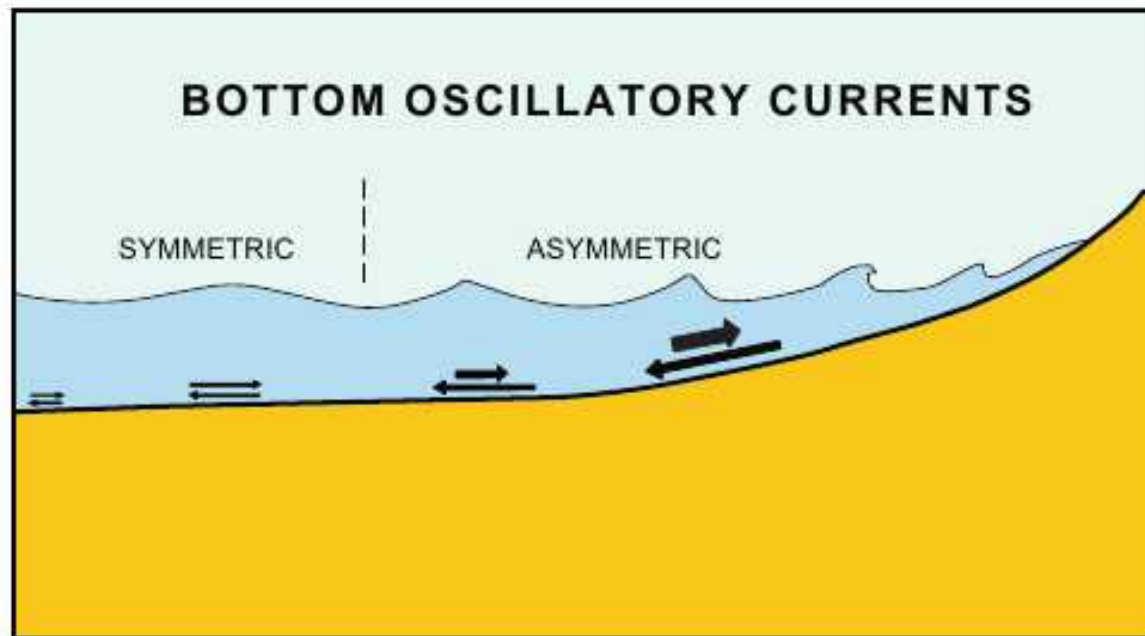
Orbitais métricos interagindo com o fundo são mais frequente na região costeira durante tempestades, porém podem afetar a região mais rasa da plataforma, gerando formas do tipo *hummocky*, com estratificação interna cruzada de baixo ângulo e preservação de topos convexos.



Harms *et al*, 1975

Interação ondas - correntes

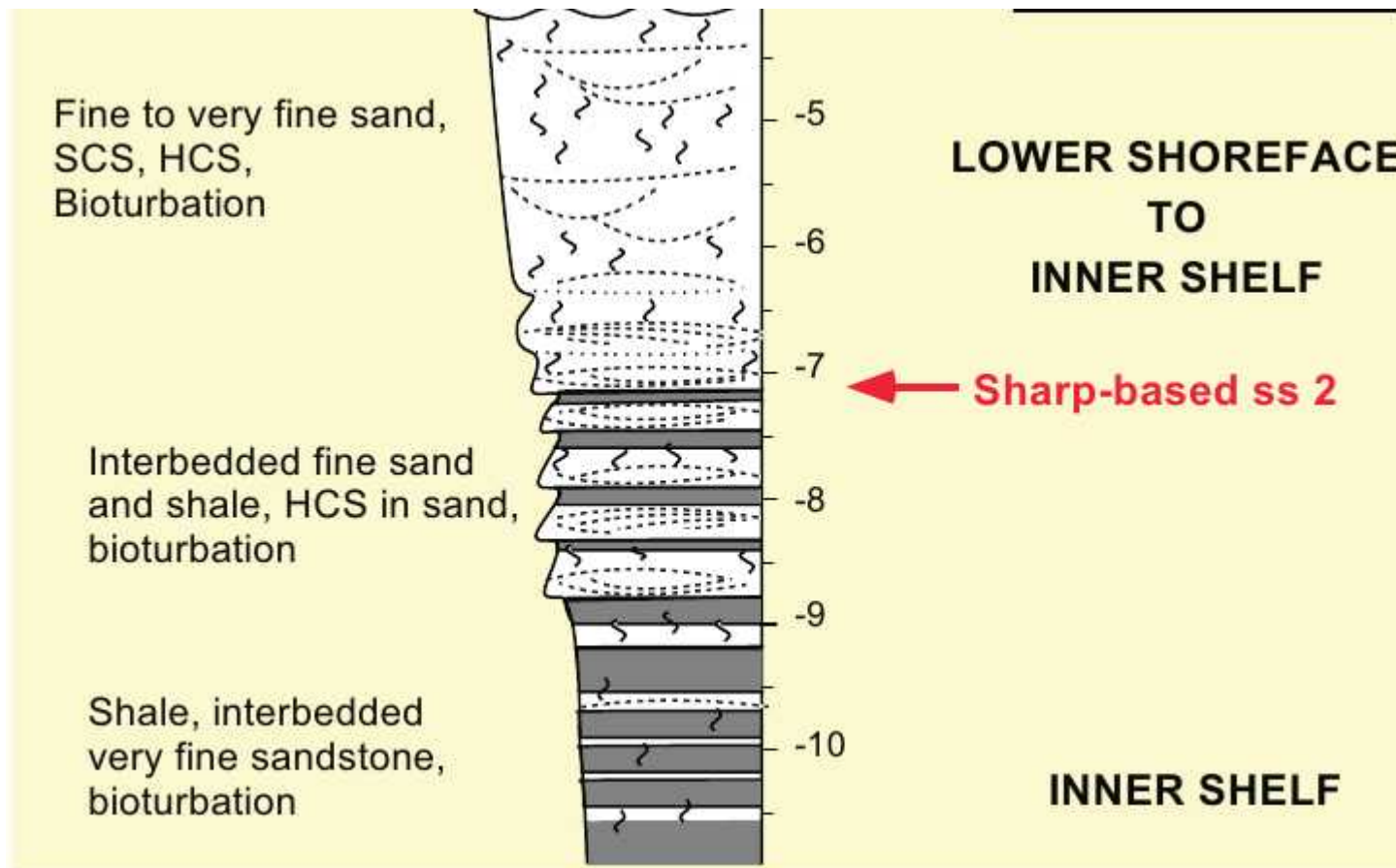
A associação de ondas com correntes de retorno durante tempestade pode dar origem a formas de leito e estruturas com assimetria indicativas de uma componente direcional na direção da declividade ou das correntes geostróficas.



Clifton, 2006

Sucessão de fácies

Desta forma, são esperadas fácies com maior frequência de eventos de retrabalhamento por tempestades em águas mais rasas, e maior proporção de depósitos de decantação em águas mais profundas. Da mesma forma, a frequência de estruturas indicativas de ação de grandes orbitais no fundo é maior em águas mais rasas, resultando apenas em estruturas indicativas de *ripples* de pequeno comprimento de onda em águas profundas.



Ciclo prográdico idealizado da plataforma até a face litorânea inferior

Correntes de maré nas plataformas continentais

Marés são o resultado de variações locais no equilíbrio entre as forças gravitacionais dos sistemas Terra-Lua e Terra-Sol e as forças centrípetas da translação da Terra em torno do Sol e da Lua em torno da Terra.

Dependendo de sua localização no planeta, uma região pode sofrer marés diurnas, semi-diurnas ou mistas.

Em estuários e deltas dominados por marés, variações da maré causam correntes em canais confinados, em ciclos com fluxo alternado de sentidos opostos, separados por períodos de estagnação da água.

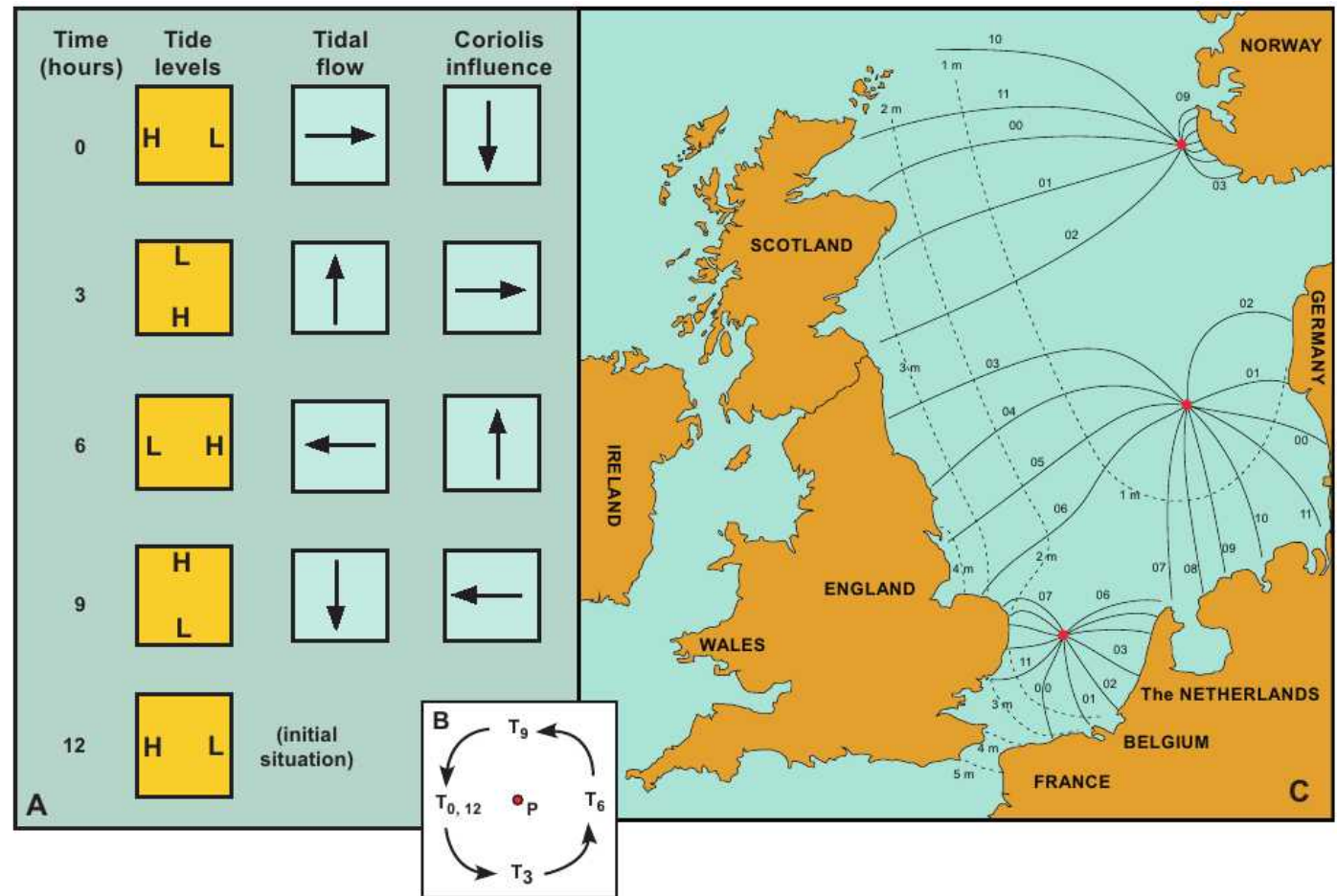
Correntes de maré nas plataformas continentais

Já em plataformas continentais, as correntes de maré não são confinadas a canais, sofrendo fortemente o efeito da força de Coriolis. Assim, correntes de maré em plataformas descrevem trajetórias de rotação, e são caracterizadas por variação periódica de intensidade, porém com fluxo contínuo. Assim, não há os períodos de estagnação regulares, que dão origem a filmes de lama periódicos em ambientes costeiros. Como esse é o principal critério para o reconhecimento de marés em depósitos antigos, a caracterização de plataformas dominadas por marés é mais difícil.

Apesar da ausência de estagnação periódica, depósitos de decantação podem ocorrer quando a concentração de sedimento em suspensão é alta o bastante (> 100 mg/l)

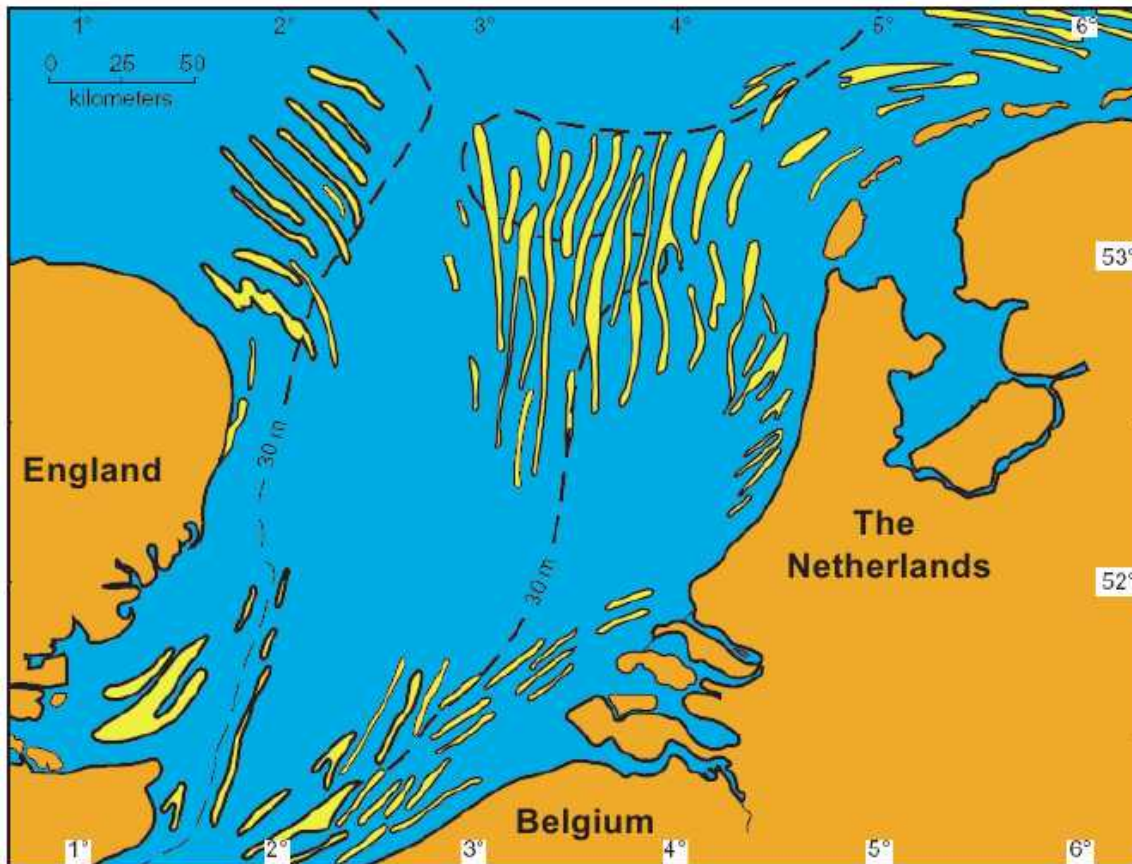
Padrão rotativo de correntes de maré sob a influência da força de Coriolis, Mar do Norte.

Suter, 2006



Correntes de maré nas plataformas continentais

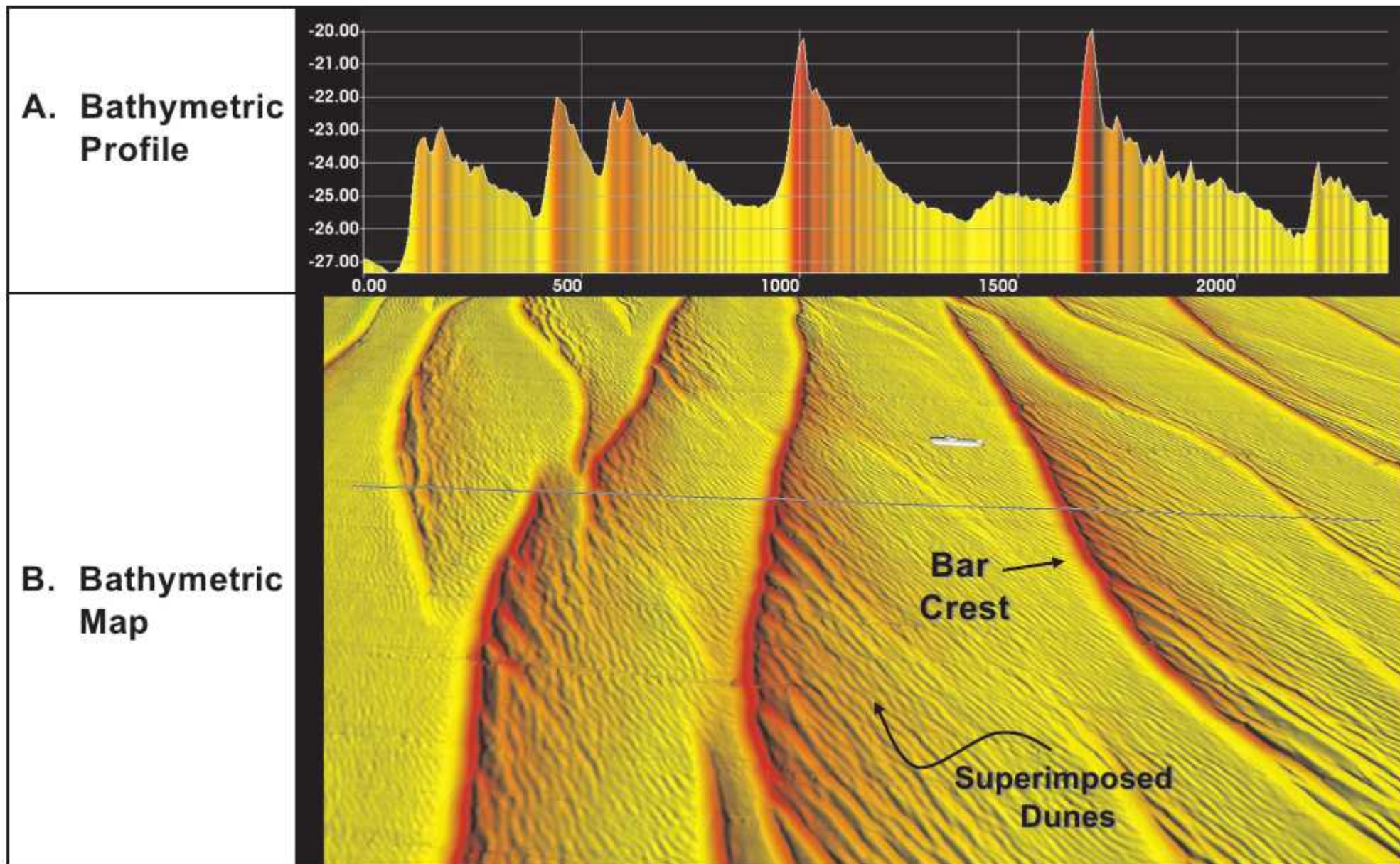
Correntes de maré podem ter efeitos muito importantes no retrabalhamento de carga de fundo (basicamente areia) em plataformas continentais. Lençóis de areia e cristas arenosas cobrem milhares de km² em plataformas rasas dominadas por marés. Formas de leito geralmente apresentam cristas perpendiculares à direção de corrente de maré dominante e podem formar depósitos com mais de 180 km de extensão, mais de 10 km de largura e espessura de até 40 m.



Cristas arenosas de maré no Mar do Norte.

Snedden & Dalrymple, 1999

Corpos arenos de maré em plataformas continentais



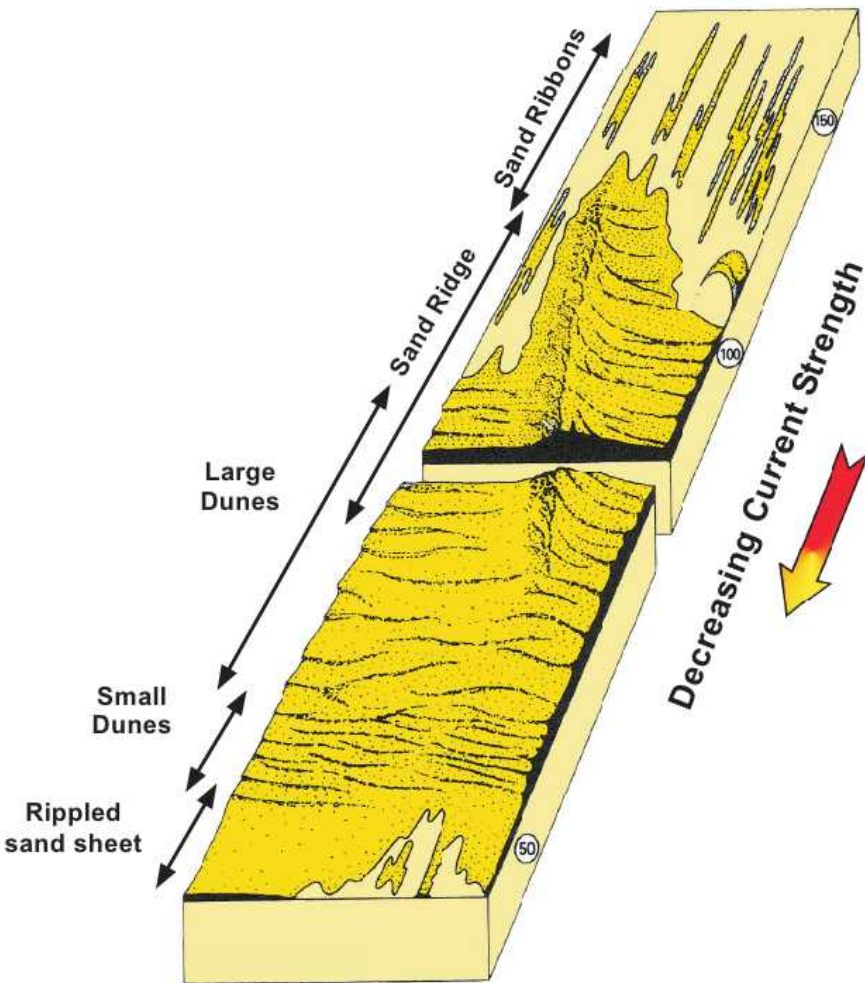
Perfil e mapa digital de trecho da plataforma continental Australiana, mostrando formas de leito de marés com amplitude de até 6 m e comprimentos de 20 a 700 m, com dunas sobrepostas.

Boyd et al., 2004 b

Correntes de maré nas plataformas continentais

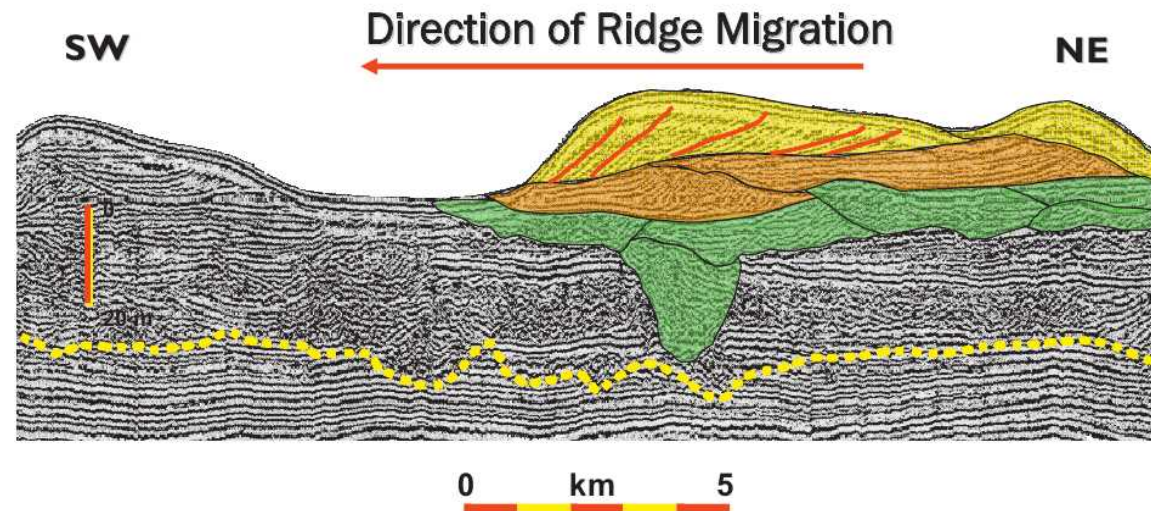
Correntes de maré são capazes de transportar areia através da plataforma, porém geralmente, como no caso de retrabalhamento por ondas de tempestade, o aporte de areia para a plataforma se dá por outros processos. O termo **palimpsesto** é utilizado para sedimentos de plataforma trazidos anteriormente e retrabalhados por outros processos com os quais encontram-se em equilíbrio.

Modelo para transporte de areia por correntes de maré no Mar do Norte. **Belderson et al. , 1982**



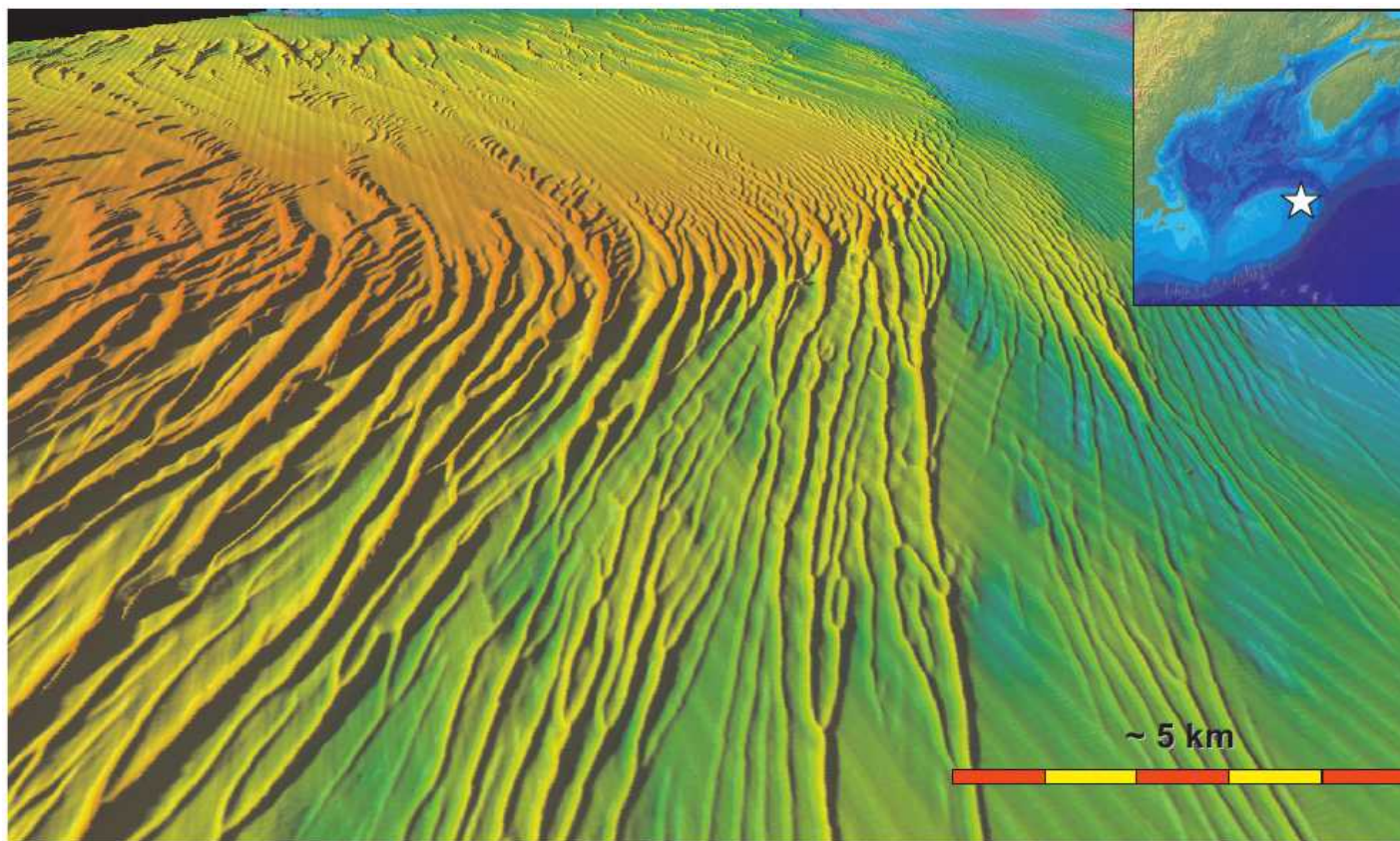
Cristas de maré no leste da China, resultante do retrabalhamento do Delta do Changjiang durante a transgressão holocênica. Cristas mostram superfícies de acréscimo frontal e lateral e grande escala relacionadas a estratos cruzados com mais de 50 m de altura.

Suter , 2006



Correntes de maré nas plataformas continentais

Correntes de maré são capazes de transportar areia através da plataforma, porém geralmente, como no caso de retrabalhamento por ondas de tempestade, o aporte de areia para a plataforma se dá por outros processos. O termo **palimpsesto** é utilizado para sedimentos de plataforma trazidos anteriormente e retrabalhados por outros processos com os quais encontram-se em equilíbrio.



Modelo batimétrico da plataforma continental no Canadá (50 a 70 metros de profundidade), mostrando formas de leito de marés com amplitude entre 6 e 10 m retrabalhando sedimentos glaciais (palimpsestos) **Suter, 2006**

Evolução das plataformas dominadas por maré

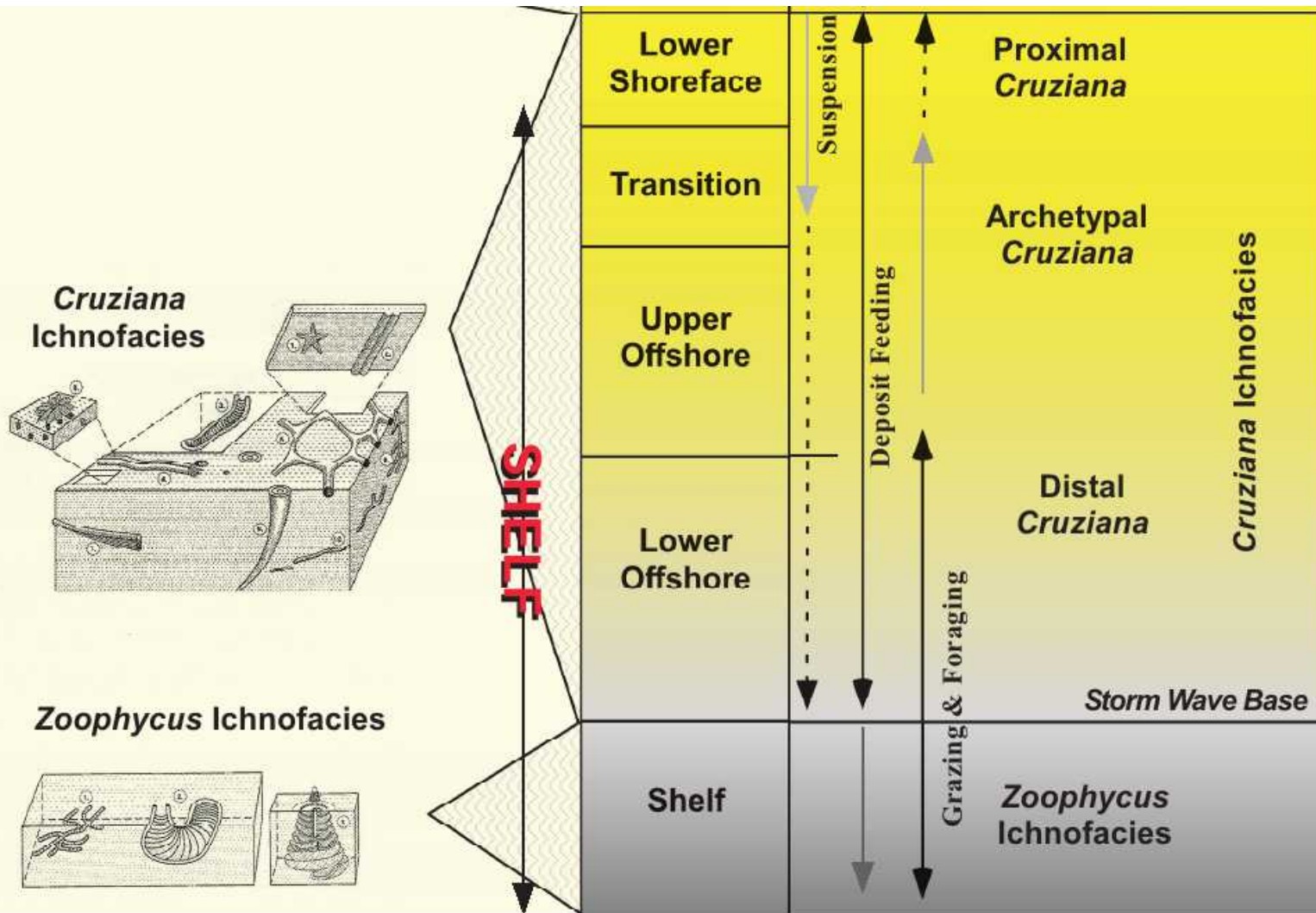
A capacidade de transporte das correntes de maré nas águas relativamente profundas da plataforma continental dependem da ressonância de marés em regiões com configurações topográficas favoráveis.

Desta forma, em contextos de variação do nível relativo do mar, a duração as condições ideais para ressonância de marés é relativamente pequena, pois o progressivo aumento da profundidade local tende a alterar a configuração favorável à rssonância, causando a diminuição da capacidade de transporte.

Nessa situação, depósitos de marés tendem a ser retrabalhados por tempestades.

Bioturbação na plataforma continental

Taxas de sedimentação relativamente baixas e presença de matéria orgânica em sedimentos finos favorece a formação traços de organismos que alimentam-se bioturbando sedimentos depositados, agrupados nas icnofácies *Cruziana* (pataforma mais rasa) e *Zoophycus* (pataforma profunda). Eventos de tempestade colocam sedimento e matéria orgânica em suspensão, permitindo a colonização oportunista por organismos filtradores, e consequente desenvolvimento da icnofácies *Skolithos*

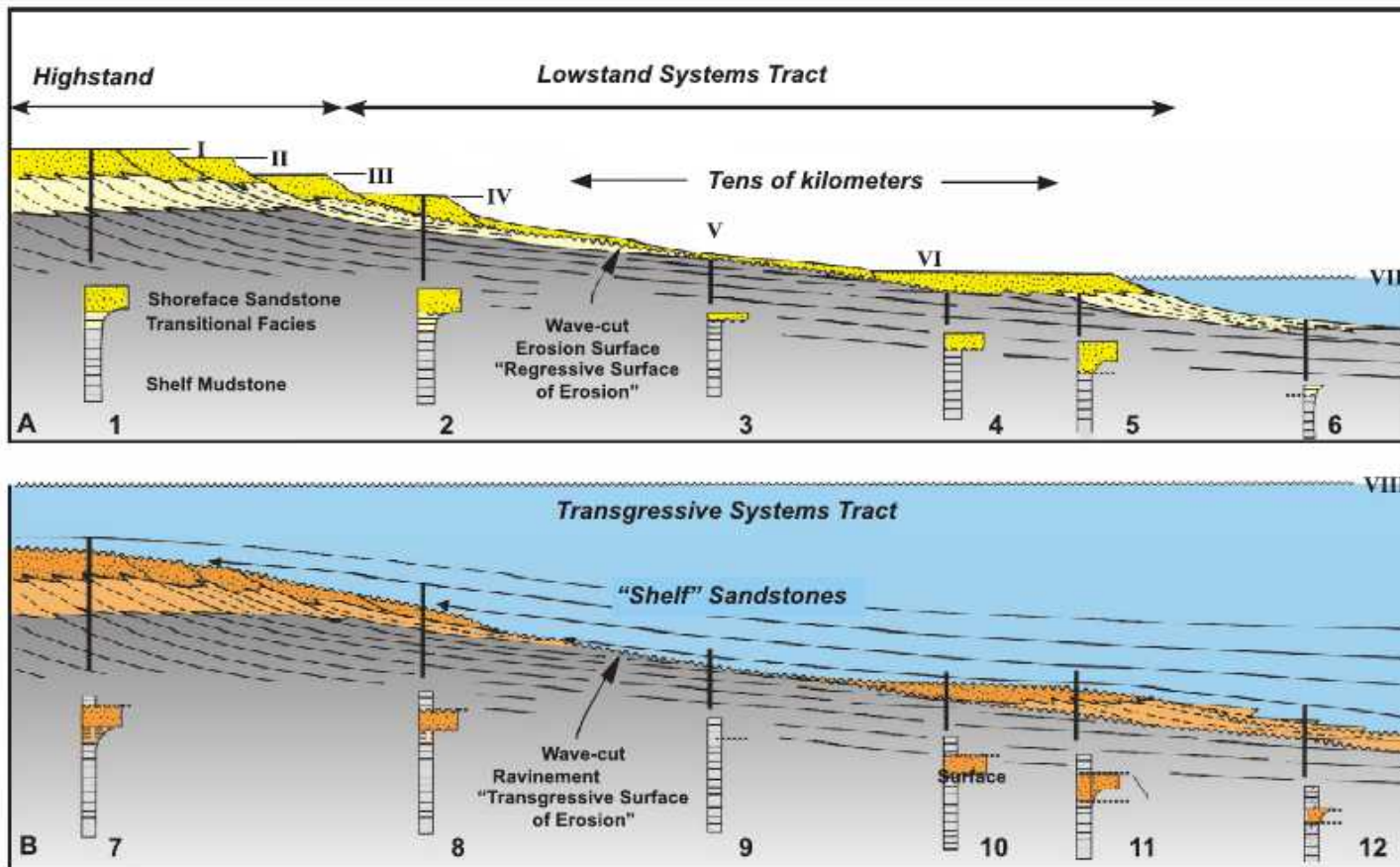


Modelo de distribuição de icnofácies na plataforma continental
Pemberton and MacEachern, 1995

A importância das variações do nível do mar

As plataformas continentais desenvolvem-se em áreas potencialmente localizadas entre o nível e mar alto e o nível de mar baixo em um ciclo de variação do nível relativo do mar.

Dessa forma, acumulações sedimentares de nível de mar baixo podem formar feições reliquias na plataforma, sendo potencialmente retrabalhadas por tempestades e correntes. Esse processo é um dos principais responsáveis pelo aporte de material arenoso na plataforma, e é reconhecido em todas as plataformas atuais.



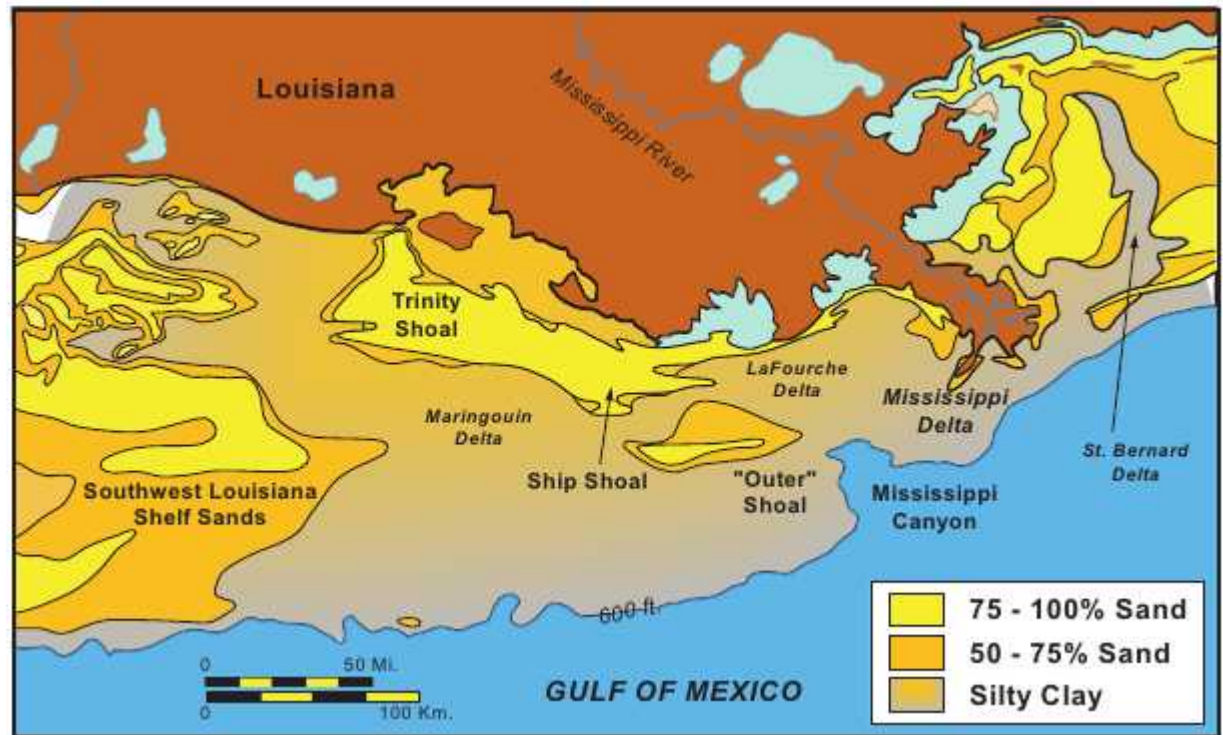
Modelo de retrabalhamento de depósitos costeiros de trato de mar alto anterior (I e II) e trato de mar baixo (II a VI) por transgressão subsequente (B), gerando acumulações arenosas na plataforma continental.

Suter, 2006

Conclusão: distribuição dos sedimentos na plataforma continental

Um conjunto de diferentes processos contribui para a distribuição de sedimentos na plataforma continental:

- Aporte direto de sedimentos finos por **correntes hipopícnais** que podem chegar a mais de 100 km de distância da costa.
- Aporte de sedimentos, de argila até a fração areia, por **correntes hiperpícnais**, com direção potencialmente modificada pela força de Coriolis, gerando **correntes geostróficas**.
- Aporte de sedimentos na fração areia ou maior durante eventos de queda do nível do mar, posteriormente retrabalhados.
- Retrabalamento por tempestades.
- Retrabalamento por marés.
- Bioturbação constante de níveis superficiais



Distribuição dos sedimentos na plataforma continental na região do Delta do Mississippi, ressaltando crocos arenosos reliquiais do último período de mar baixo, retrabalhados por tempestades. **Suter, 1987**