

ROCHAS TERRÍGENAS

1- Tipos de Rochas Sedimentares

2- Rochas Terrígenas

2.1- TEXTURAS

2.2- CONGLOMERADOS

2.2- ARENITOS

2.3- PELITOS

1- TIPOS DE ROCHAS SEDIMENTARES

1 – Detríticas ou Clásticas ou Siliciclásticas:

- de origem continental (Terrígenos)

Ex: argilito, siltito, arenito, conglomerado

- de origem vulcânica (Piroclásticos)

Ex: tufo, lapilli tufo, brecha piroclástica

2 – Químicas: Composição influenciada pelo CLIMA, FAUNA E APORTE SILICICLÁSTICO

Ex: carbonatos, gipsitos (evaporito), Chert, BIF

3- Biogênicas: de origem biológica

Ex: carbonatos

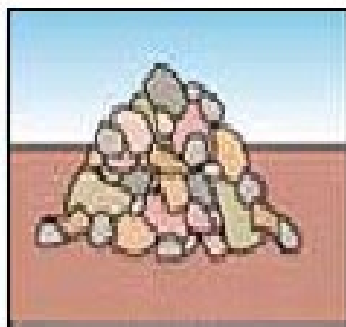
2- ROCHAS TERRÍGENAS

- compostas por produtos de erosão e alteração intempérica de rochas pré-existentes
 - principal componente: sílica (SiO_2)
- componentes transportados por saltação e rolamento, suspensão e ação gravidade

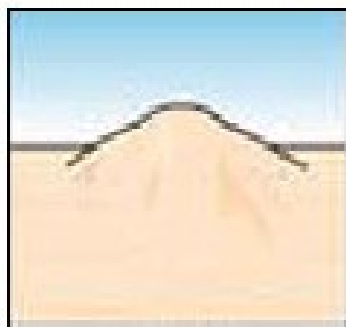
Tabela 9.1 Classificação dos sedimentos segundo a granulometria

Intervalo granulométrico (mm)	Classificação nominal			
	Proposição original (inglês)		Tradução usual (português)	
> 256	GRAVEL	Boulder	CASCALHO (ou balastro em Portugal)	Matacão
256-64		Cobble		Bloco ou colhou
64-4,0		Febble		Seixo
4,0-2,0		Granule		Grânulo
2,0-1,0	SAND	Very coarse sand	AREIA	Areia muito grossa
1,0-0,50		Coarse sand		Areia grossa
0,50-0,250		Medium sand		Areia média
0,250-0,125		Fine sand		Areia fina
0,125-0,062		Very fine sand		Areia muito fina
0,062-0,031	SILT	Coarse silt	SILTE	Silte grosso
0,031-0,016		Medium silt		Silte médio
0,016-0,008		Fine silt		Silte fino
0,008-0,004		Very fine silt		Silte muito fino
<0,004	CLAY	Clay	ARGILA	Argila

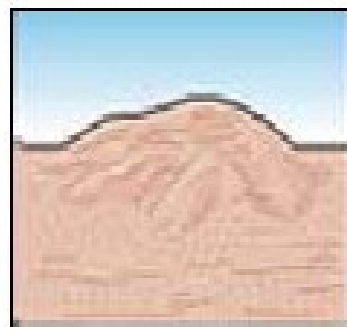
Sediment



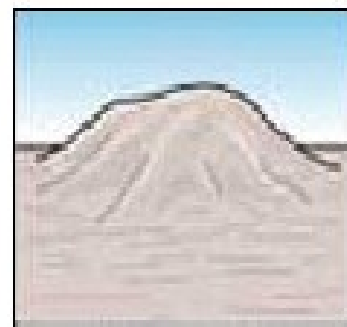
Gravel



Sand

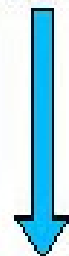
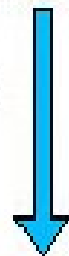
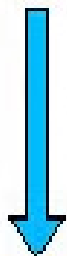
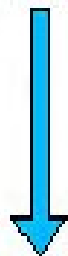


Silty mud

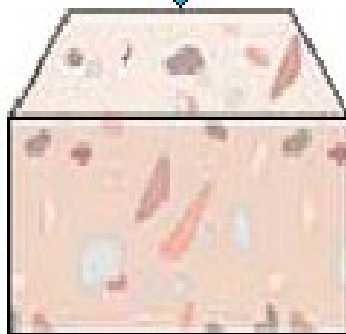


Clayey mud

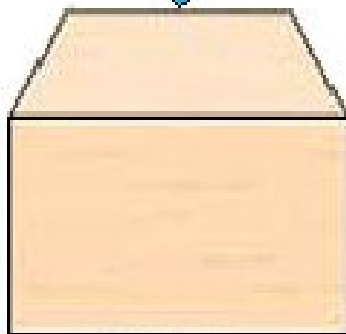
...with compression
and time,
can become...



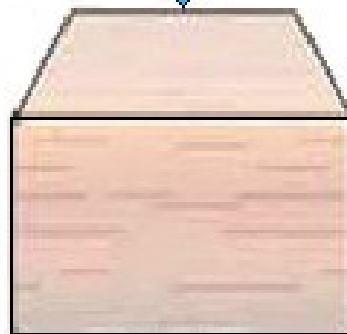
Rock



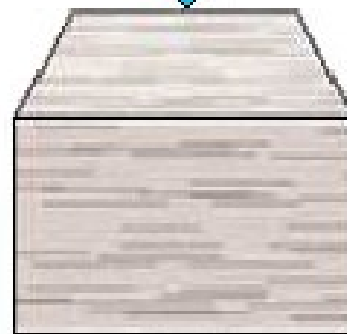
Conglomerate



Sandstone



Siltstone



Shale

2.1- Conglomerados

- Rochas compostas por clastos > 2mm

mm	phi	Name	
256	-8	Boulders	Matacões
128	-7		
64	-6	Cobbles	Calhaus
32	-5		
16	-4		
8	-3	Pebbles	Seixos
4	-2		
2	-1	Granules	Grânulos

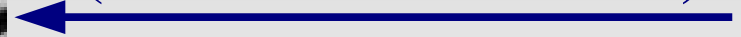
Gravel
Conglomerate

Conglomerados Ou Sedimentos Ruditos





Conglomerado
(clastos arredondados)



Brecha
(clastos angulosos)



Classificação de Conglomerado: *pela Litologia dos Clastos*

Auxilia no reconhecimento da(s) rocha(s) fonte(s) e interpretação do tipo de bacia sedimentar que foi gerado.

1- Monomítico:

- Um tipo de litologia.

2- Oligomítico:

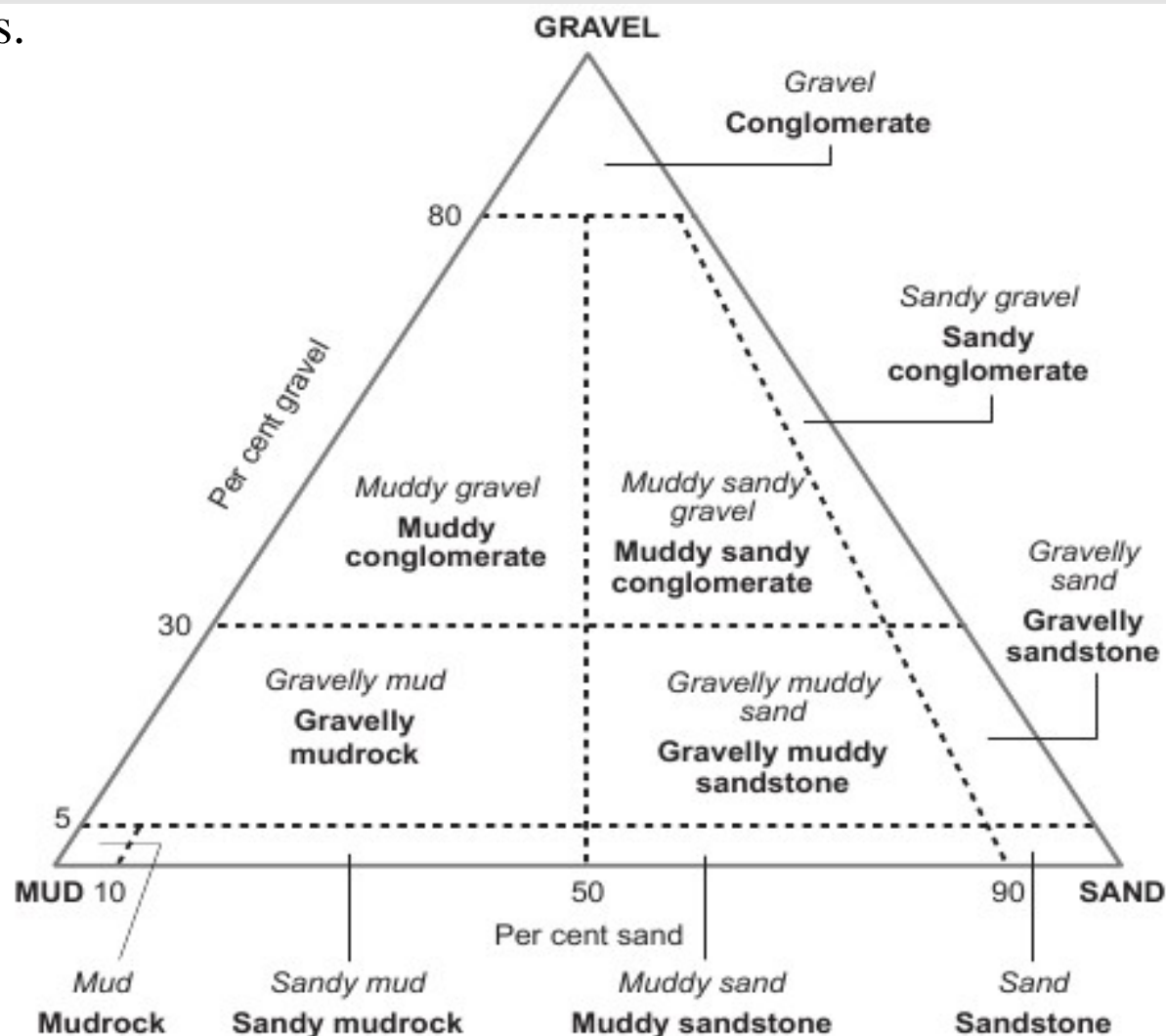
- dois ou três tipos de litologias.

3- Polimítico:

- Vários tipos de litologias.

Classificação de Conglomerado: *pela Textura (granulometria)*

- Raramente temos um conglomerado só de clastos acima de 2mm.
- Geralmente, em sua matriz, podemos ter proporções variadas de arenito e/ou argilito. Assim, um conglomerado é sempre composto por clastos de diferentes granulometrias.



Classificação de Conglomerado: *pela Quantidade de Matriz*

A quantidade de matriz presente auxilia na interpretação dos processos e agentes de transporte envolvidos na sedimentação

Conglomerado Clasto-Suportado (Ortoconglomerado)



Conglomerado Matriz-Suportada (Paraconglomerado)



2.2- Arenitos (terrígenos)

mm	phi	Name	
256	-8	Boulders	Gravel Conglomerate
128	-7	_____	
64	-6	Cobbles	
32	-5	_____	
16	-4	_____	
8	-3	Pebbles	
4	-2	_____	Sand Sandstone
2	-1	_____	
		Very coarse sand	
1	0	_____	
		Coarse sand	
0.5	1	_____	
		Medium sand	
0.25	2	_____	
		Fine sand	
0.125	3	_____	
		Very fine sand	
0.063	4	_____	

Classificação de Arenito:
Pelo tamanho dos clastos

Minerais detríticos mais comuns em arenitos terrígenos

Mineral
quartz
orthoclase
microcline
plagioclase
muscovite
biotite
hornblende
glauconite
calcite
dolomite



a) Quartzo – SiO_2



b) Feldspato (microclinio)
 $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

c) Micas
(biotita e muscovita)

d) Minerais pesados
(zircão, turmalina,
apatita, granada,
hornblenda, etc.)

Além de minerais, outros clastos podem estar presentes em arenitos terrígenos

- fragmentos líticos: na fração areia, rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. A litologia é reconhecida em lâminas de rochas.
- fragmentos biogênicos calcários: pequenos pedaços de carbonatos de cálcio conchas quebradas de moluscos ou organismos que possuem esqueletos calcários).
 - Comuns em ambientes marinhos rasos (praias, com ação de ondas, que quebram as conchas)
 - Se representar >50% da rocha: denominado carbonato (material detrítico).
- fragmentos biogênicos lenhosos: pequenos pedaços de tronco ou folhas (comuns em ambientes continentais), mas podem ser transportados até o ambiente marinho).

Além dos clastos, temos outros componentes presentes em arenitos terrígenos

- matriz: minerais na fração silte ou argila, transportados ou autigênicos (minerais de argila).
- cimento: minerais que crescem nos poros dos sedimentos, por precipitação, dependendo do pH e salinidade do fluido percolante.

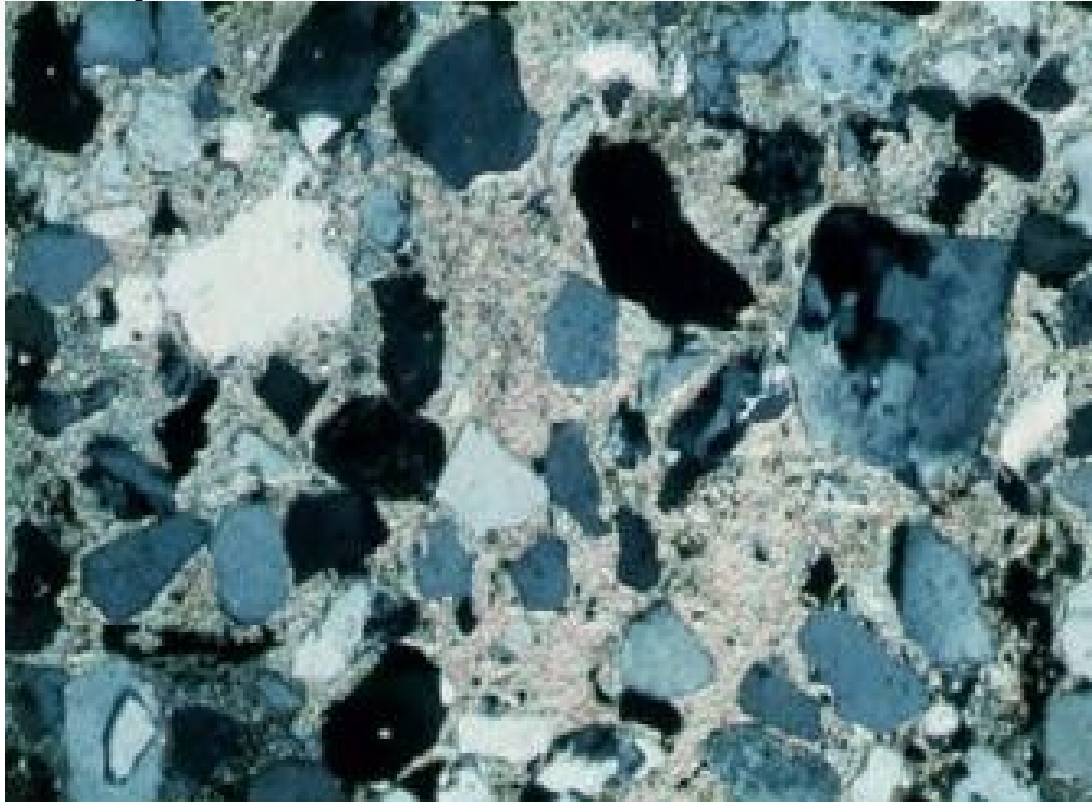
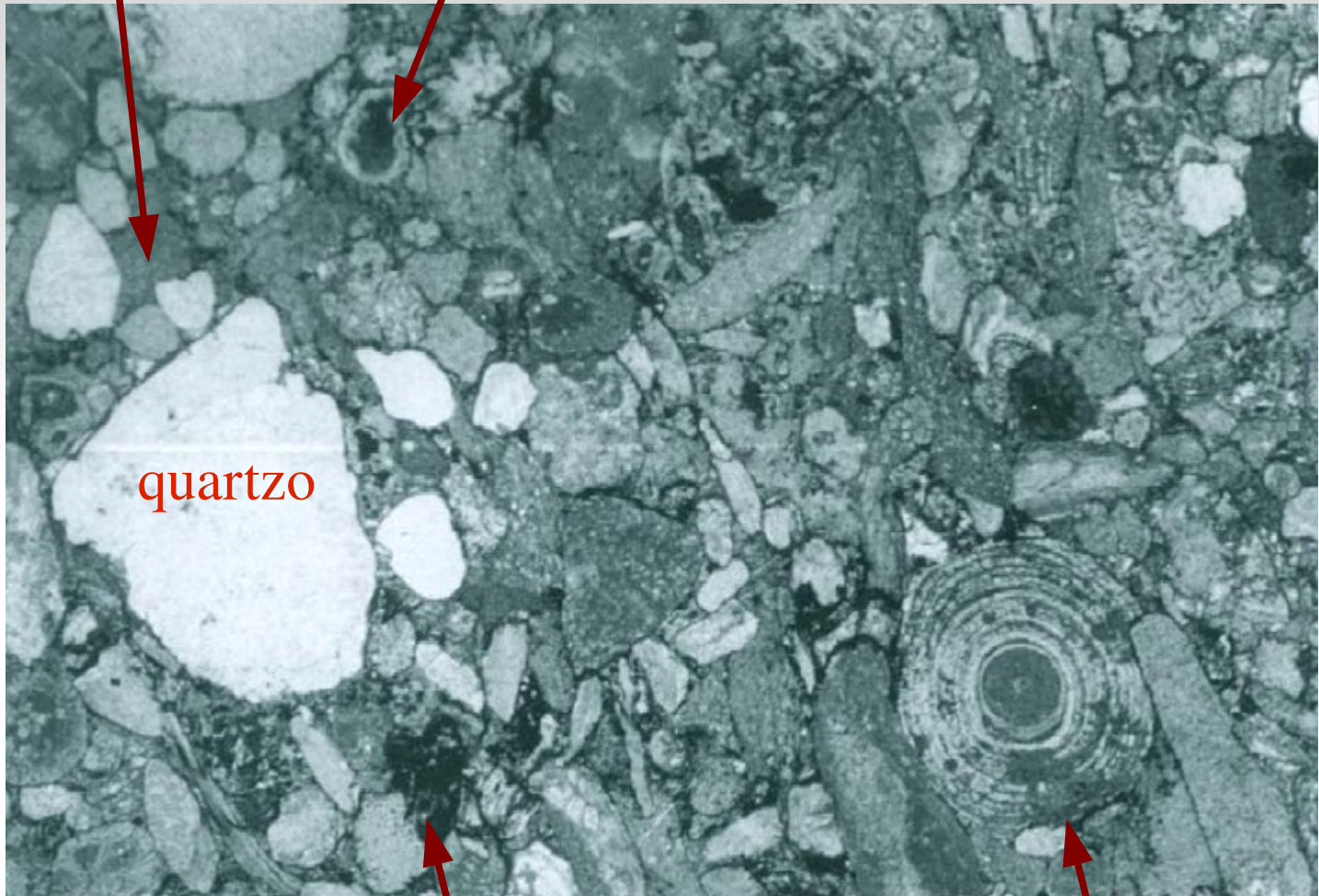


Figura ao lado, cimento de Calcita: gerada por precipitação e cristalização de cristais de carbonato na porosidade da rocha.

Matriz

Resto concha



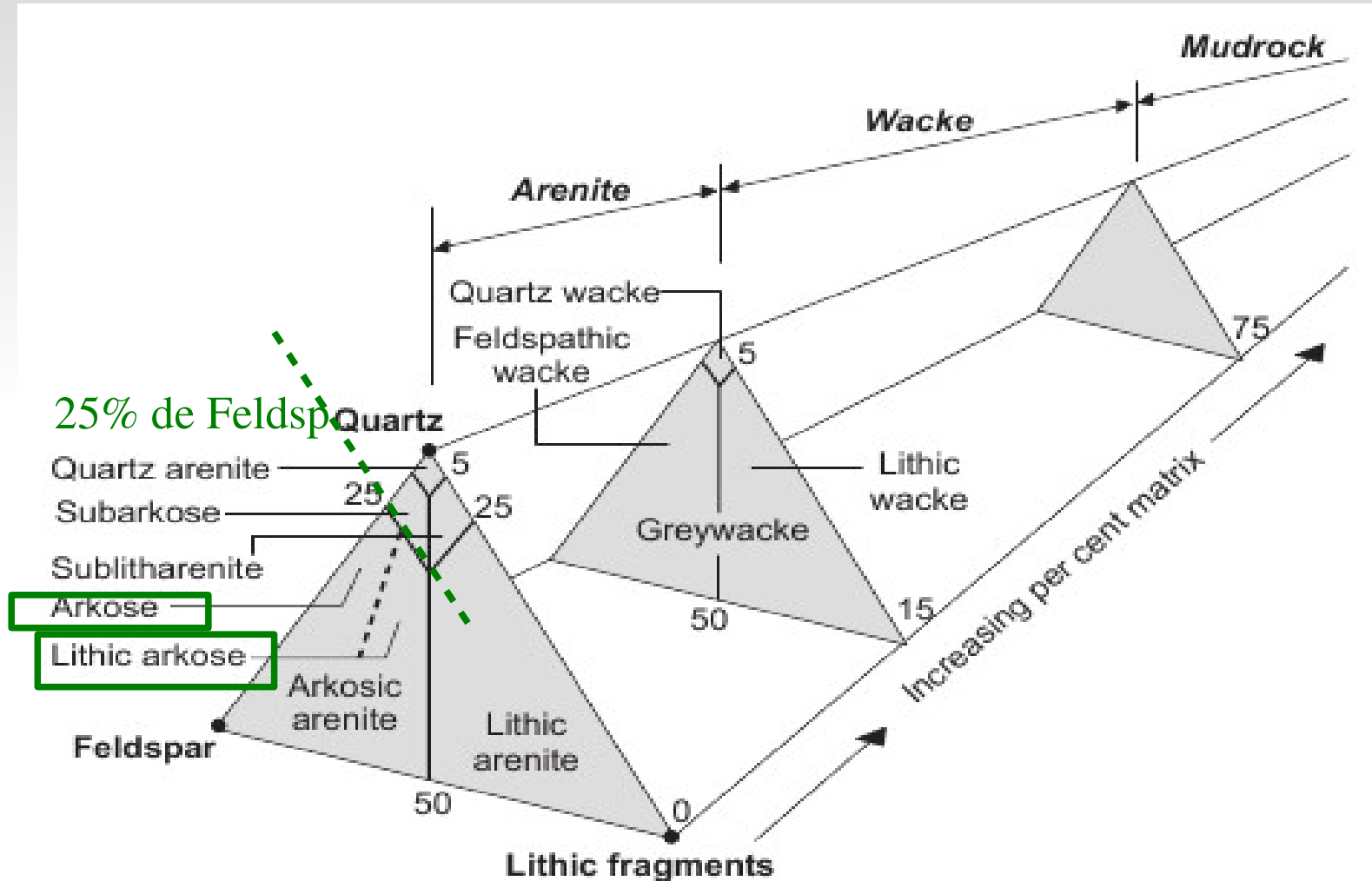
quartzo

Fragmento
lítico

Fragmento
autigênico

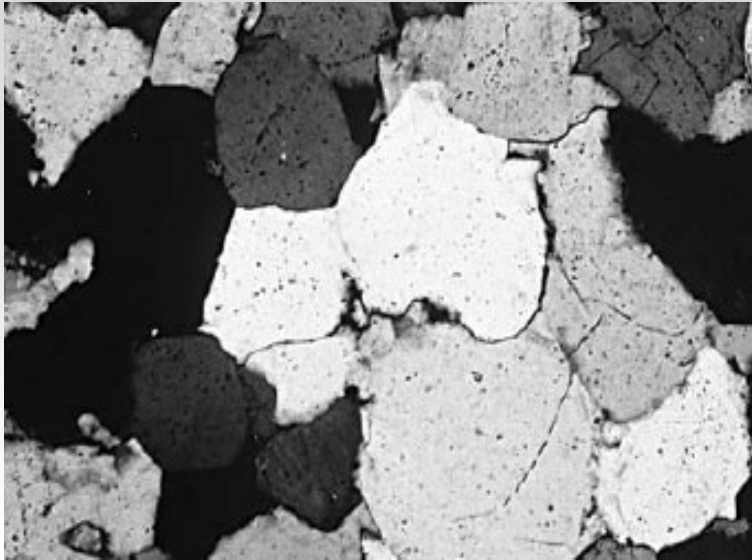
Classificação de Arenito: *considerando a Mineralogia + Matriz*

- A classificação é feita pela contagem de grãos em lâminas.

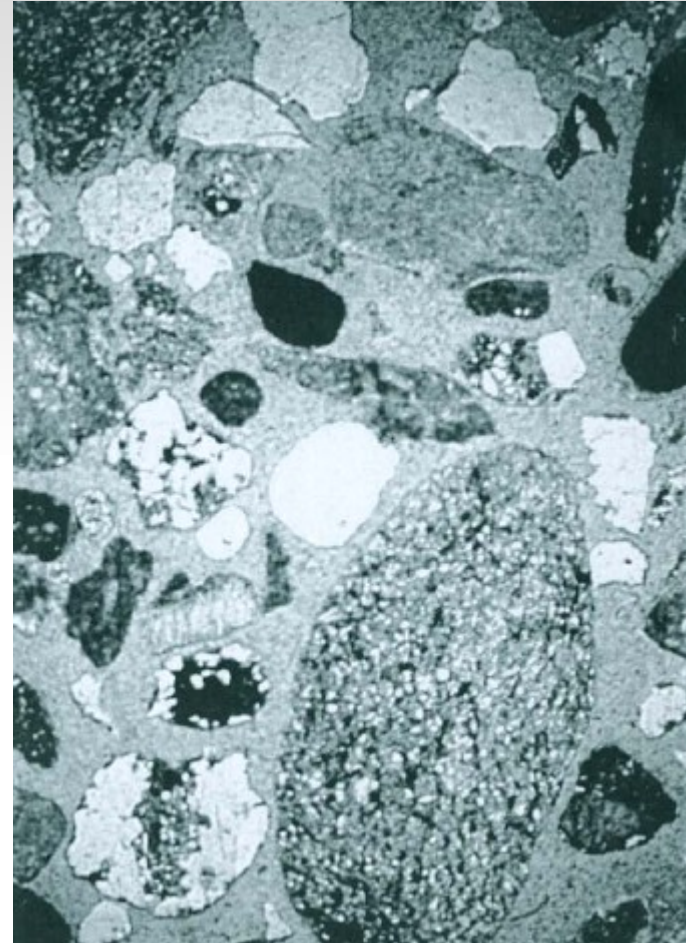


Classificação de Arenitos (Pettijohn, 1975)

Quartzo Arenitos



Arenito Lítico



Análises Texturais em Arenitos

1- Análise granulométrica e forma dos Clastos (feita em conglomerados e arenitos)

A forma dos clastos fornecem informações a respeito dos processos de transporte e dos ambientes de sedimentação.

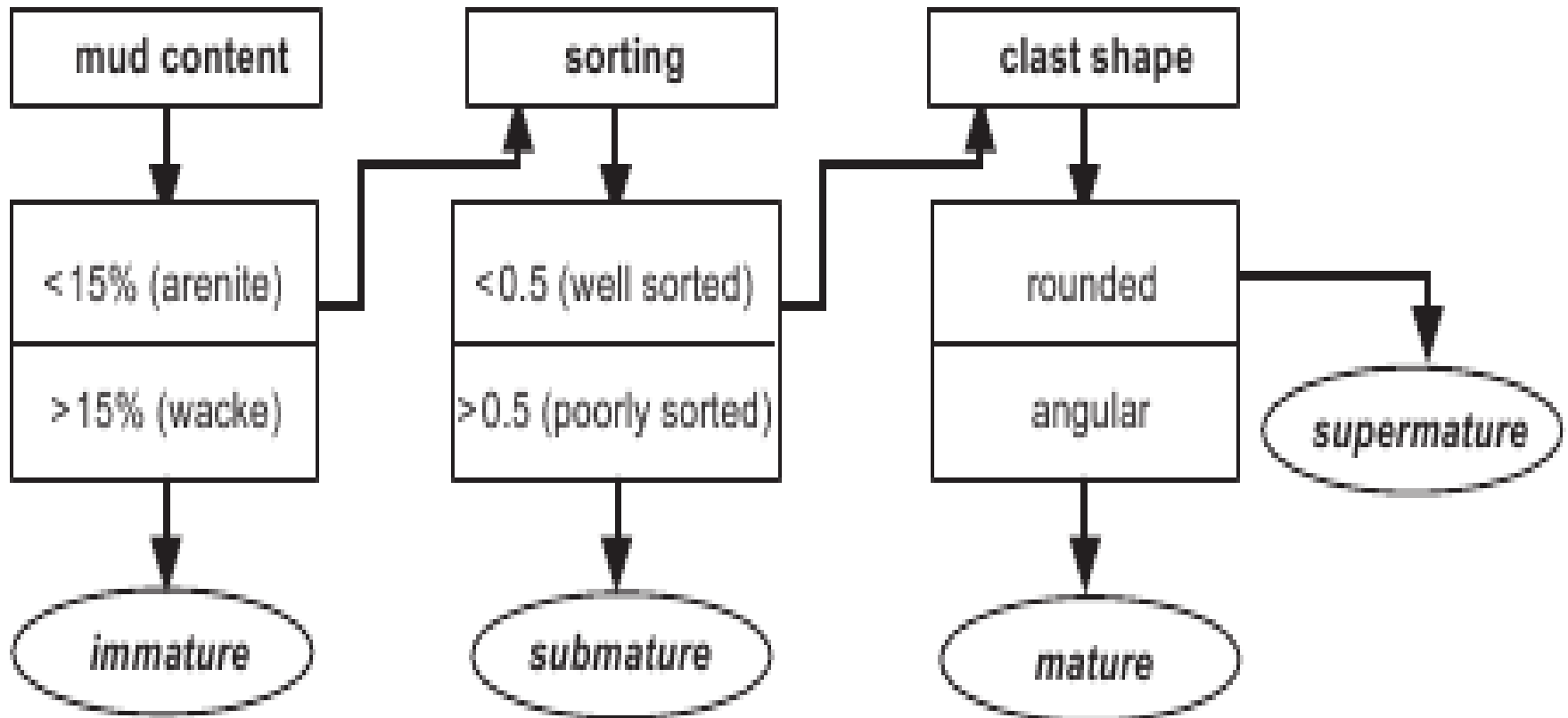
2- Análise da Maturidade (só em arenitos)

2.1- Maturidade Textural: quantidade de argila + arredondamento

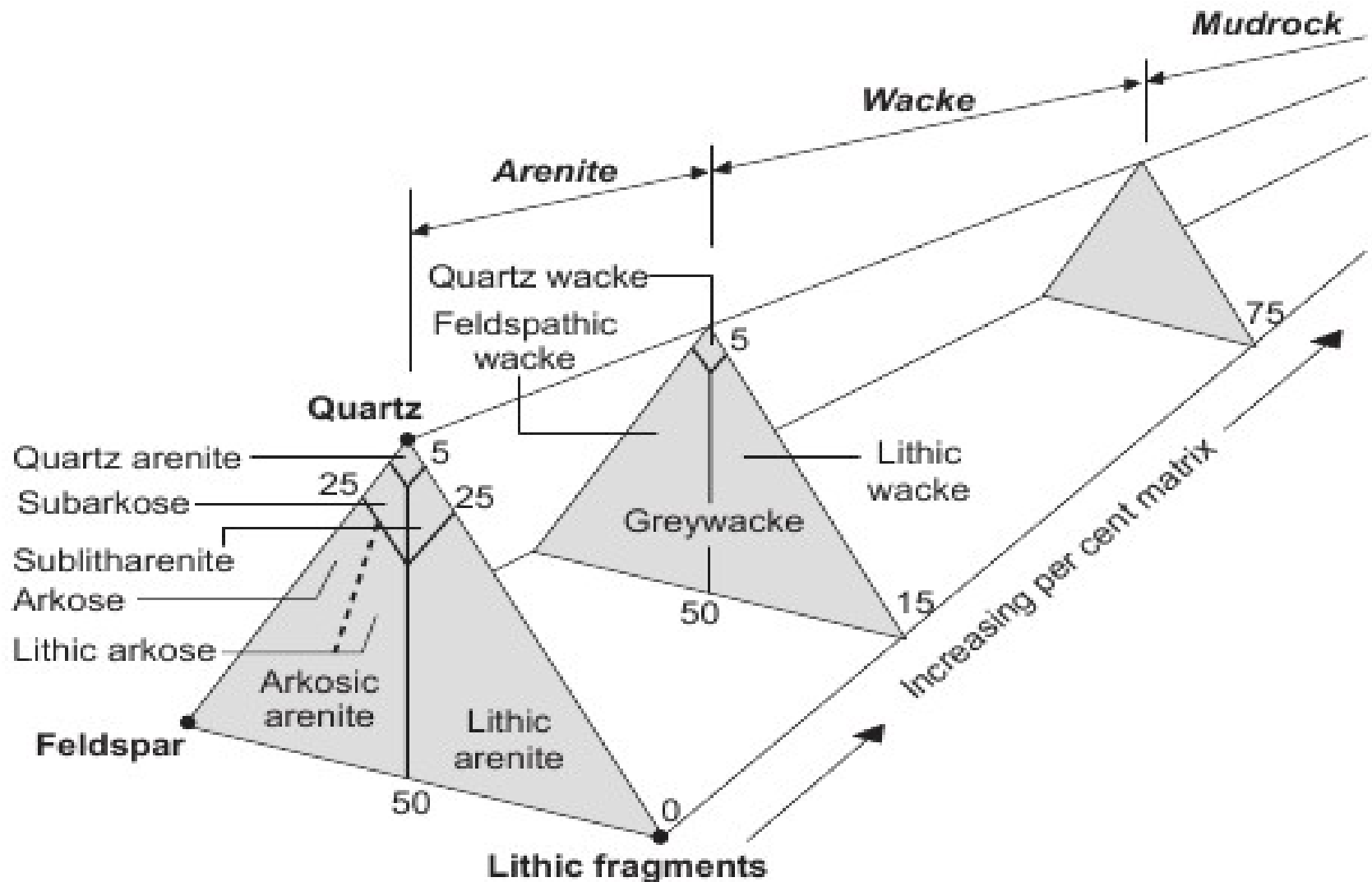
2.2- Maturidade Mineralógica: quantidade dos minerais estáveis, presentes na rocha

2.1- Maturidade Textural: vemos a quantidade de argila presente na rocha e o grau de arredondamento dos clastos.

TEXTURAL MATURITY OF SANDSTONES

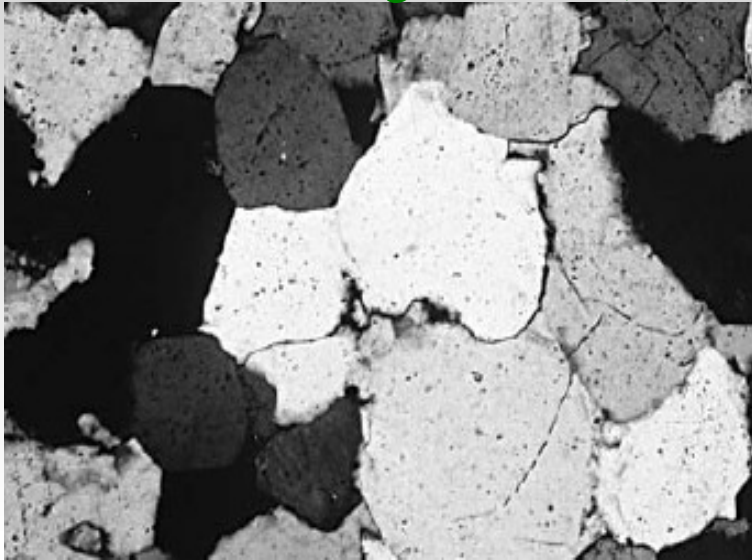


2.2- Maturidade Mineralógica: é a medida da proporção de minerais resistentes (ou estáveis) presentes na rocha.

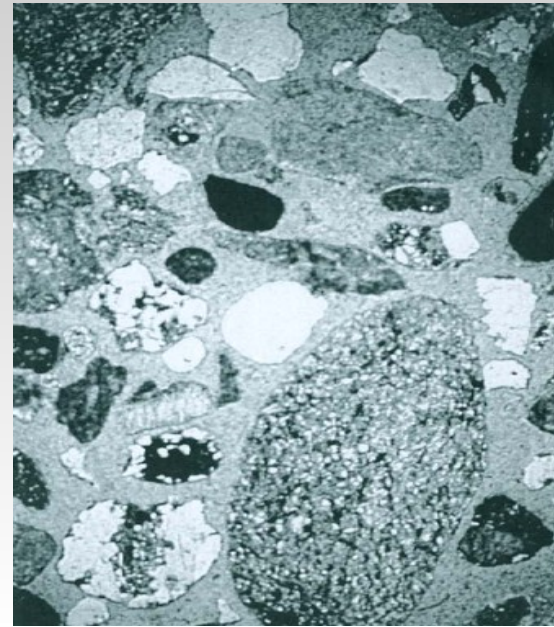


Classificação de Arenitos (Pettijohn, 1975)

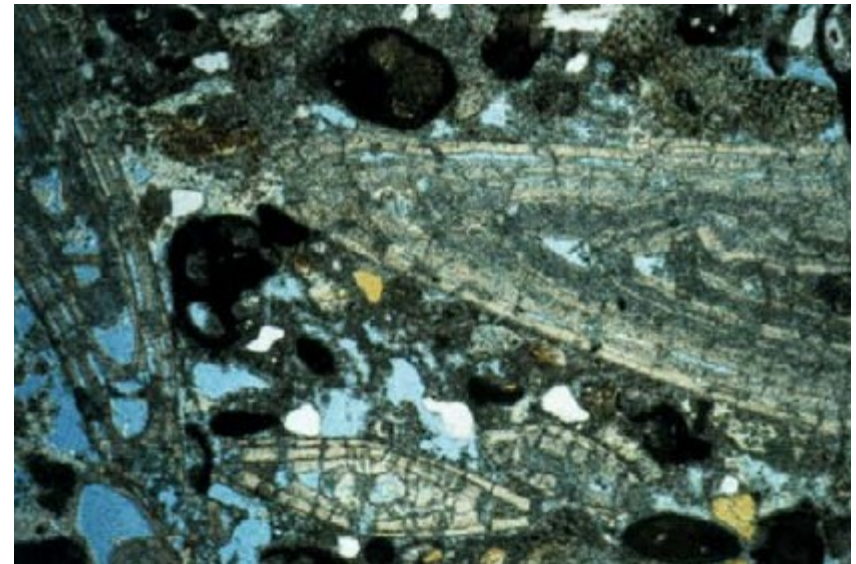
Arenitos Supermaturos (Textural e Mineralogicamente)



Arenito Imaturo (Textural)



Arenitos Imaturos (Textural e Mineral.)



ARENITOS QUARTZOSOS

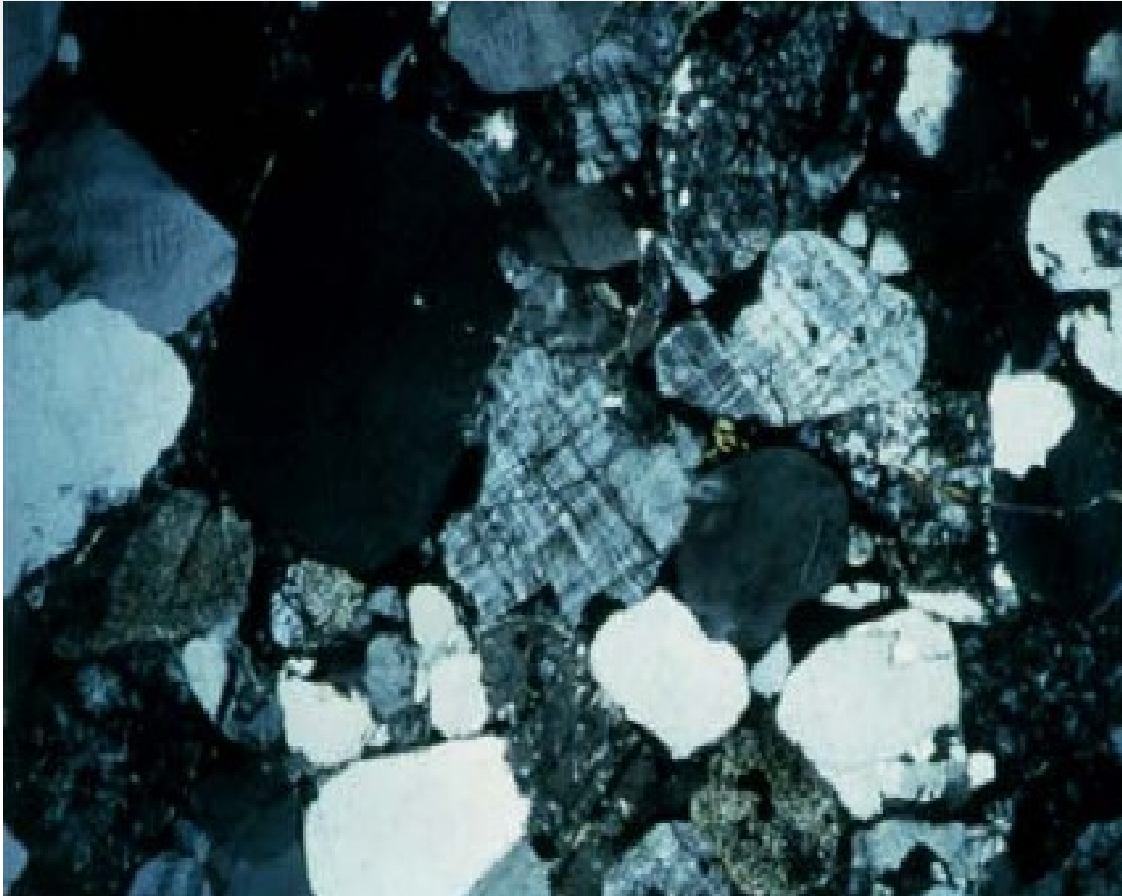
- Arenitos textural e mineralogicamente maduros
- Arenitos com tamanhos uniformes de grãos e baixa quantidade de argila possuem alta porosidade e permeabilidade na época de sua deposição (40%-50%)



Na figura acima, arenitos hipermaduros, sem cimentação, apresentando porosidade primária e grãos com películas de óleo (Simpson Group – Ordoviciano) – Fonte: Selley, 2000

ARCÓSEOS

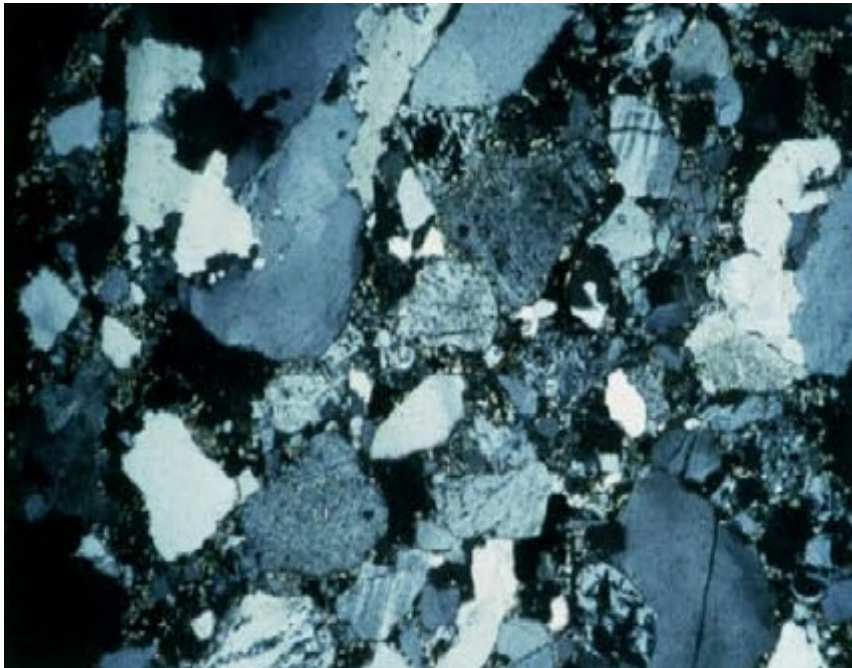
- Em geral possuem má seleção granulométrica, com grãos angulares a subarredondados e, pela grande quantidade de feldspatos, são mineralogicamente imaturos. Podem apresentar até 15% de argila. Também são comuns micas detríticas.
- A coloração avermelhada ocorre pela absorção de ferro pela argila na matriz.
- Alteração do feldspato – geralmente em caolinita ou sericita – de origem incerta: se por intemperismo, pela diagênese de soterramento ou alteração hidrotermal da rocha fonte.



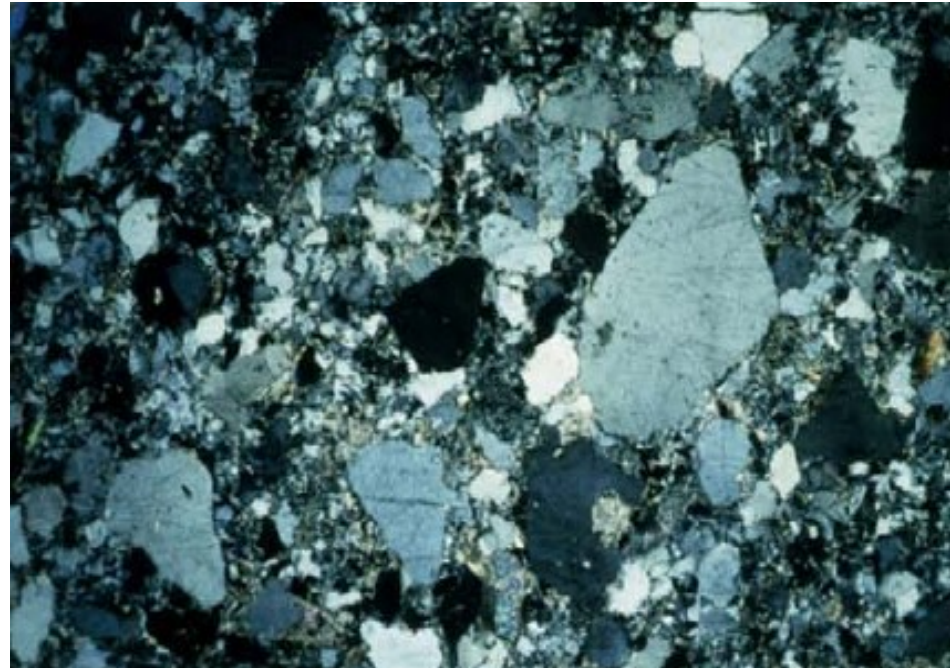
WACKES

- Textural e mineralogicamente imaturos, com mais de 15% de matriz.
- Variam de mineralogicamente maturos (<25% de feldspatos como a rocha quartzo wackes) a imaturos (wackes).
- Wackes: má seleção granulométrica (variando de areia grossa a argilas), com formas angulosas e pouco esféricas.

Feldspato-wacke



Quartzo-wacke: possuem menor quantidade de feldspato.



2.3- Pelitos (terrígenos)

mm	phi	Name	
256	-8	Boulders	
128	-7		
64	-6	Cobbles	
32	-5		
16	-4		Gravel Conglomerate
8	-3	Pebbles	
4	-2		
		Granules	
2	-1		
		Very coarse sand	
1	0		
		Coarse sand	Sand Sandstone
0.5	1		
		Medium sand	
0.25	2		
		Fine sand	
0.125	3		
		Very fine sand	

0.063	4		
		Coarse silt	
0.031	5		
		Medium silt	
0.0156	6		
		Fine silt	Mud Mudrock
0.0078	7		
		Very fine silt	
0.0039	8		
		Clay	

Pelitos (Mudrocks)

- Rocha composta por partículas nas frações argila e silte.
- Fração granulométrica muito pequena para reconhecimento ao microscópio comum.
- Identificação em MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) e por Difração de raios-X.

Argilito (Claystone): Rocha composta por partículas só na fração argila.

Siltito (Siltstone): Rocha composta por partículas na fração silte e um pouco na fração argila.

Minerais de Argila (Clay Minerals)

- É um grupo de minerais (Filossilicatos) que são os principais constituintes dos constituintes na fração argila.

Folhelho (Shale)

- Pelitos que possuem superfícies friáveis, com tendência de quebra em uma direção (paralela ao acamamento ou superfície).

Siltitos

Minerais mais comuns: Quartzo (mineral mais comum), feldspato, muscovita, calcita e óxidos de ferro.

Características:

- Em meios subaquáticos, é transportado por suspensão ou em um fluxo de baixa velocidade.
- Em ambientes subaéreos, podem permanecer na atmosfera (como poeira) por longos períodos e serem transportados por centenas de quilômetros de distância.

Minerais de Argila

- Geralmente formados pela quebra de feldspatos ou de outros silicatos.
- Fazem parte do grupo dos filossilicatos (com estruturas cristalinas semelhantes aos das micas).
- Composicionalmente são alumino-silicatos: as camadas dos cristais são de quartzo e íons de Al e Mg.

Principais Minerais de Argila:

Caolinita

Ilita

Montmorilonita (Grupo das Esmectitas)

Clorita

Tipos de Cimentos mais comuns:

Sílica – cimento gerado pela dissolução e reprecipitação da Si durante compactação da pilha sedimentar

Carbonato – o clima árido/semi-árido propicia a concentração e precipitação do CaCO_3 nos poros dos sedimentos inconsolidados

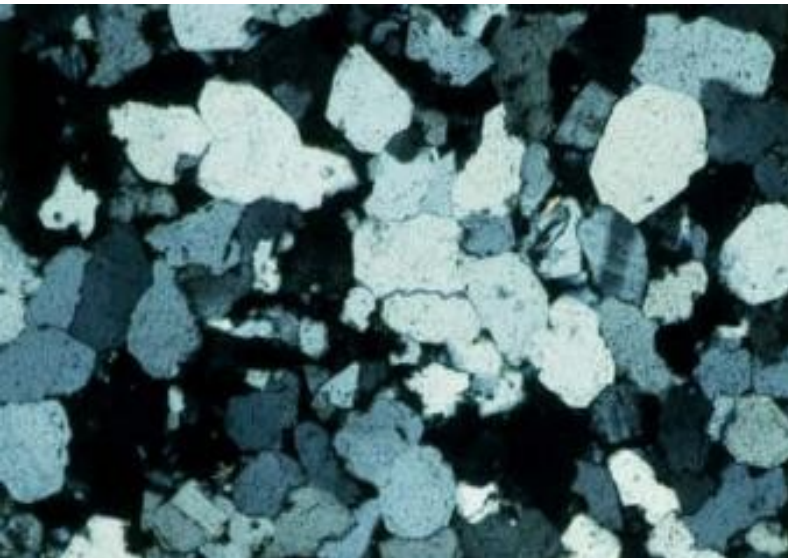
Cimentação de Sílica - ocorre quando há percolação de fluidos ácidos entre os poros.



(Arenito Lossiemouth, Permiano – Escócia). Selley (2000)

Mais comum: cimentação de quartzo sintaxial ao grão de quartzo – **Cimentação autigenênica** ou no estágio inicial da diagênese.

Estas soluções de sílica provêm de carapaças de animais, como radiolárias, diatomáceas e espículas de esponjas silicosas. Outras provêm de soluções expelidas de argilas compactadas.

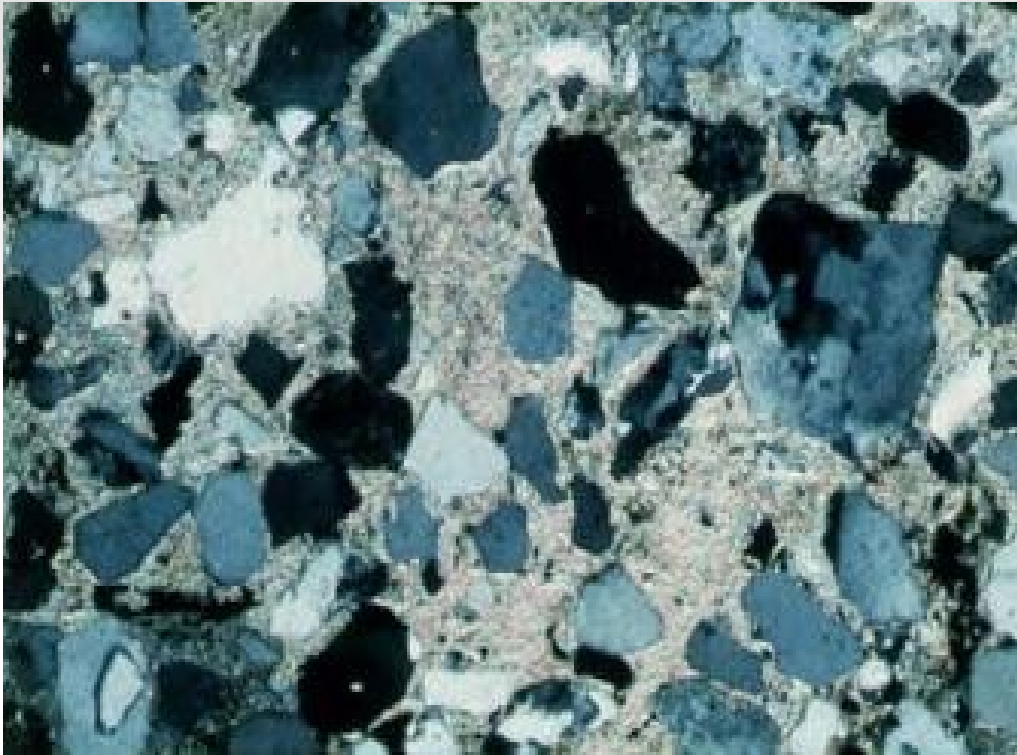


Arenito Jurássico-Mar do Norte.
Selley (2000)

Com a compactação, temos a dissolução dos grãos em contato e sua reprecipitação nos poros e eliminação destes.

Os tipos de contatos (tangencial, planar, côncavo-convexo e suturado) indicam o aumento de pressão (aumento da profundidade) e perda de porosidade e permeabilidade).

Cimento Carbonático - ocorre como cristais de calcita, dolomita e, mais raramente, siderita. Ocorre quando há percolação de fluidos básicos entre os poros.

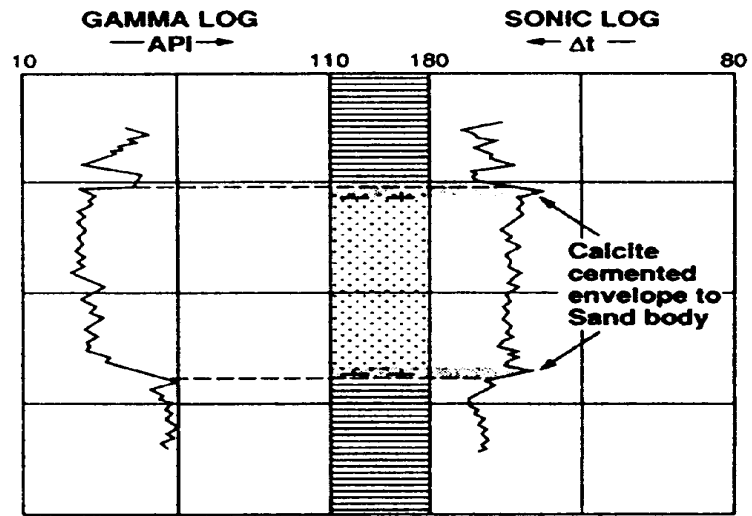


Na fig ao lado, há cimento de calcita englobando cristais de quartzo corroídos.

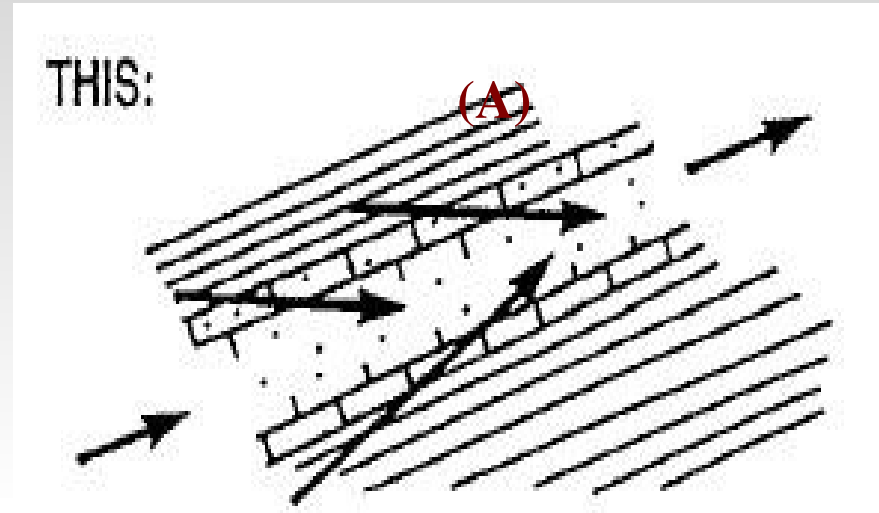
Fonte: Selley (1998)

Acredita-se que este tipo de cimento pode ser gerado também pela liberação de CO₂ na oxidação do petróleo por bactérias.

- geralmente ocorrem cimentos de quartzo e carbonato em arenitos adjacentes a folhelhos.
- Estes horizontes cimentados podem ser identificados em perfis geofísicos de poços.



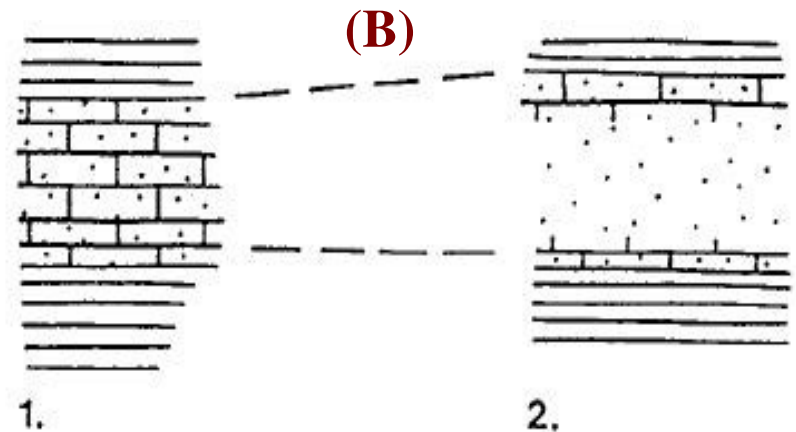
Velocity difference between tight & porous = 10m/s = 7.3% ϕ
A Gamma - Sonic Log.

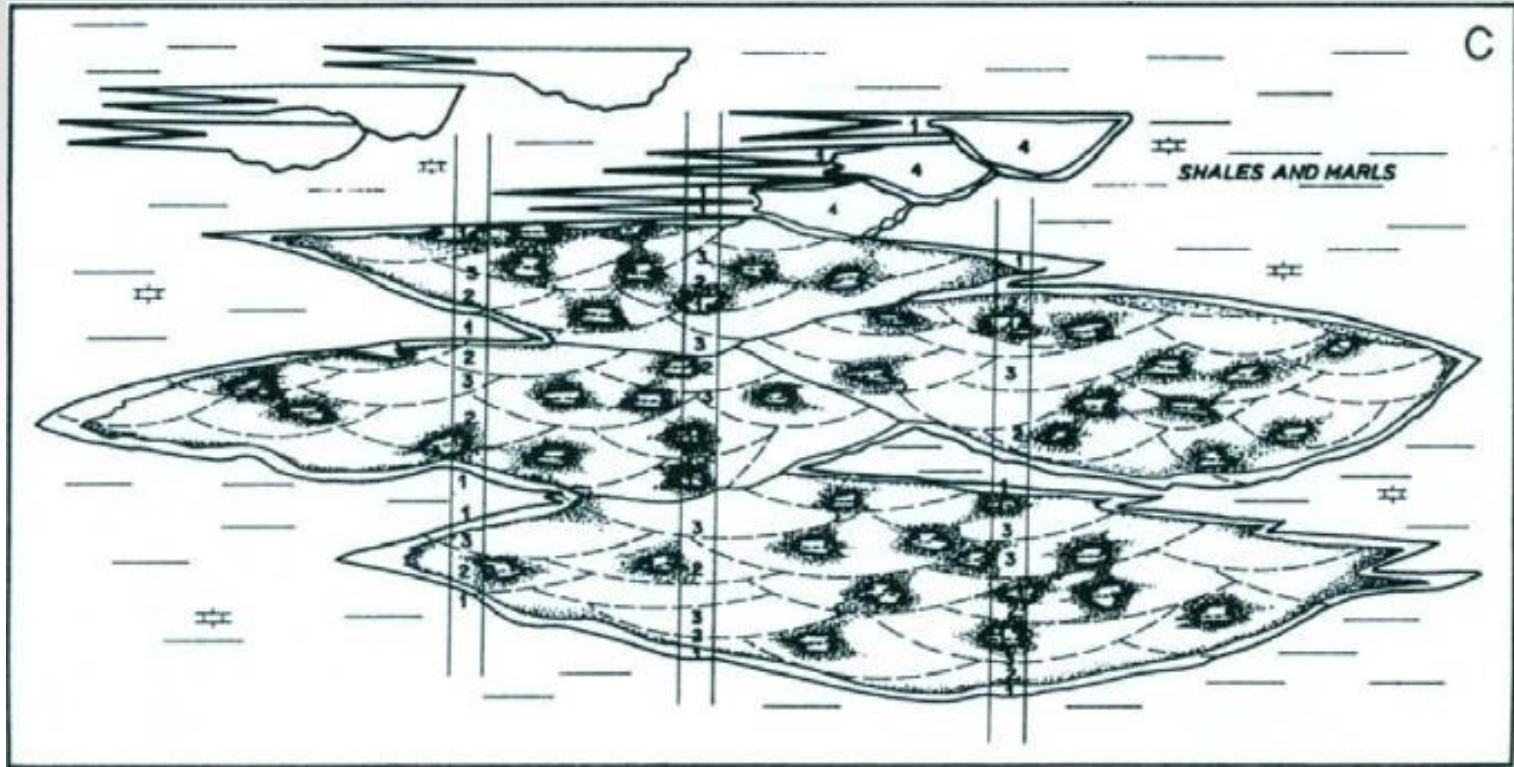


A cimentação pode ocorrer de 2 formas:

(A) resultante de precipitação de minerais como fluxo de águas conatas na areia de folhelhos compactados ou

(B) como resíduos deixados por frente diagenética de água conata ácida lixiviando a passagem através de um arenito cimentado anteriormente. (fonte: Selley, 1998)





Distribuição de intervalos cimentados nos turbiditos de offshore da Bacia de Campos
(Fonte: Selley, 1998)

PROCESSOS DE TRANSPORTE E ESTRUTURAS SEDIMENTARES

PROCESSOS DE TRANSPORTE E ESTRUTURAS SEDIMENTARES

1- Transporte de Partículas

2- Comportamento de partículas em fluidos

3- Formas de leitos e estruturas sedimentares

4- Ondas

5- Fluxos de massa

6- terminologia de estruturas sedimentares

1- TRANSPORTE DE PARTÍCULAS

Gravidade- Transporte sob ação da gravidade. Sedimentos são acumulados próximos à fonte. Ex: depósitos de Tálus.

Água- Mecanismo de transporte mais importante.

- Fluxos de águas em continentes: canais de rios e overland
- Correntes marinhas (dirigidas por ventos, marés e circulação oceanos).
- Transporte pode ser até milhares de km até ser depositado.

Ar- Transporte de poeiras (siltes) e areias.

Gelo- Compõe um fluido de alta viscosidade que é capaz de transportar grandes quantidades de detritos (de granulometrias finas a grossas).

***Debris-flow* (Fluxo de lama ou detrito)-** Mistura de sedimentos densos (em grande concentração) e água. Podem transportar sedimentos em ambientes subaéreos e subaquosos (Água + Gravidade).

2- COMPORTAMENTO DE PARTÍCULAS EM FLUIDOS

Dinâmica de Fluidos- Compõe a base para a compreensão do transporte de sedimento e a formação das estruturas sedimentares.

2.1- Fluxo turbulento e laminar

2.2 – Transporte de partícula em um fluxo

2.3 – Densidade de fluxo e tamanho de partículas

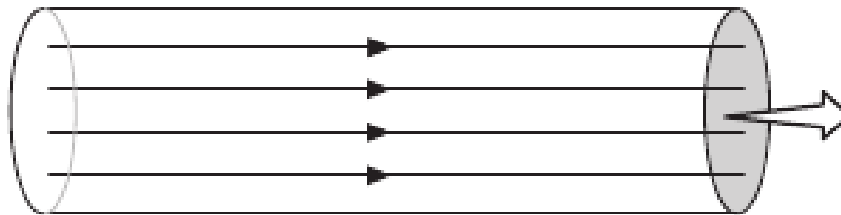
2.1- Fluxo Laminar e Turbulento

- Existem 2 tipos de fluxos de fluidos:

A) Fluxo laminar- todas as partículas de um fluido movem-se paralelos entre si, na direção do transporte.

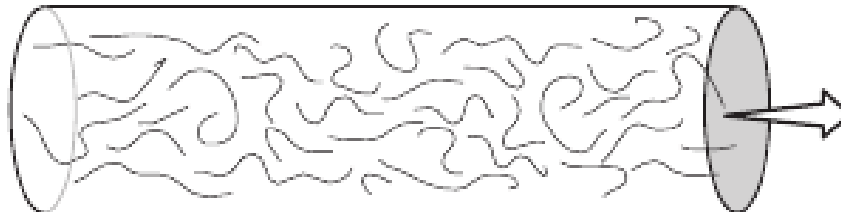
B) Fluxo turbulento- as partículas se movem em todas as direções, mas com um movimento médio na direção do fluxo. Fluidos heterogêneos são misturados no fluxo turbulento.

Laminar flow



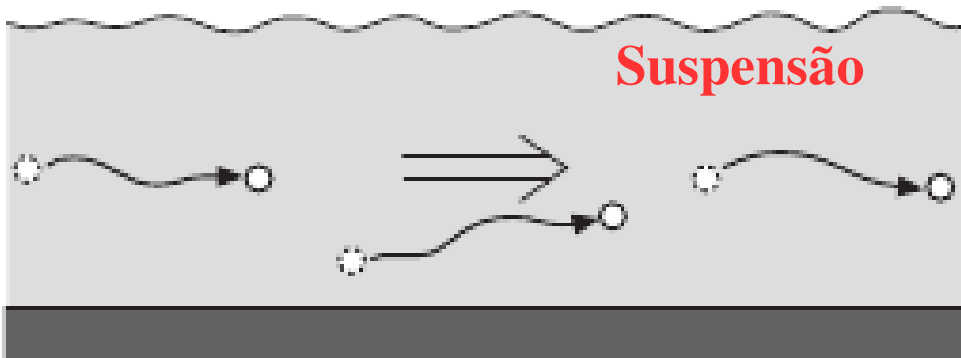
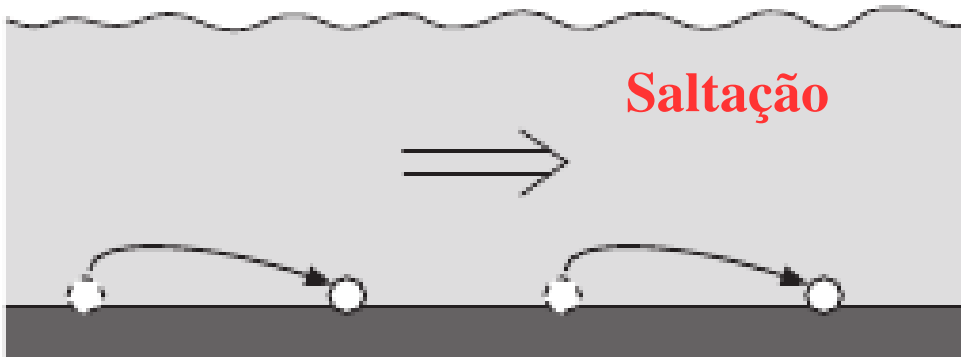
At all points in the flow all molecules are moving downstream

Turbulent flow



At any point in the flow a molecule may be moving in any direction, but the net flow is downstream

2.2- Transporte de partículas em um Fluxo



Rolling

Cargas de Fundo
(*bedload*)

Bedload

Saltation

Cargas em Suspensão
(*suspended load*)

Suspension

Suspended
load

Transporte de partículas em um Fluxo

- Mecanismos de Transporte:

A) Arrasto e Rolamento- os clastos se movem ao fundo de um fluxo de ar ou água, sem perder contato com a superfície.

B) Saltação- as partículas se movem por saltos, saindo da superfície, carregadas a curtas distâncias dentro do corpo do fluido, antes de retornar à superfície da camada.

Partículas que se movem pelos mecanismos A e B são denominadas **Cargas de Fundo** (*bedload*).

C) Suspensão- turbulência em um fluxo produz a suspensão de partículas.

Estas partículas são chamadas de **Cargas em Suspensão** (*suspended load*).

Íons dissolvidos em fluxo são denominados **Cargas em Solução**.

Transporte de partículas em um Fluxo

Aumento progressivo da velocidade de fluxo em meio subaquático:

- a) Em fluxos com correntes de baixa velocidade, partículas finas e de baixa densidade (ex: **argila e silte**) são colocadas em suspensão.
- b) Partículas na **fração areia** movem-se por rolamento e saltação.
- c) Altas taxas de fluxo colocam em suspensão todo silte e alguma areia, com rolamento de grânulos e seixos pequenos e saltação de fragmentos mais grossos.

Em meio subaéreo:

- Em ambientes subaéreos, uma maior velocidade do fluxo é exigida para transportar estas partículas mais grossas.
- Predomina saltação da fração areia e suspensão (no ar) da fração silte e argila.

2.3- A densidade de fluxo e o tamanho de partículas

Lei de Stokes:

- A ação da força em um grão é função da viscosidade e densidade de um fluxo, além da massa da partícula.
- Ex: uma partícula desce mais rápida pelo ar do que se decantada em água (devido à viscosidade da água).
- Quanto menor a massa da partícula, maior o efeito da força de resistência sobre ela. Assim, grãos maiores (ou mais densos) decantam mais rápido no meio aquoso.

A densidade de fluxo e o tamanho de partículas

Lei de Stokes:

- A viscosidade do fluido influencia grandemente no transporte e deposição de partículas maiores, pois fluidos com alta viscosidade (como *debris flow* e gelo) conseguem transportar matacões, por longas distâncias, como dezenas de metros de distância.

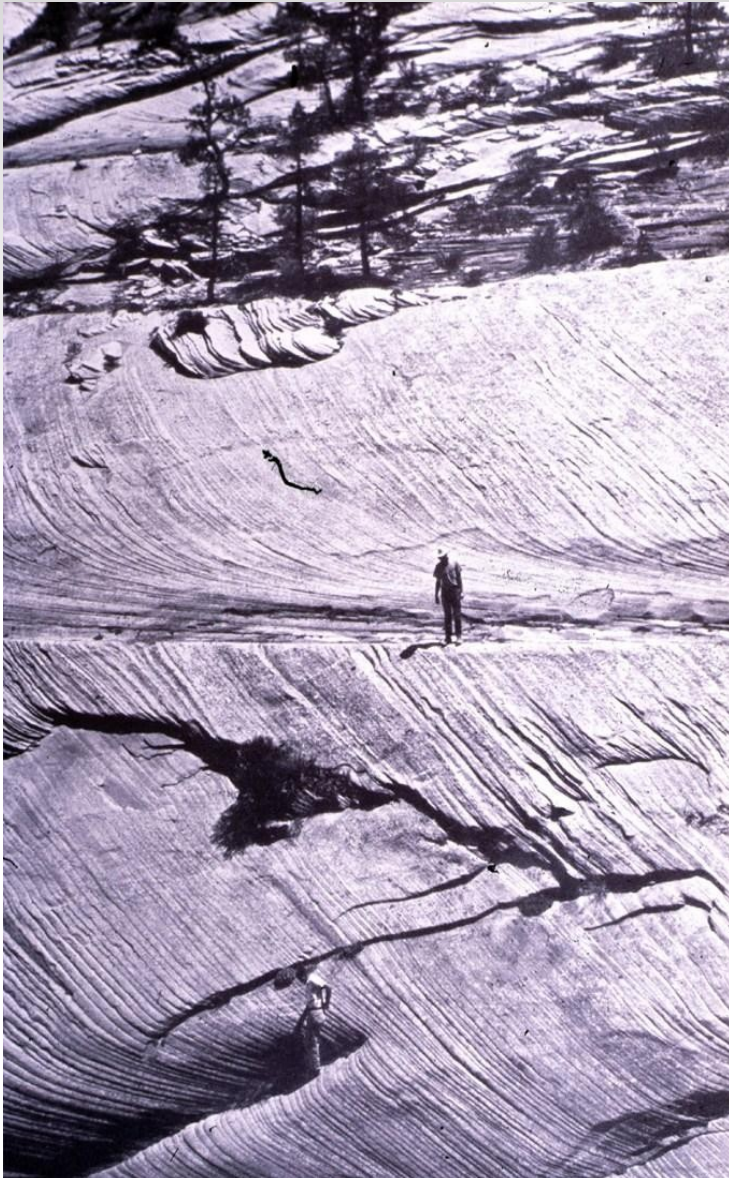
3- FORMAS DE LEITOS E ESTRUTURAS SEDIMENTARES

- **Forma de Leito** é uma feição morfológica gerada pela interação entre um fluxo e sedimentos sem coesão, em um leito. A migração da forma de leito gera estruturas denominadas **Estruturas Sedimentares**.

Ex. de estruturas sedimentares: *ripples* (ondulações) em areia e dunas de areias (geradas de fluxos subaéreos e subaquosos).

- As estruturas sedimentares fornecem informações sobre a força da corrente, a profundidade do fluxo, direção do transporte, etc.

Ambiente Subaéreo **Deserto**

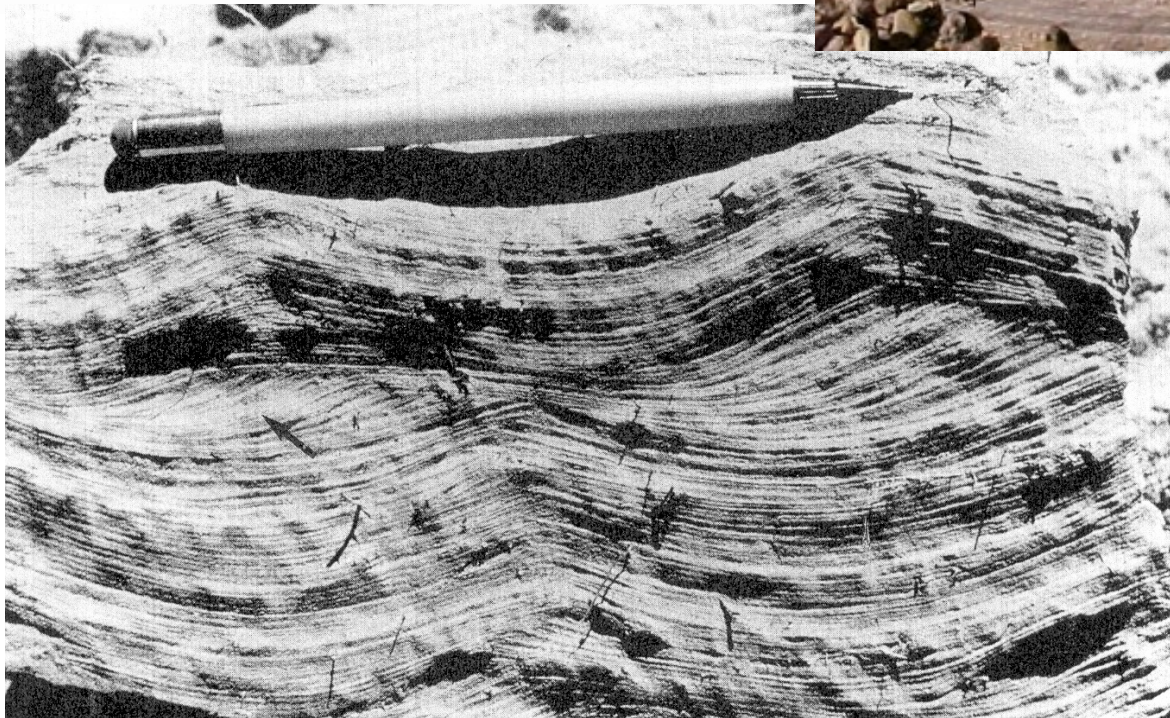


Forma de leito em duna eólica

Fonte : Posamentier and Walker (2006)

Estratificações cruzadas em
Areias de granulação média
(eólico)

Arenito fino com forma de leito preservada (em marca ondulada) e laminação cruzada interna



3.1 - Formas de leitos comuns

A) Marcas onduladas, podem ser geradas por:

Por corrente

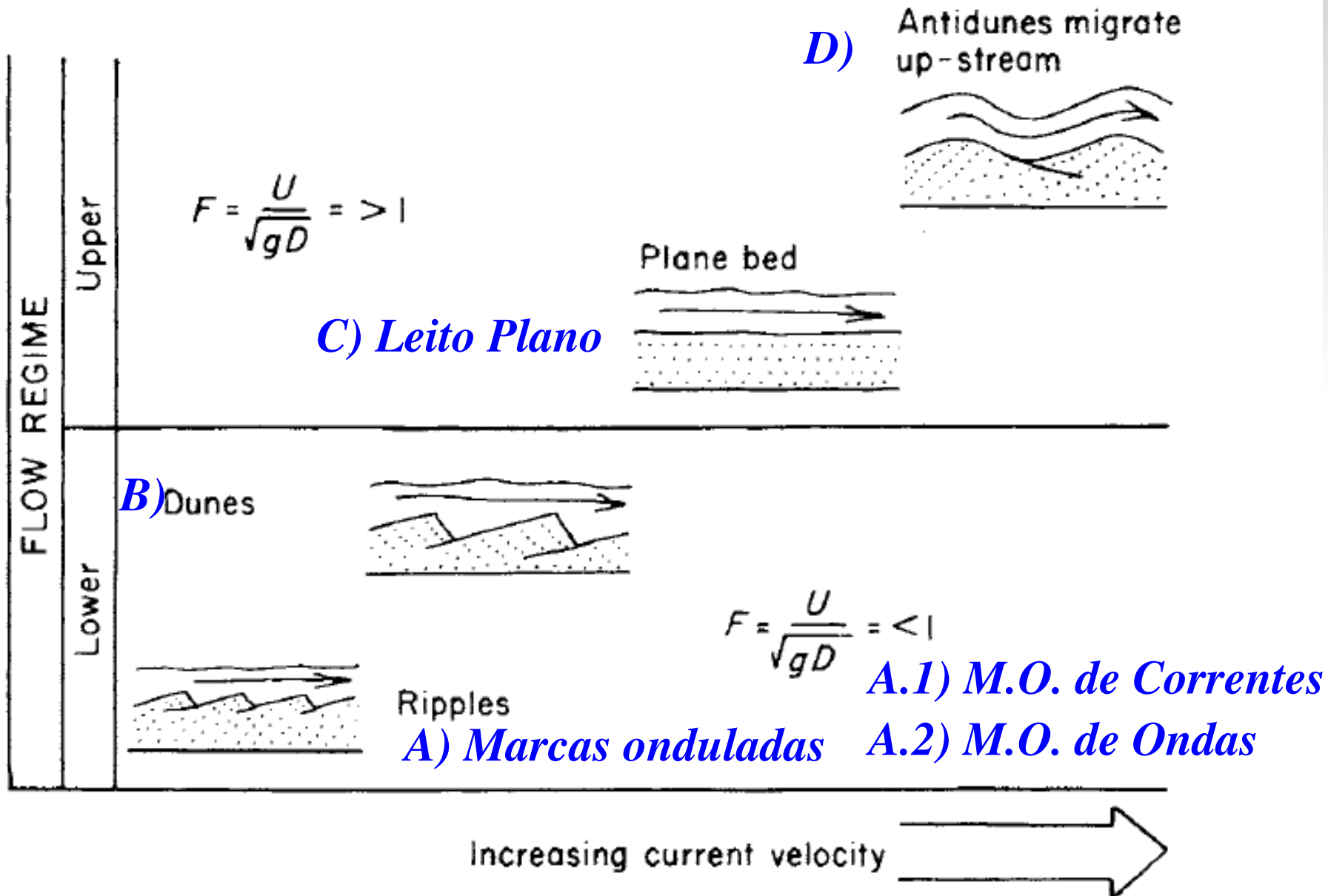
Por ondas

B) Dunas subaquáticas e subaéreas

C) Leito plano

D) Antidunas

O Regime de Fluxo X a Velocidade da Corrente: Geram FORMAS DE LEITOS



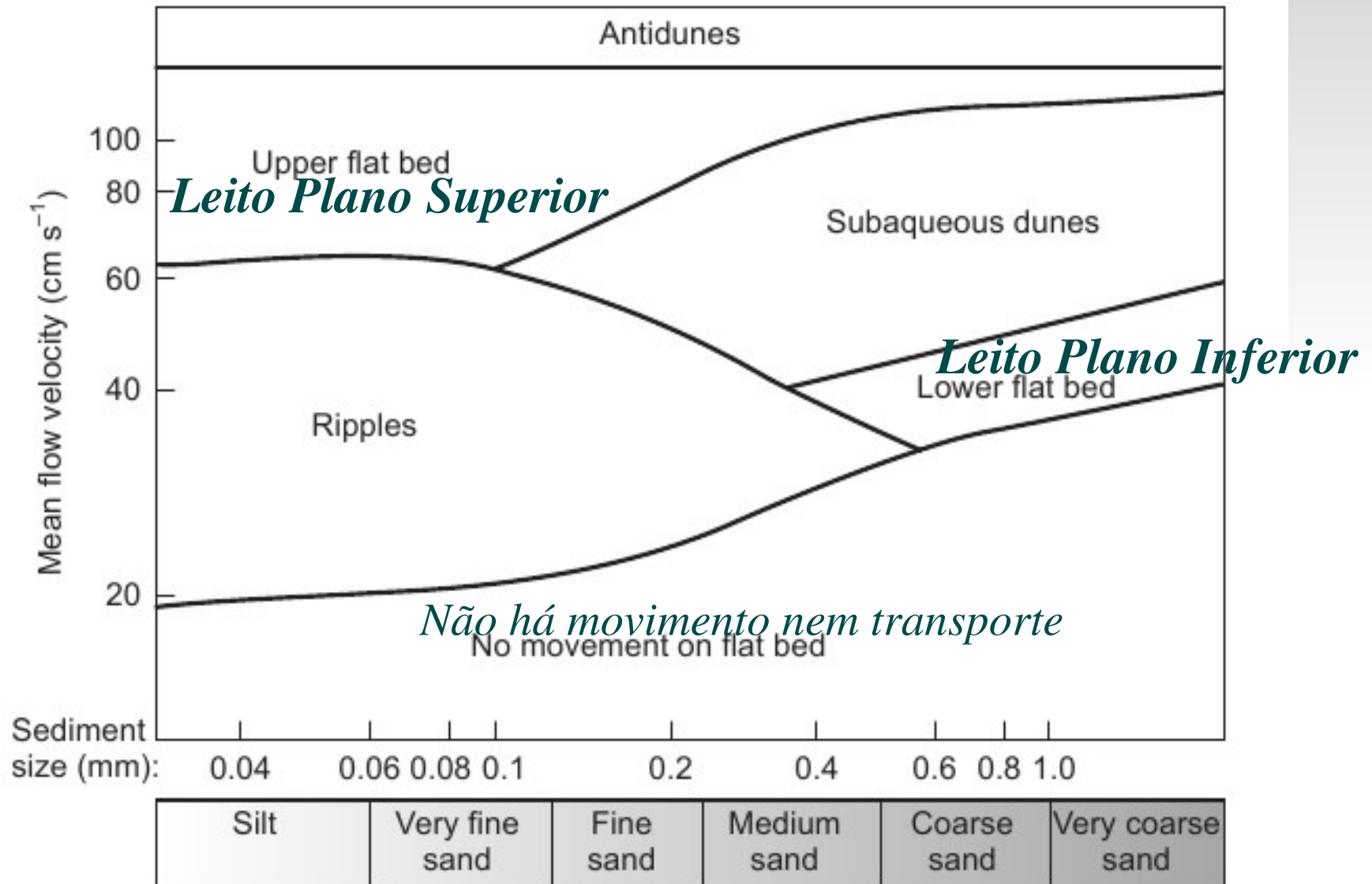
Regime de Fluxo Inferior:

- *Grande resistência ao fluxo*
- *Pequeno transporte de sedimentos*
- *Ondulações da superfície da água estão fora de fase com as ondulações do leito*

Regime de Fluxo Superior:

- *Pouca resistência ao fluxo*
- *Grande transporte de sedimentos*
- *Ondulações da superfície da água estão em fase com as ondulações do leito*

*O tipo de Forma de Leito também depende:
Velocidade do Fluxo X Granulometria do Sedimento*



A velocidade de fluxo no transporte do grão

- A velocidade do fluido que transporta a partícula é chamada de **Velocidade Crítica**.

- Se considerarmos as forças que agem sobre as partículas, teremos uma relação simples entre a massa da partícula e a velocidade crítica.

Ex: a força necessária para arrastar uma partícula em um fluxo irá aumentar com a massa.

- No entanto, podemos aplicar isso somente para areia e cascalho.

- As argilas possuem propriedades coesivas, o que faz com que partículas de granulação fina necessitam de velocidades maiores para serem re-erodidas, desde que estejam depositadas e, principalmente, compactadas.

Diagrama de Hjulstrom: relação entre velocidade de um fluxo de água e o transporte de grãos soltos. Ex: podemos depositar argila e areia em um ambiente onde o fluxo é intermitente, como em ambientes de maré.

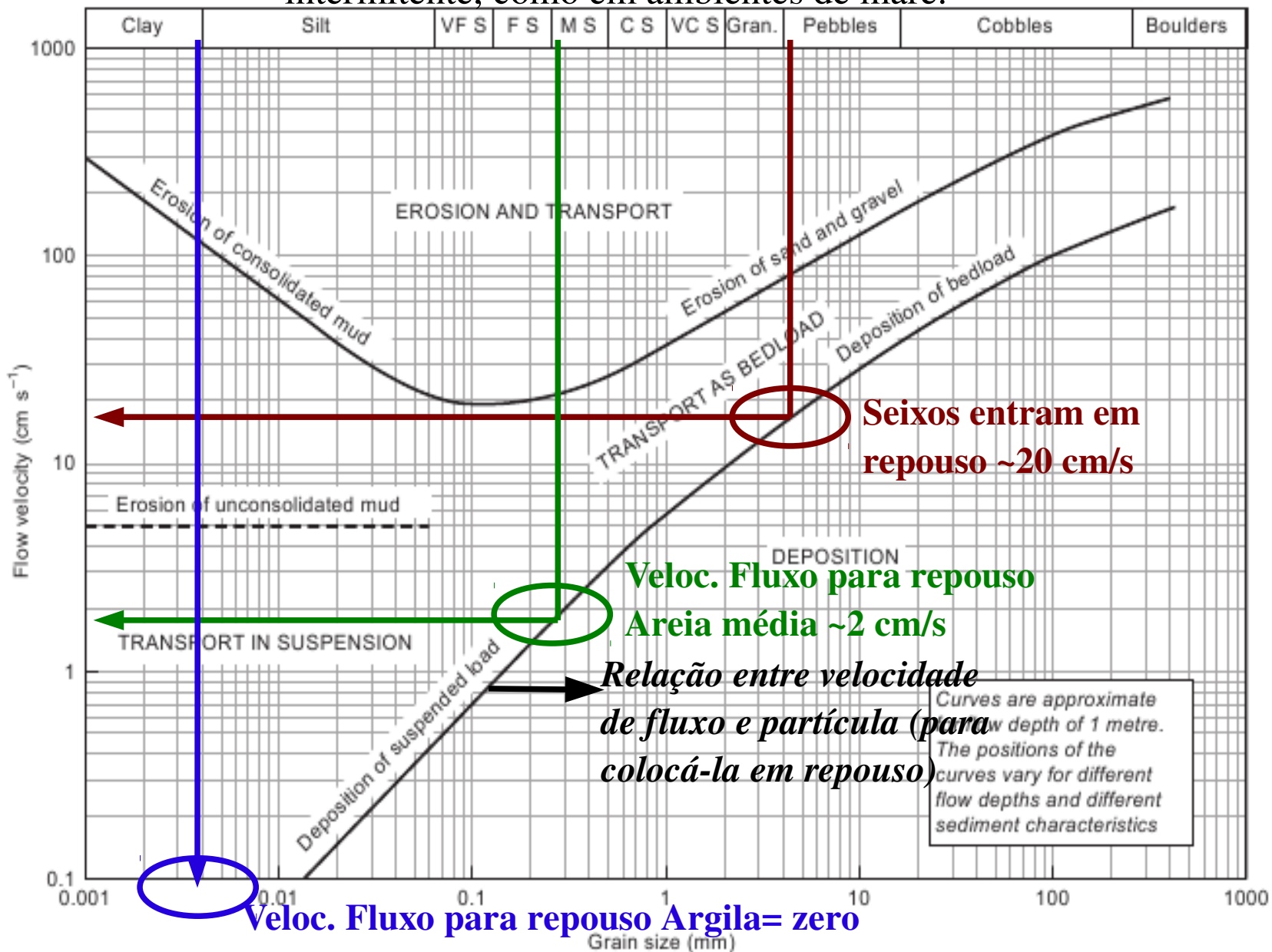
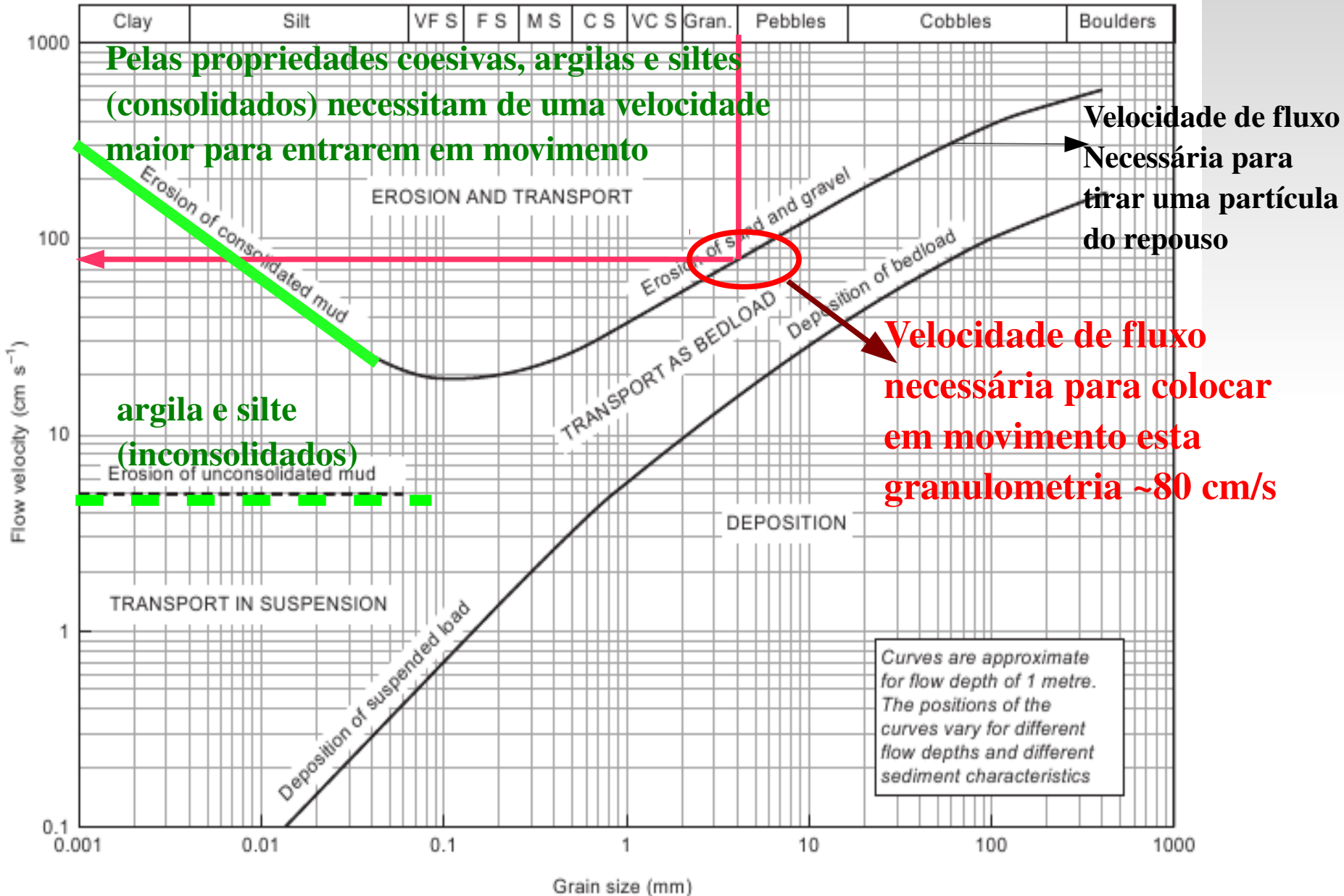
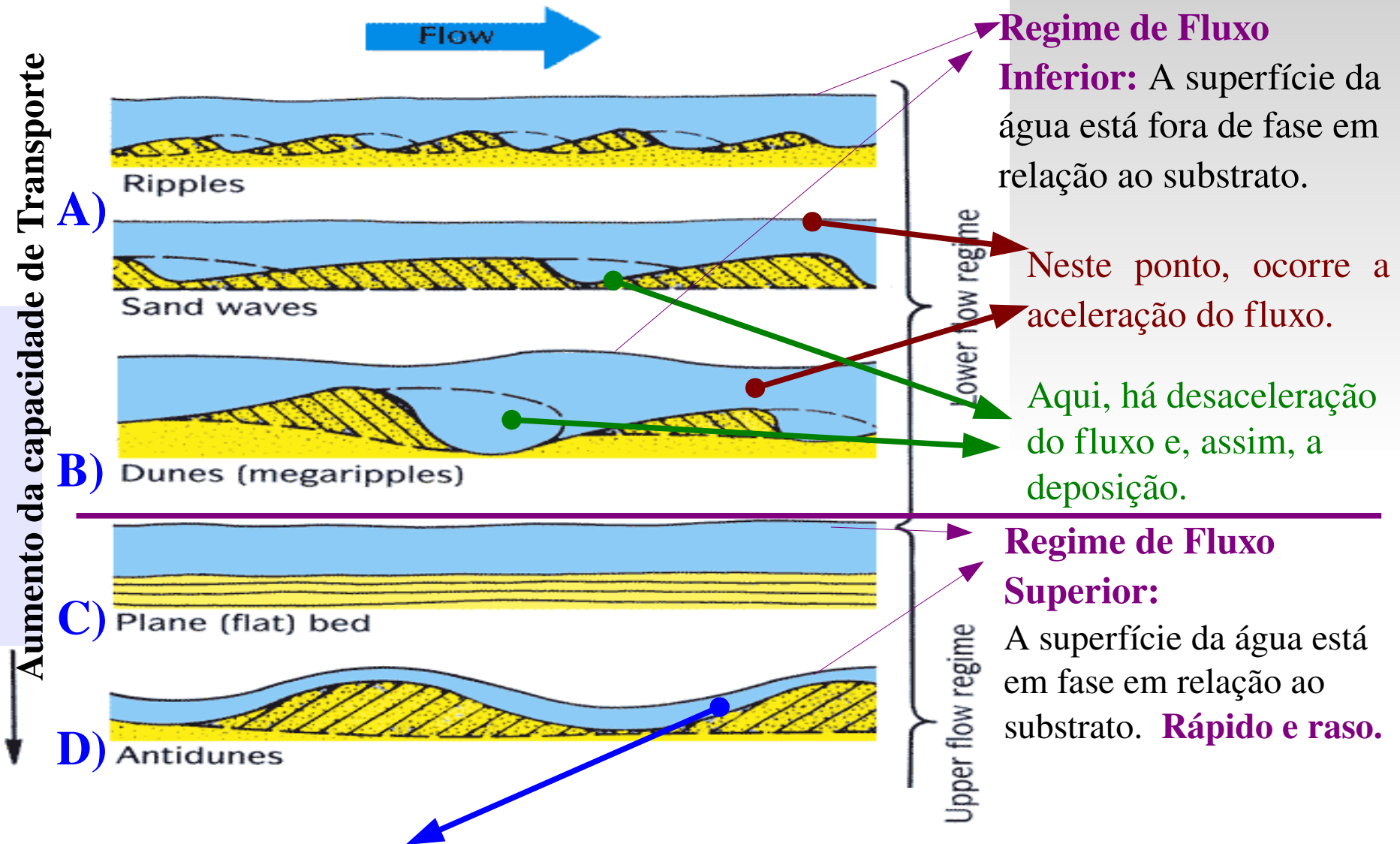


Diagrama de Hjulstrom: relação entre velocidade de um fluxo de água e o transporte de grãos (de diversas granulometrias)



A Velocidade e Espessura do fluxo é quem controla o tipo da forma de leito



Regime de Fluxo Inferior: A superfície da água está fora de fase em relação ao substrato.

Neste ponto, ocorre a aceleração do fluxo.

Aqui, há desaceleração do fluxo e, assim, a deposição.

Regime de Fluxo Superior: A superfície da água está em fase em relação ao substrato. **Rápido e raso.**

Neste ponto há a desaceleração do fluxo e, assim, a deposição em sentido contrário ao do fluxo.

3.2- Migração de formas de leito e formação de estruturas sedimentares

Estruturas sedimentares formadas por migração de formas de leito

A- Marcas onduladas (corrente e onda), podem gerar estruturas de:

- **Laminação cruzada**
- **Laminação cruzada cavalgante**

B- Dunas subaquáticas e eólicas, podem gerar:

- **estratificação cruzada Acanalada**
- **estratificação cruzada Tabular**

C- Leito plano, pode gerar:

- **Laminação planar**

D- Antidunas, podem gerar:

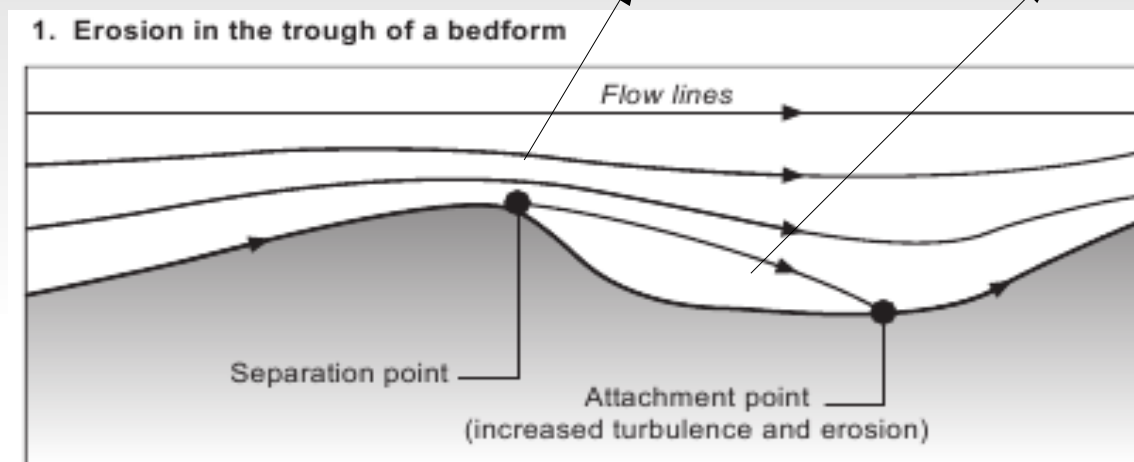
- **Camadas pareadas**

A) *Marcas Onduladas de Corrente* - *Current mark ripples*

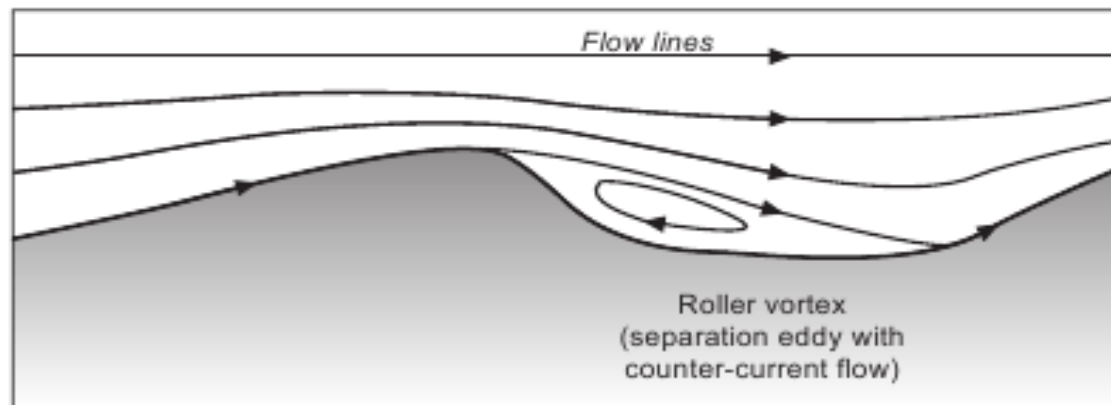
- Fluxos podem ser visualizados através de linhas imaginárias de direção de fluido. Em superfícies irregulares, teremos velocidades diferentes:

Região de maior velocidade

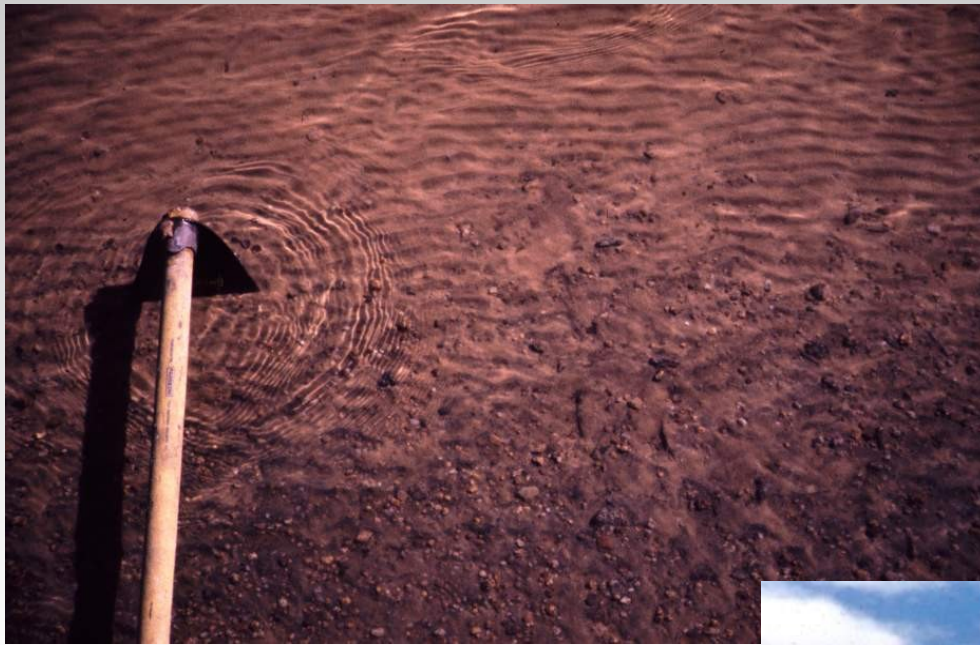
Região de menor velocidade



2. Development of counter-currents in lee of bedform



Ondulações Subaquáticas



Ondulações Subaéreas



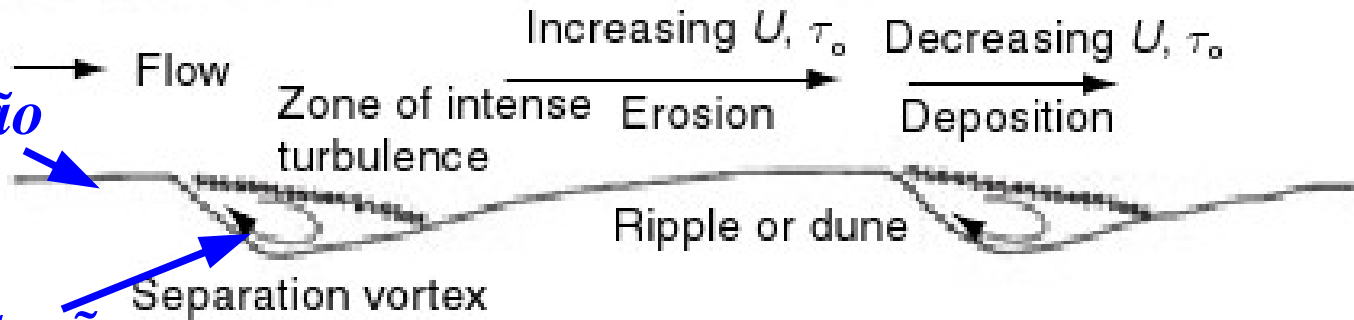
***Ondulações-** termo utilizado para rochas inconsolidadas*

***Marcas Onduladas-** termo utilizado para rochas consolidadas*

Marcas onduladas e laminação cruzada

A

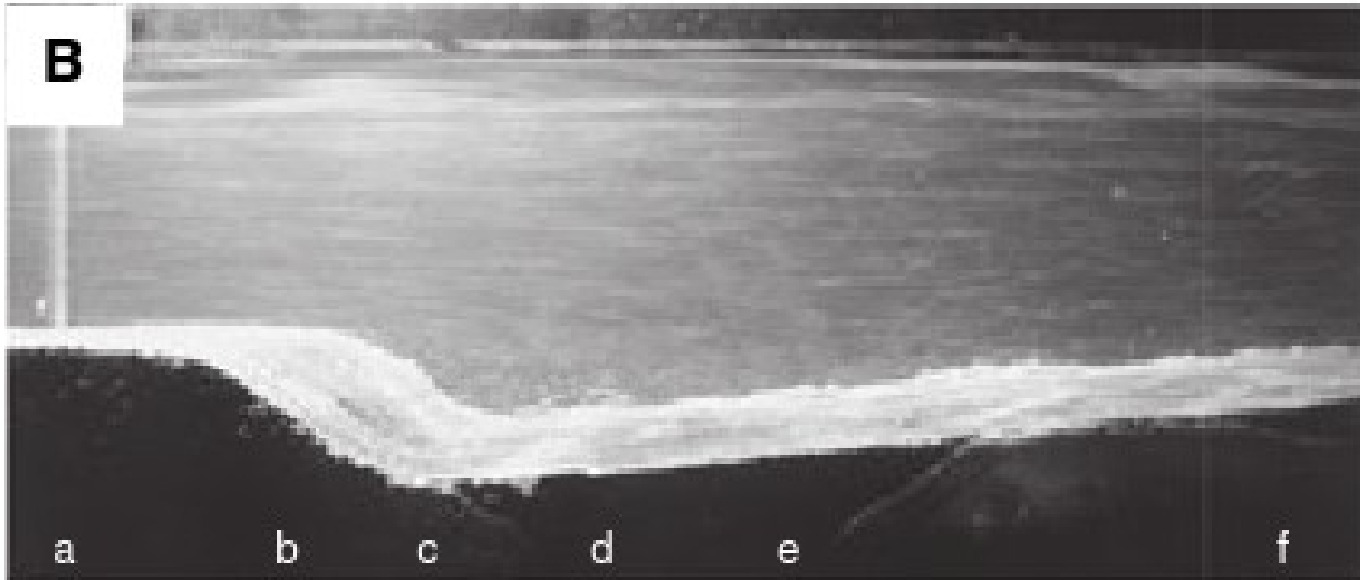
Water surface

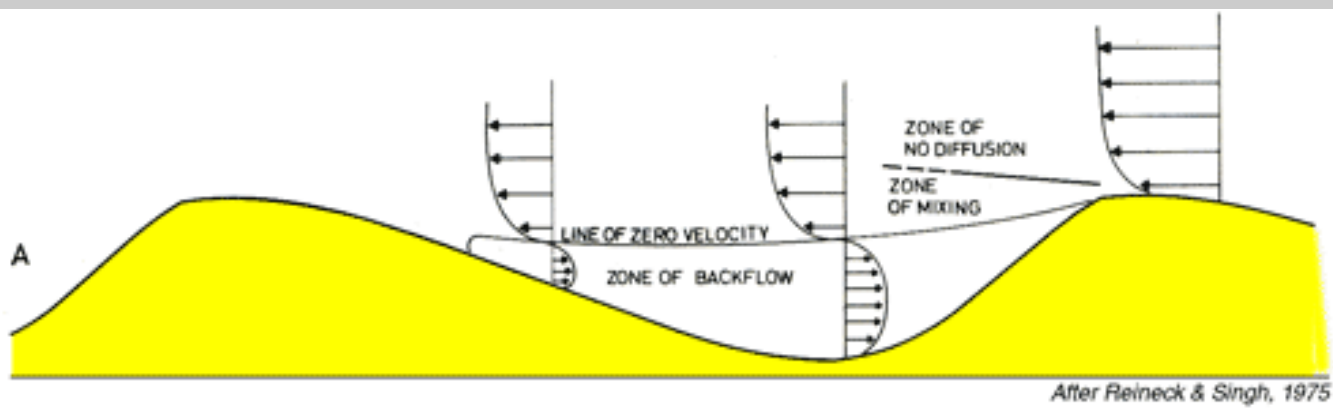


Saltação

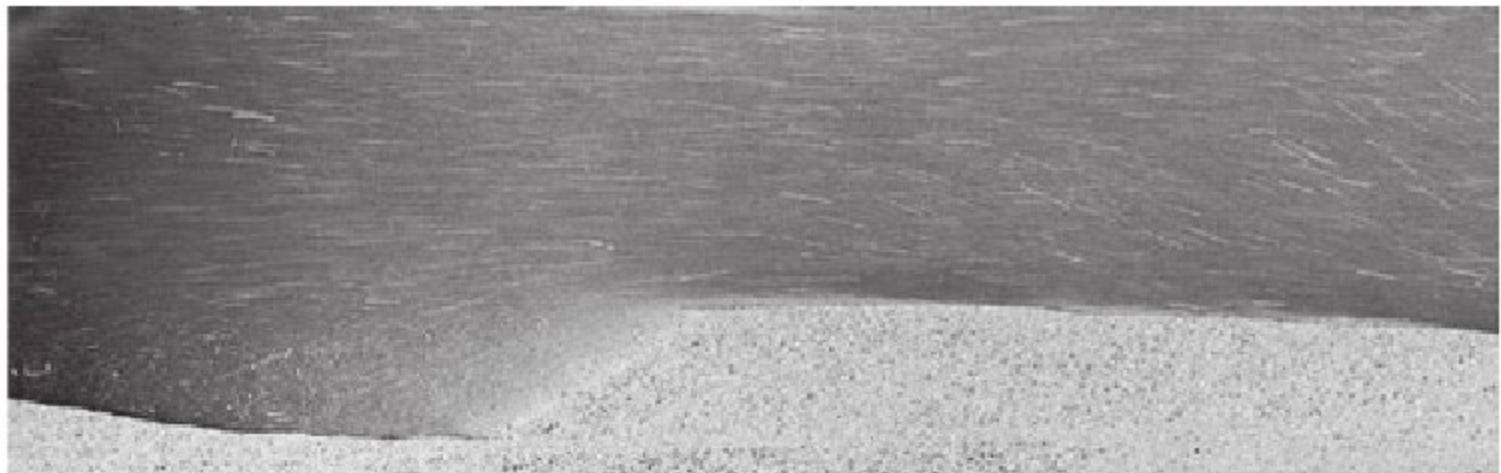
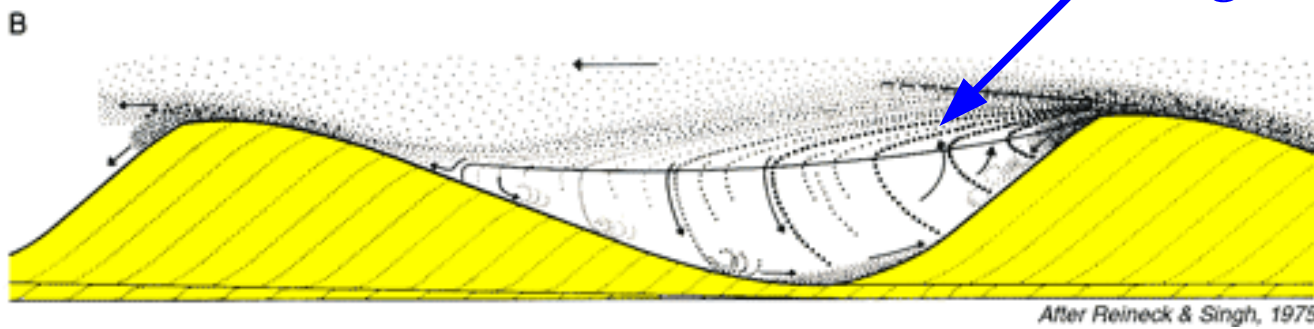
Decantação

B





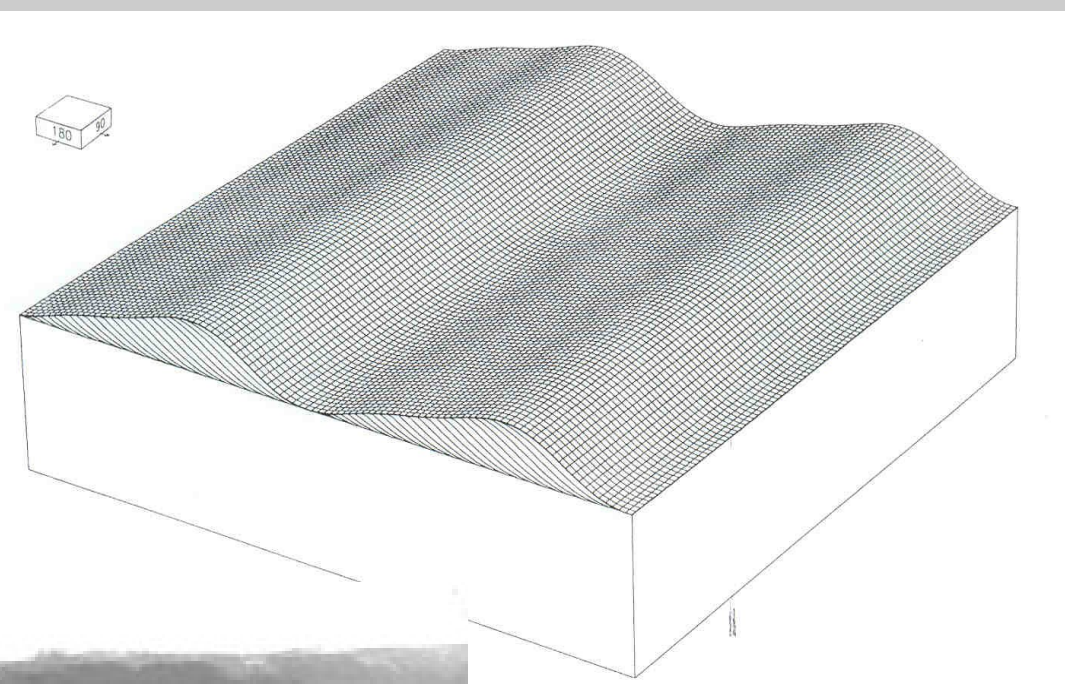
Trajetória dos grãos



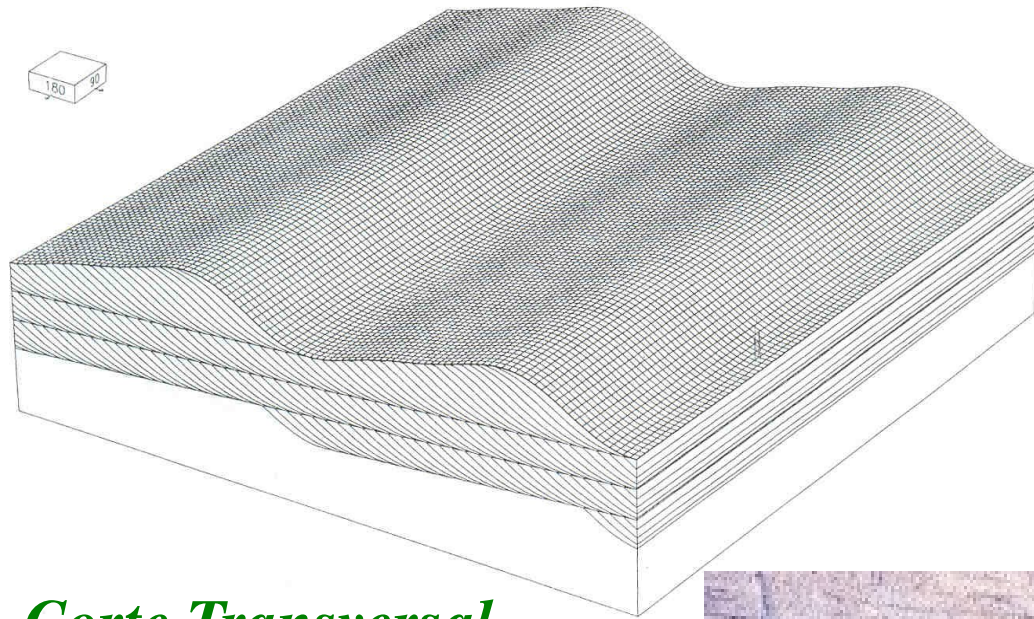
Marca Ondulada (ou Ondulações) de Corrente

Geram cristas curtas e sinuosas.

O exemplo abaixo corresponde a ondulações de corrente (em sedimento inconsolidado) sobre forma de leito de duna, de ambiente de estuário



Superfície da camada

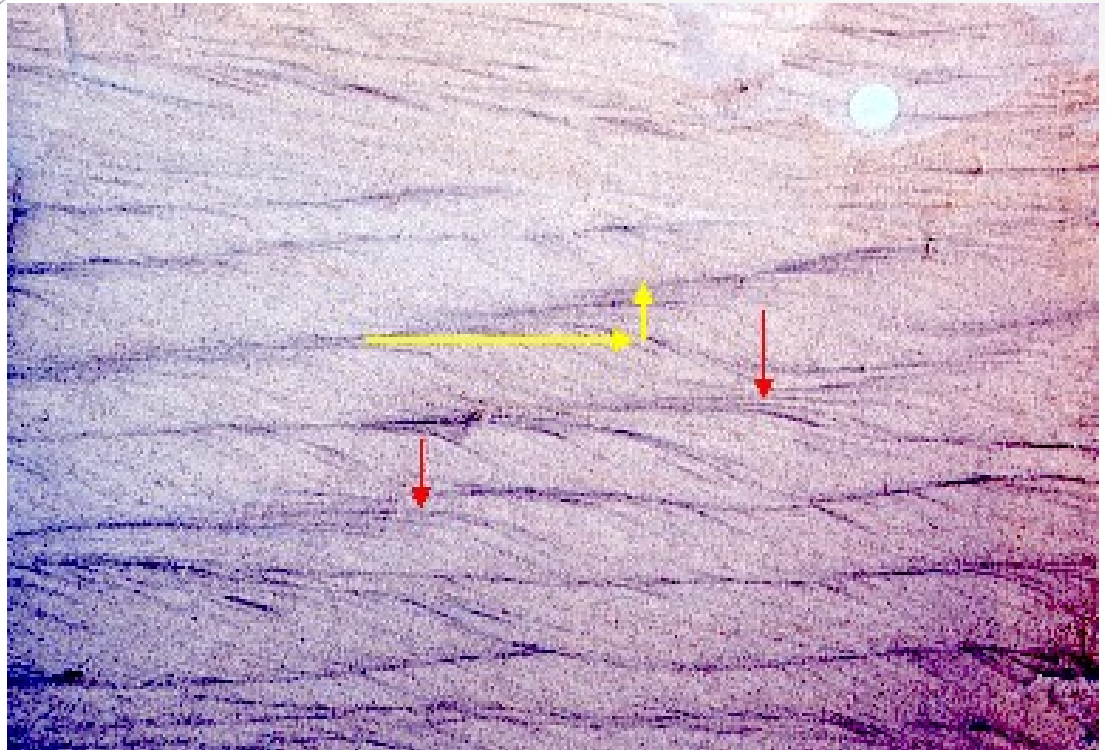
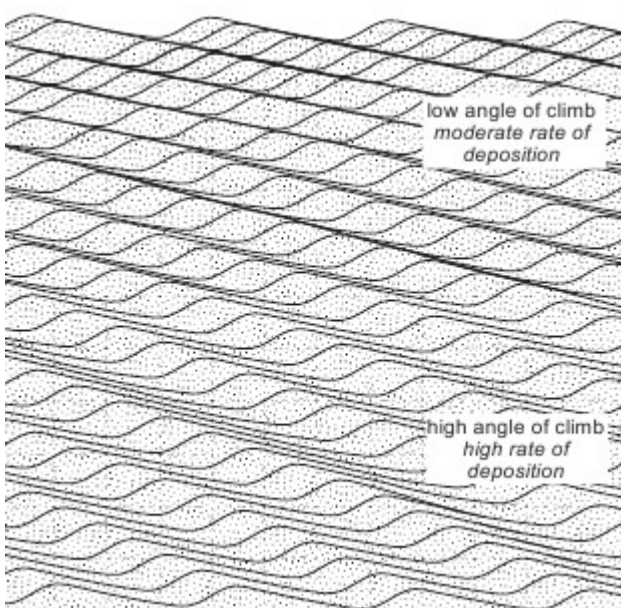


Geração de laminação cruzada por migração de Marca Ondulada de Corrente

Geram marcas onduladas assimétricas e a direção das laminações ocorrem somente em 1 direção, indicando a direção do fluxo.

Corte Transversal

Fonte: Nichols (2009)



Fonte: Posamentier and Walker (2006)

B) Dunas

- Camadas de areias em rios, estuários, praias e ambientes marinhos também possuem formas de leitos, bem maiores que as ripples.
- Estas grandes formas são chamadas de **dunas** (ou às vezes **mega-ripples**).



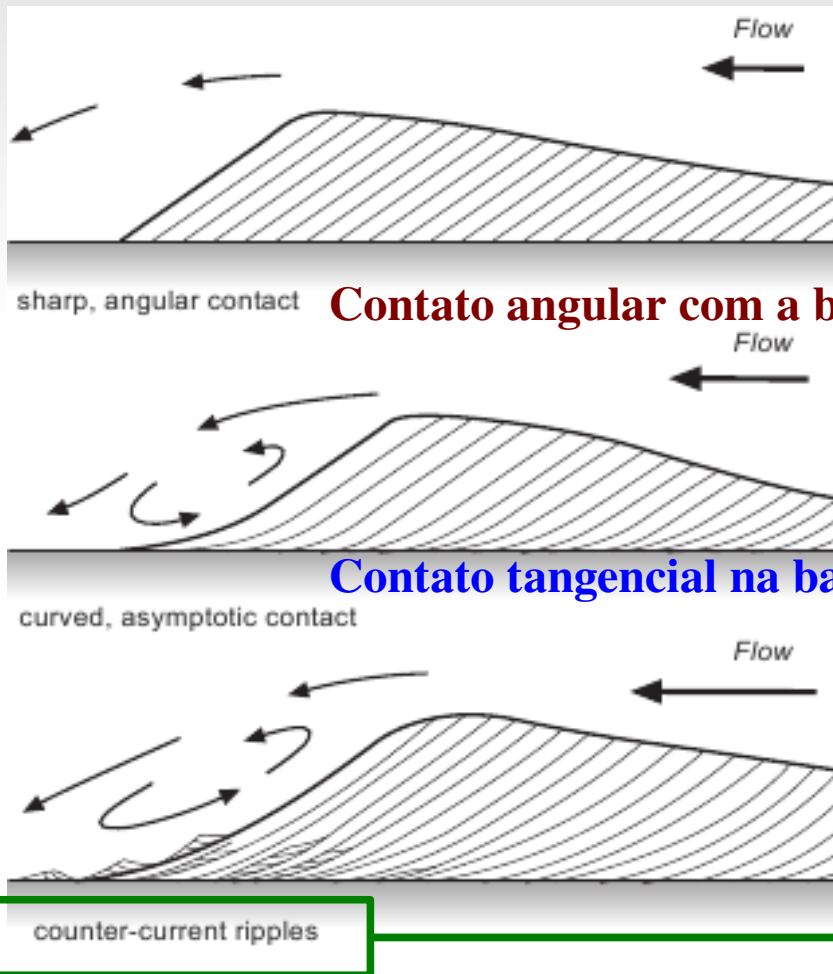
Fonte: Nichols (2009)

Dunas Subaéreas



B.1) Dunas e estratificações Cruzadas

- A migração de dunas subaquáticas resulta na construção de uma sucessão de estratos inclinados formados pela avalanche no flanco jusante, chamadas de **estratificações cruzadas**.

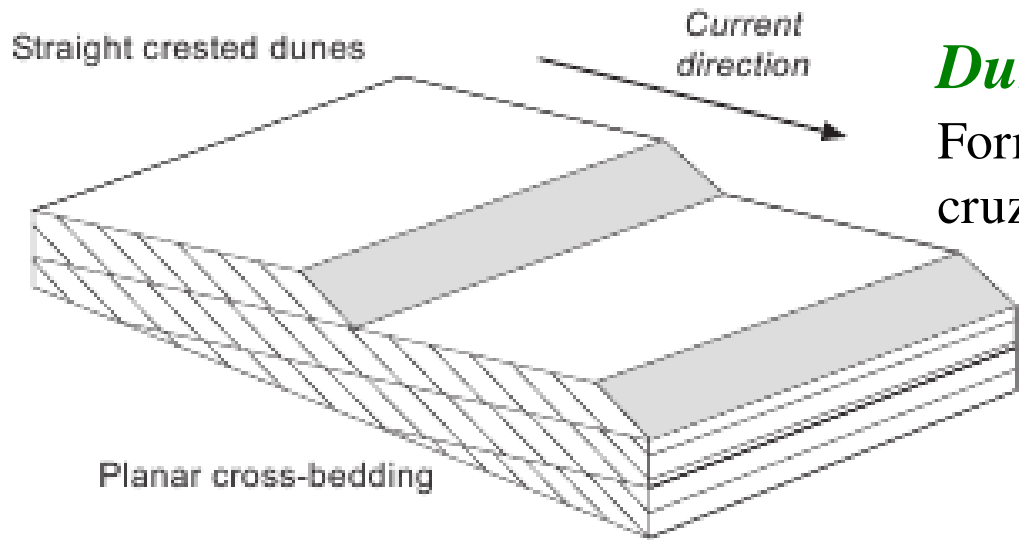


- Os padrões dos estratos cruzados são determinados pela forma das formas de leito.

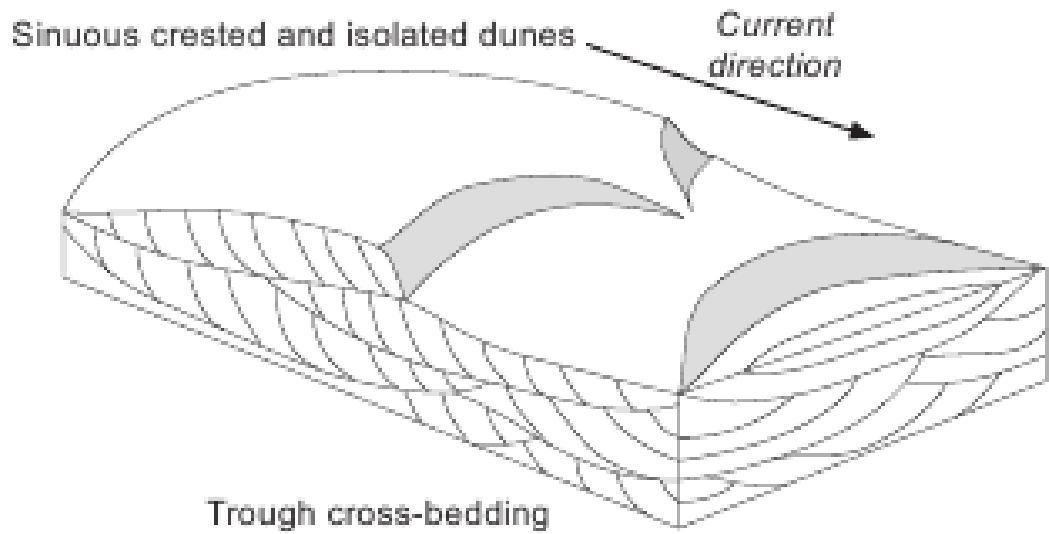
↳ Geralmente formado em fluxos de baixa velocidade

↳ Geralmente formado em fluxos de alta velocidade, que erodem e ondulam a superfície, fazendo com que as cristas das dunas sejam sinuosas

↳ Em fluxos de alta velocidade o redemoinho da zona de separação é bem desenvolvido, criando a ondulações de fluxo contrário ao principal na base da face jusante



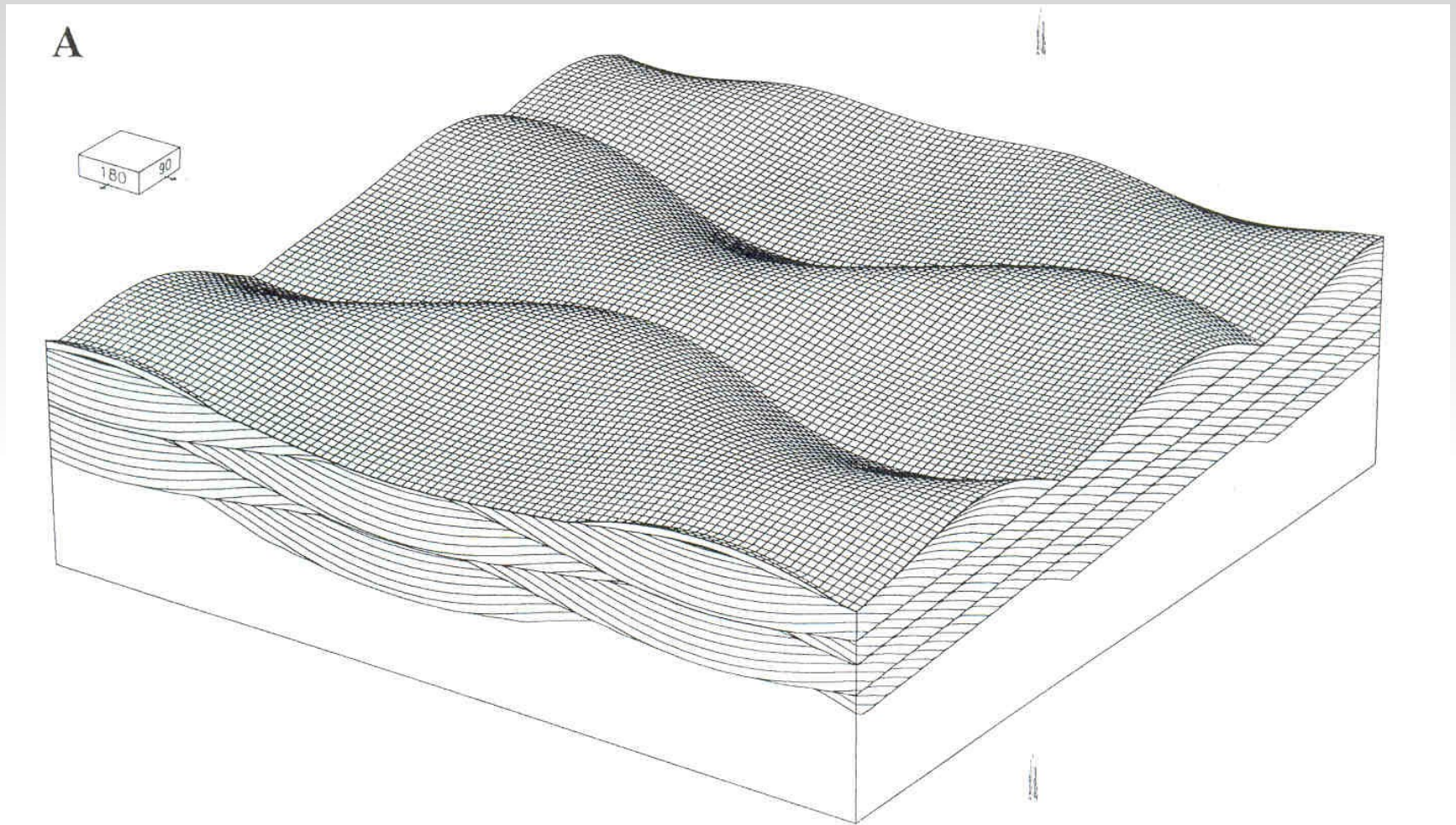
Dunas de cristas retas:
Formação de estratificação cruzada tabular



Dunas de cristas sinuosas (dunas linguóides):
Formação de estratificação cruzada acanalada

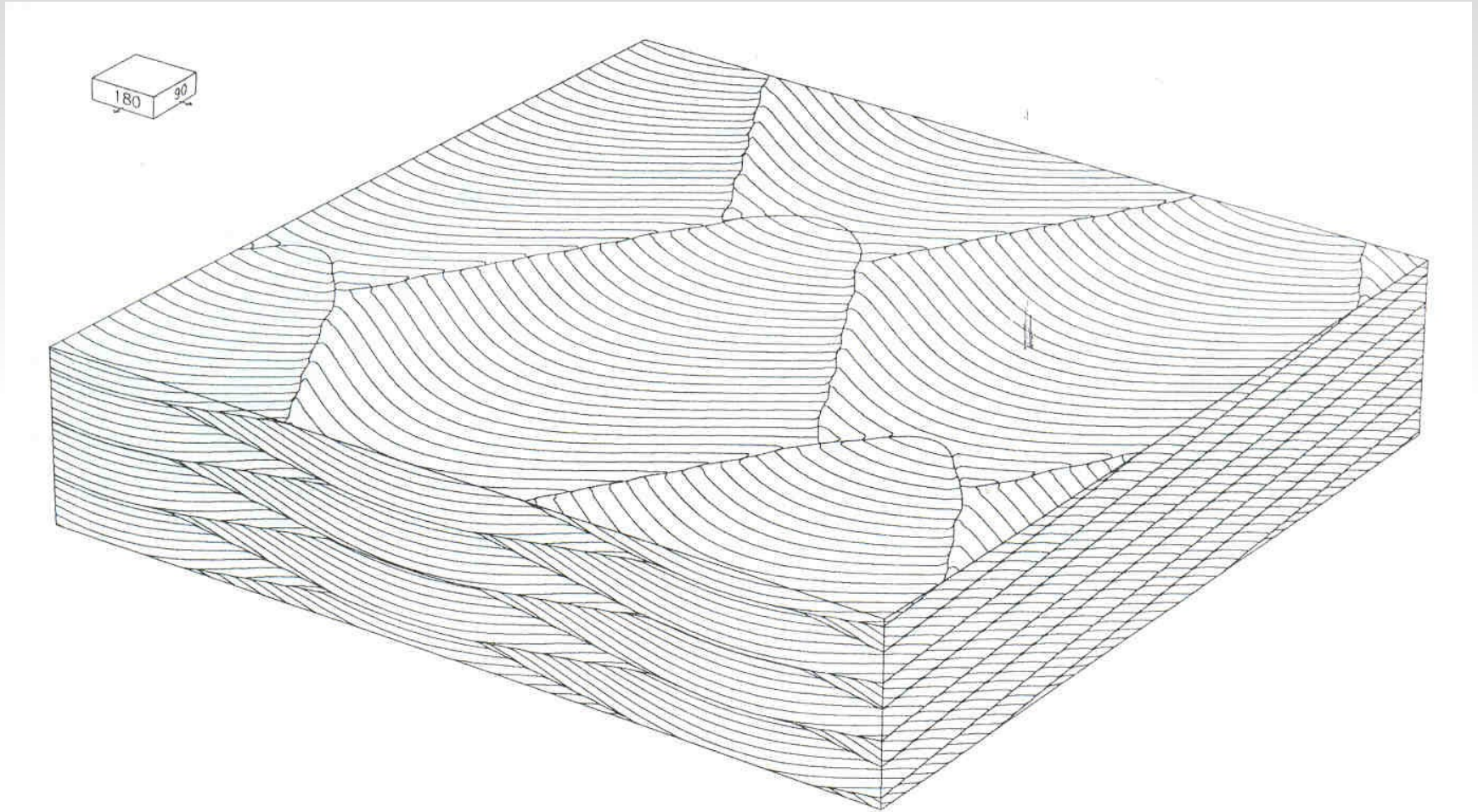
OBS: os mesmos padrões de geração de estratificações cruzadas planares (para cristas retas) e acanaladas (para cristas linguóides) são observados em migração de marcas onduladas de correntes, nas laminações cruzadas.

Dunas de crestas sinuosas (dunas linguóides)

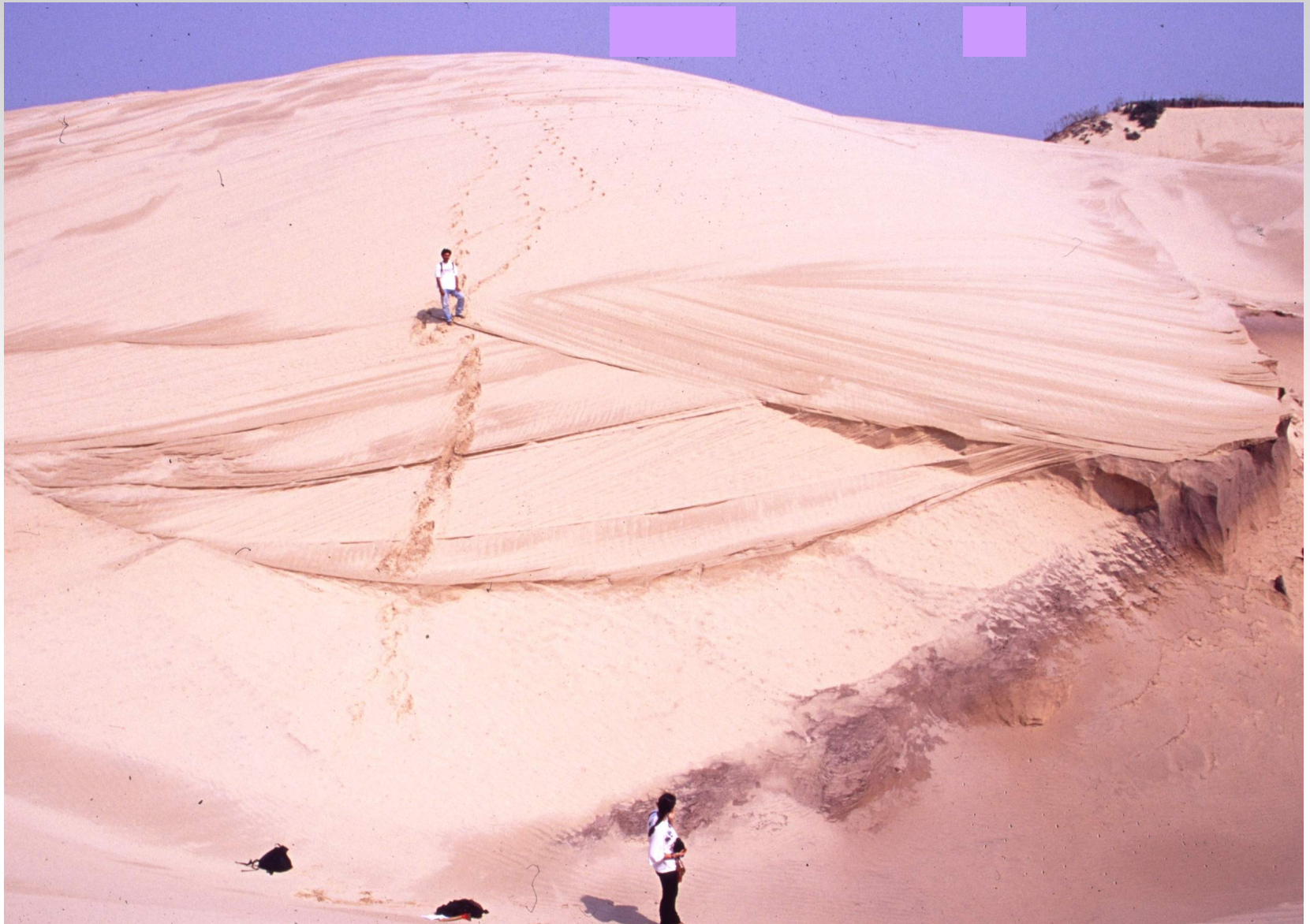


Dunas de cristas sinuosas (dunas linguóides):

Formação de estratificação cruzada acanalada



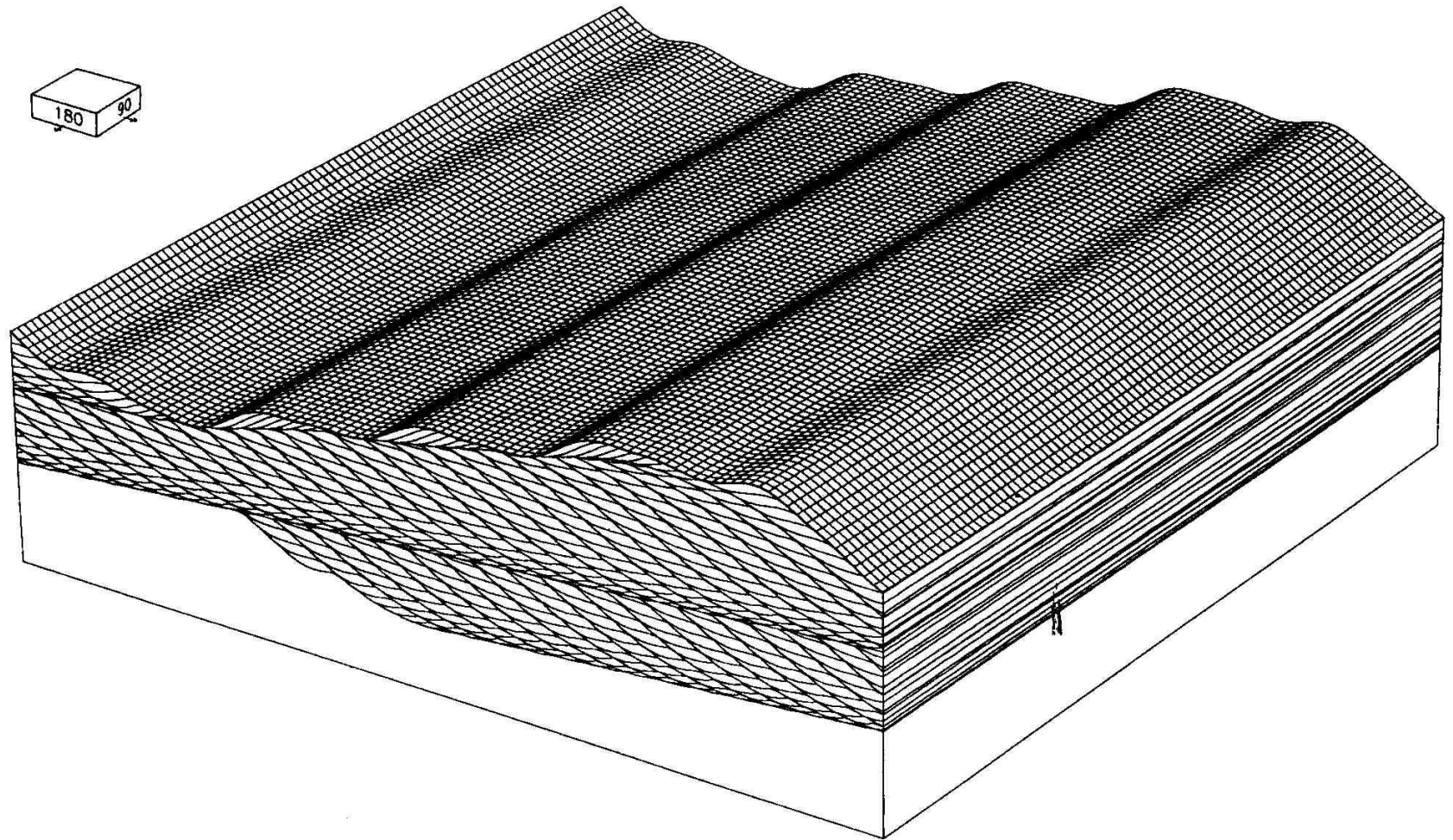
Estratificação cruzada acanalada em dunas subaéreas (eólicas)



Estratificação cruzada acanalada em dunas subaquáticas (rios entrelaçados)



Dunas de crestas retas



Dunas de cristas retas: Formação de estratificação cruzada tabular



Fig. 4.18 Planar tabular cross-stratification with tangential bases to the cross-beds (the scale bar is in inches and is 100 mm long).

*Estratificação cruzada tabular em arenito grosso seixoso
(depósito fluvial)*

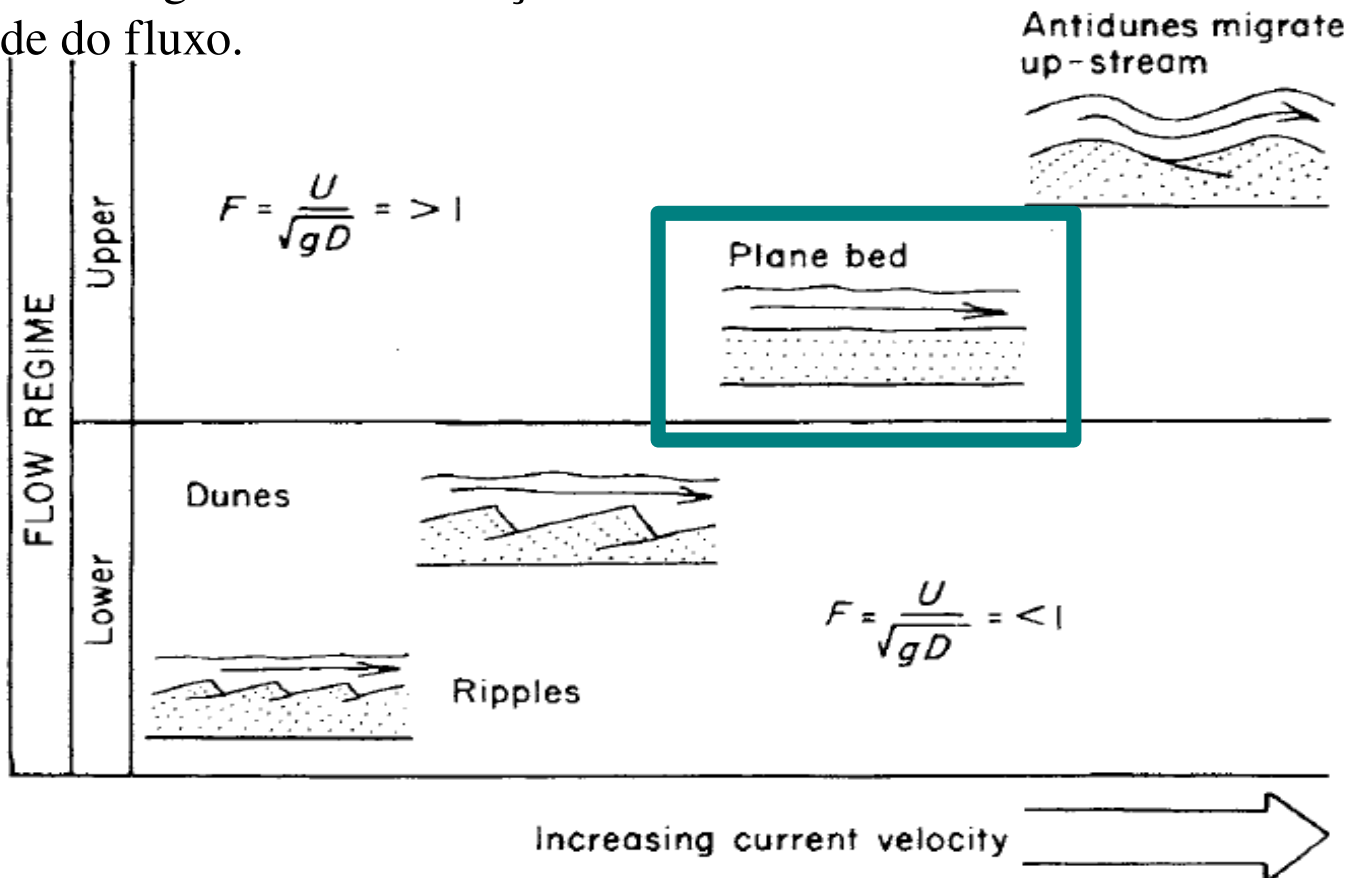


B.2) Controles na formação de dunas

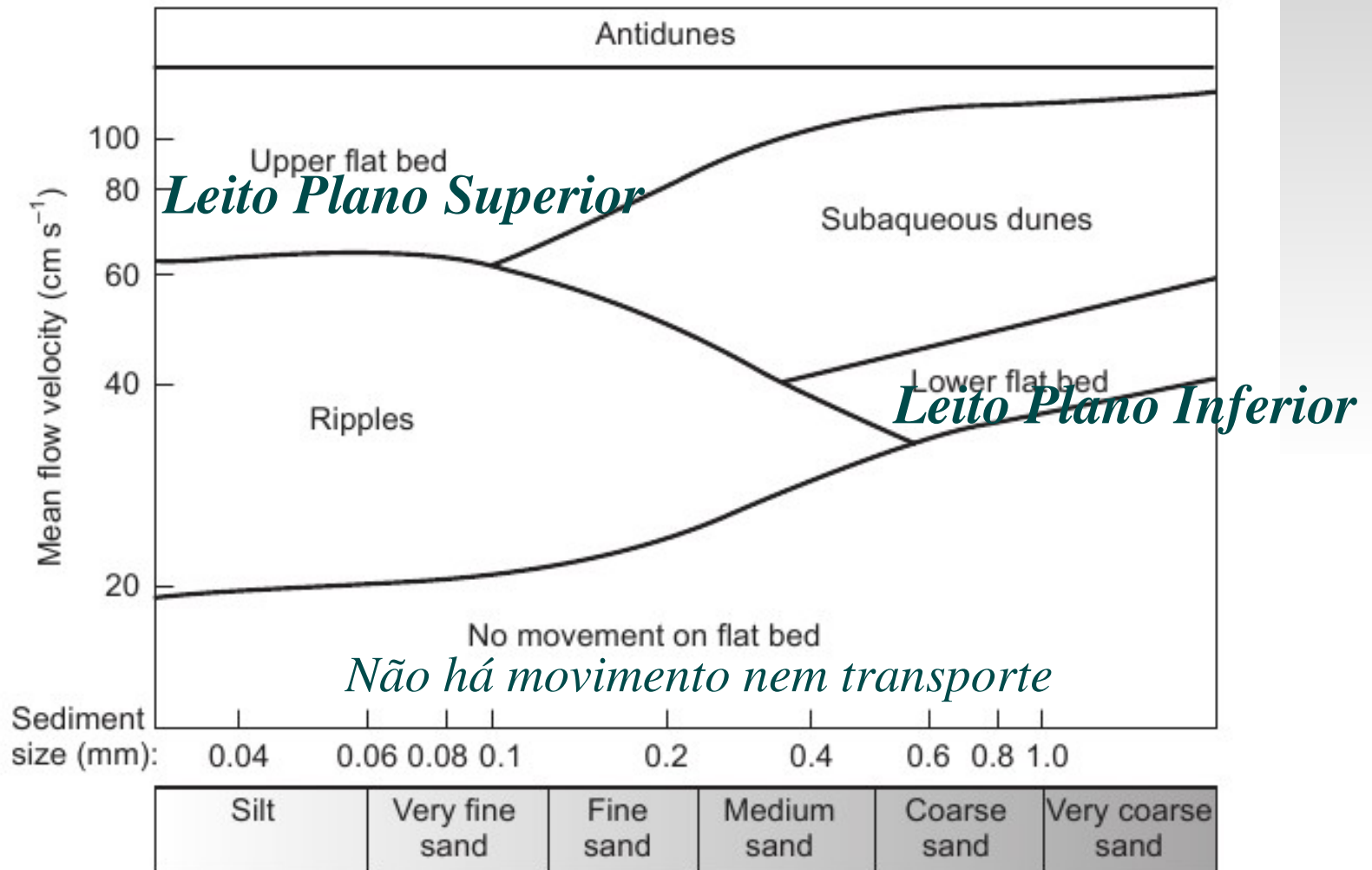
- É comum dunas com grãos que variam de cascalhos finos a areias finas.
- A formação de dunas exige que haja um fluxo que se sustente por tempo o bastante para a construção da estrutura, da estratificação cruzada e da migração da duna. Por isso, fragmento de carga em suspensão (argila e silte) não fazem parte desta construção.
- desta forma, os ambientes mais propícios à sua geração são: canais de rios, deltas, estuários, praias e ambientes marinhos rasos, além de ambientes eólicos, onde tem-se fluxos de grande intensidade de duração.

C- Leito Plano e Laminação ou estratificação planar

- Camadas horizontais, denominadas como Camadas Planares, formam laminações (ou estratificações) planares.
- Camadas planas formam-se com grãos mais grossos, em fluxos de baixa velocidade, mas assim que o fluxo aumenta, formas de dunas começam a se formar.
- Leitos planos também se formam em fluxos com alta velocidade, com arenitos muito finos a grossos. Ondulações e dunas são arrasadas com o aumento da velocidade do fluxo.



Velocidade do Fluxo X Granulometria = Forma de Leito



Leito plano

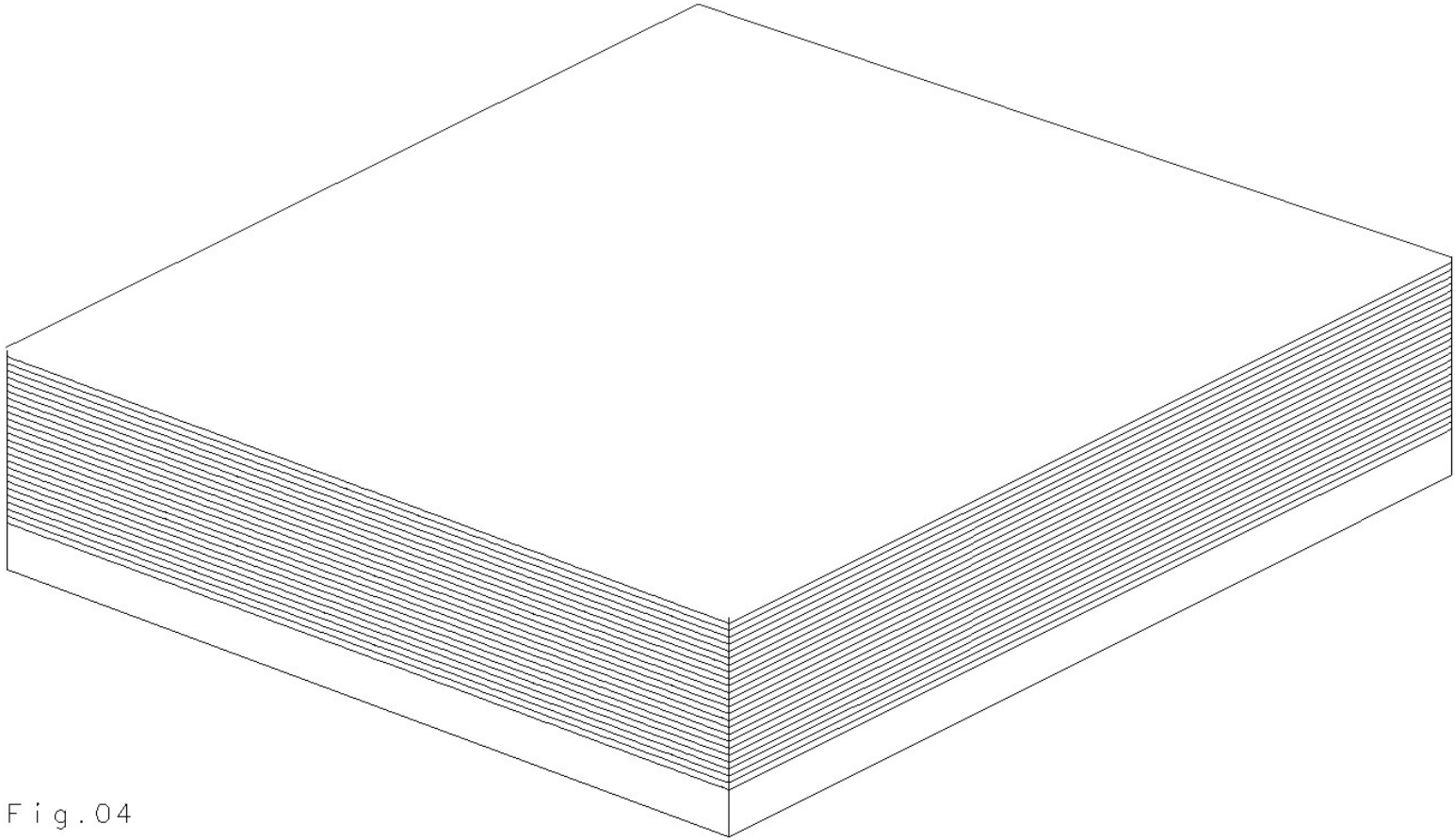
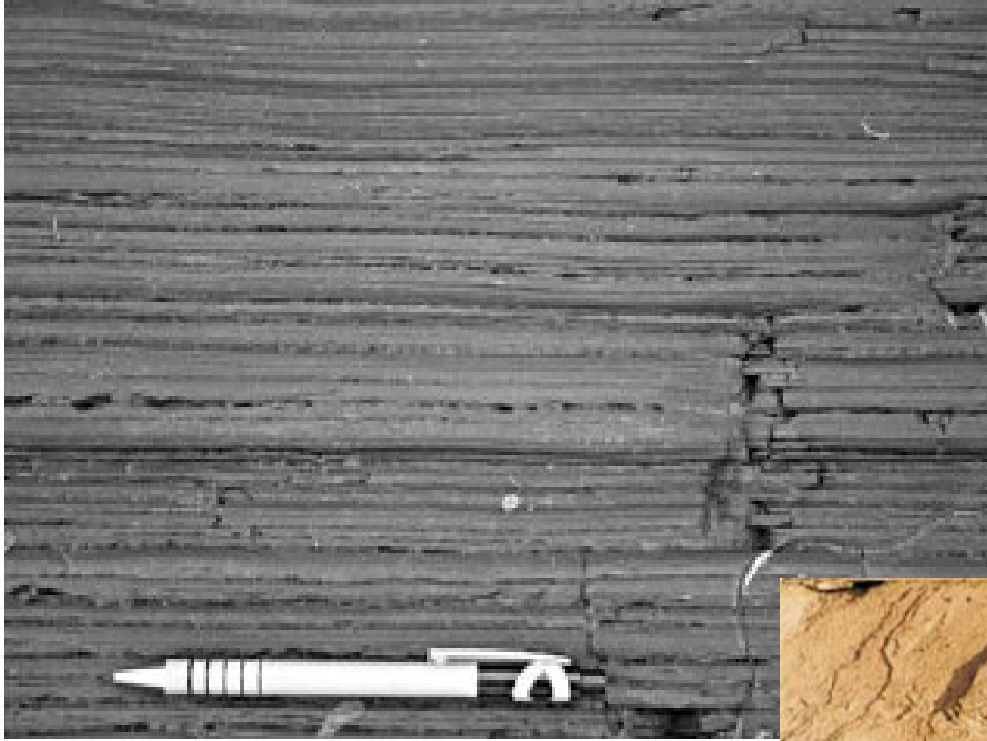


Fig.04

Stoss- and lee-depositional climb

Formam-se, então, as laminações horizontais

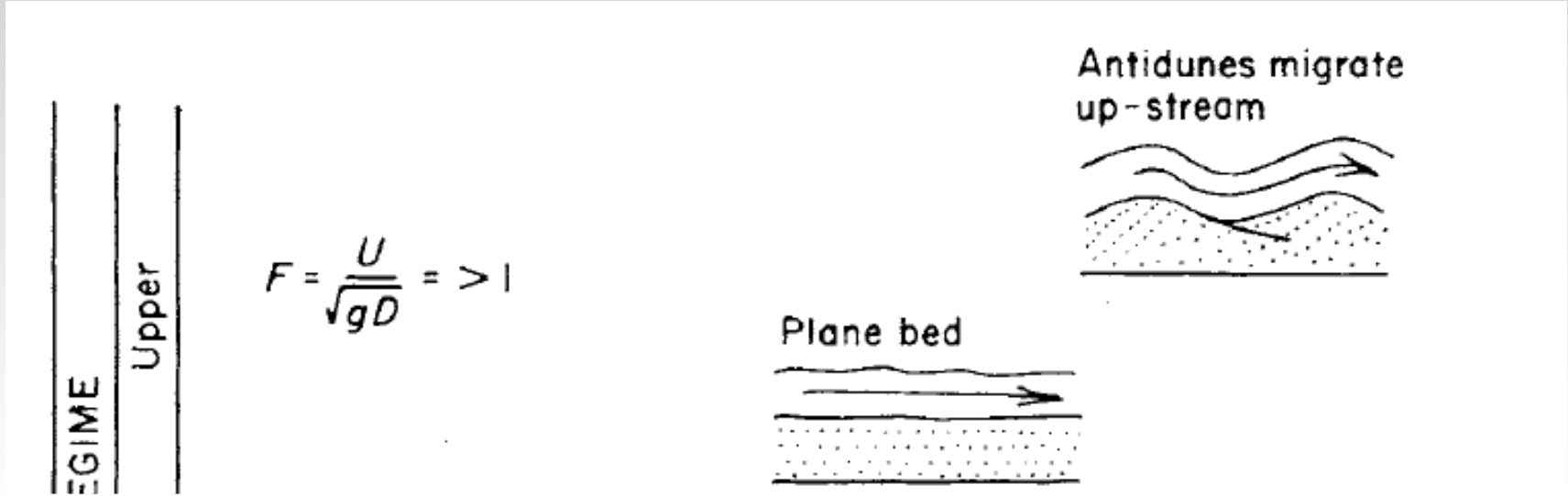


*E as lineações de partição
(topo da camada)*

Fig. 4.19 Horizontal lamination in sandstone



D- Antidunas



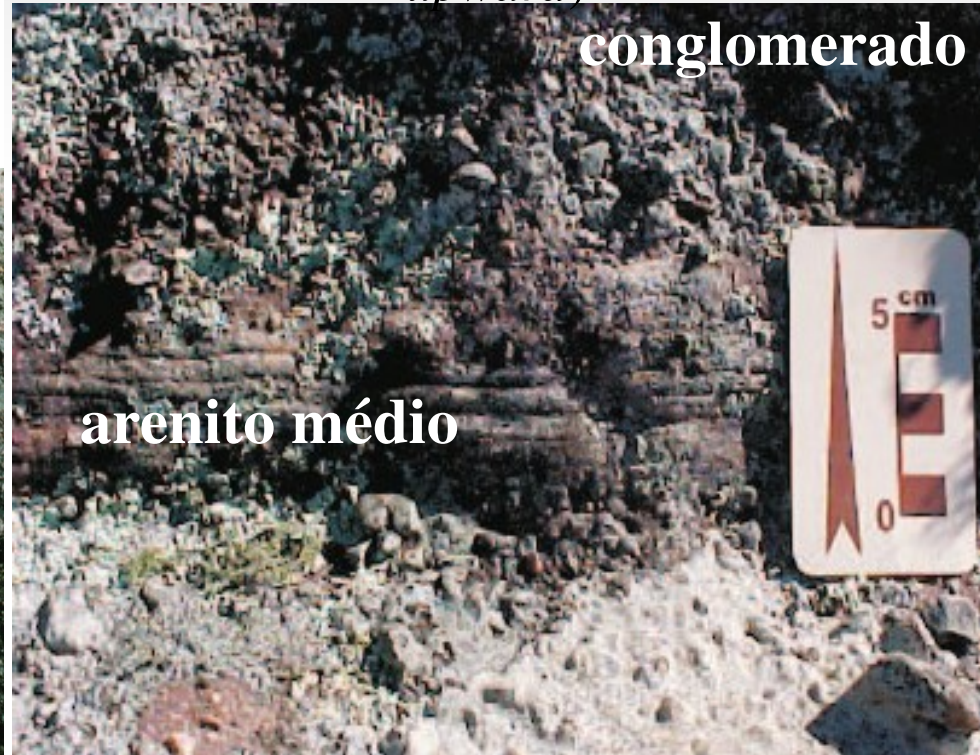
- Enchentes episódicas sobre o leque aluvial geram fluxo rápido e desconfinado.
- Regime de fluxo superior: anti-dunas em conglomerados.
- Formação de camadas pareadas pelo desmonte das ante-dunas e rara preservação de cruzadas.
- Com o desmonte, tudo fica em suspensão, e as partículas maiores decantam primeiro (Lei de Stocks).



Camadas pareadas de conglomerado e de arenito com estratificação plano-paralela, geradas por desmonte de antidunas. A estratificação plano-paralela se dá pela diferença granulométrica entre as decantações (granodecrescência ascendente – *finning upward*)

conglomerado

arenito médio



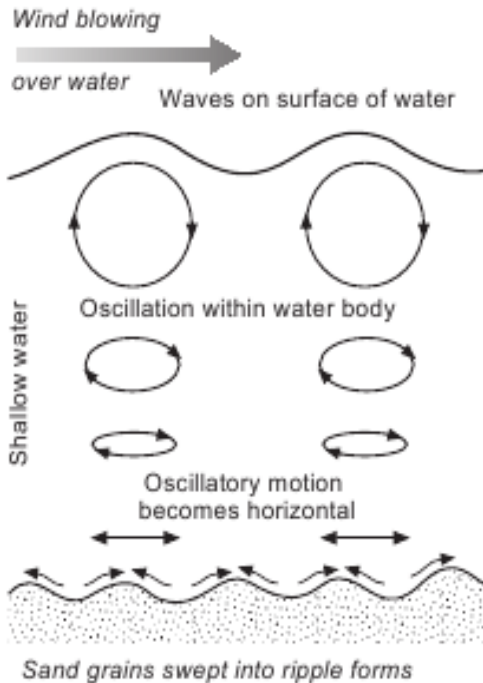
4- ONDAS

- Ondas podem ser geradas tanto em lagos quanto em oceanos, a partir de terremotos, deslizamentos, ou outros fenômenos.
- Frentes de ondas são formadas pela ação do vento na superfície de um corpo d'água.
- A altura e a energia da onda é determinada pela intensidade do vento e as dimensões da área de incidência do vento (*fetch*).

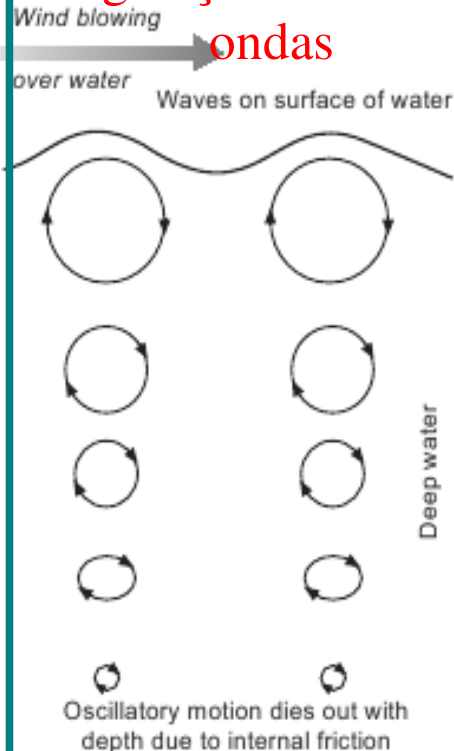
4.1- Formação de ondulações por ondas

- O movimento oscilatório do topo da superfície de um corpo d'água produzido por ondas, gera um caminho circular das moléculas de água no topo das camadas (em águas fundas).

Águas rasas- geração de m.o. de ondas



Águas profundas- não há geração de m.o. de ondas

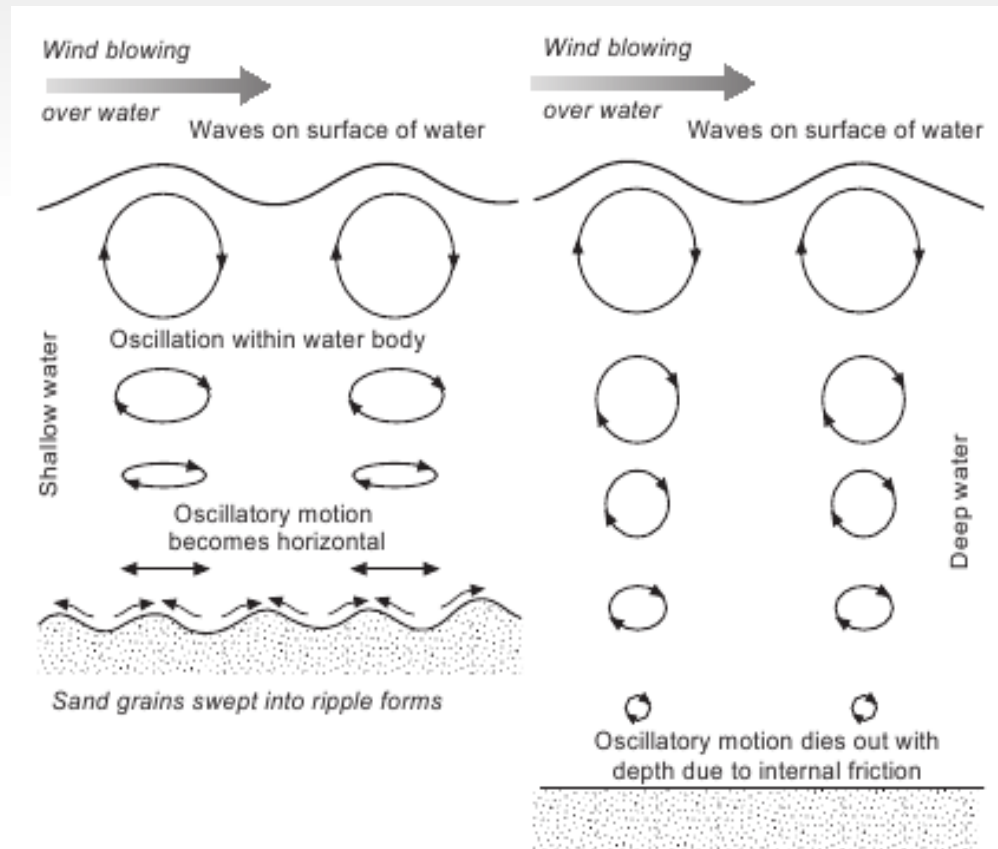


- Em águas rasas, a base do corpo de água interage com as ondas, e a fricção no topo das camadas gera um padrão elíptico.

- Com um padrão puramente oscilatório, temos a geração de ondas simétricas.

- Mas uma outra corrente, superimosta, pode gerar ondas assimétricas.

- A formação de ondulações de onda nos sedimentos é produzida por este movimento oscilatório na coluna d'água.
- Com o aumento da profundidade tem-se a redução da fricção interna e, assim, a redução da oscilação, não sendo geradas as ondulações.
- Conseguimos, então, estabelecer uma profundidade que corresponde ao nível de base de ondas.



Fonte: Nichols (2009)

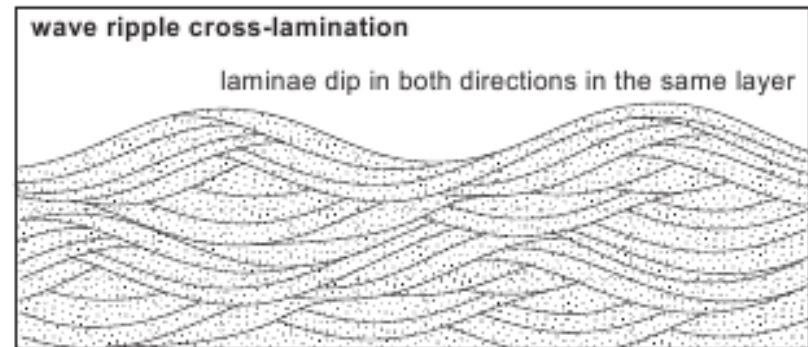
4.2- Características da Marca de Onda (Wave ripples)



Fig. 4.23 Wave ripples in sand seen in plan view: note the symmetrical form, straight crests and bifurcating crest lines.

Em superfície, as marcas de onda apresentam cristas retas (pouco sinuosas) e linhas de cristas bifurcadas.

(Marcas onduladas de corrente apresentam cristas curtas e sinuosas)



Em corte, a marca de onda apresenta uma forma simétrica, com laminações internas em ambas as direções.

4.3- *Distinção entre Marcas de Ondas e de Correntes*

- Marcas de ondas formam-se com granulometrias de silte grosso a areia grossa. Grânulos são observados em marcas de ondas de alta energia.
- Marcas de Ondas são formadas somente em águas rasas (diferente das marcas onduladas de corrente, que se formam a qualquer profundidade e qualquer ambiente).

- Em corte, marca de onda com forma simétrica, e laminações internas em ambas as direções.



Estruturas Sedimentares

-Acamadamento – planos visíveis, marcados por diferença de granulação ou composição. Nas camadas é que observamos as estruturas sedimentares presentes nas rochas. Podem ser:

- a)** Estratificação Planar (Plano Paralela) e Estratificação Cruzada– camadas de mais de 1 cm de espessura.
- b)** Laminação Planar (Plano Paralela) e Estratificação Cruzada– camadas de menos de 1 cm de espessura (lâminas)
- c)** Maciço
- d)** Convolutivo

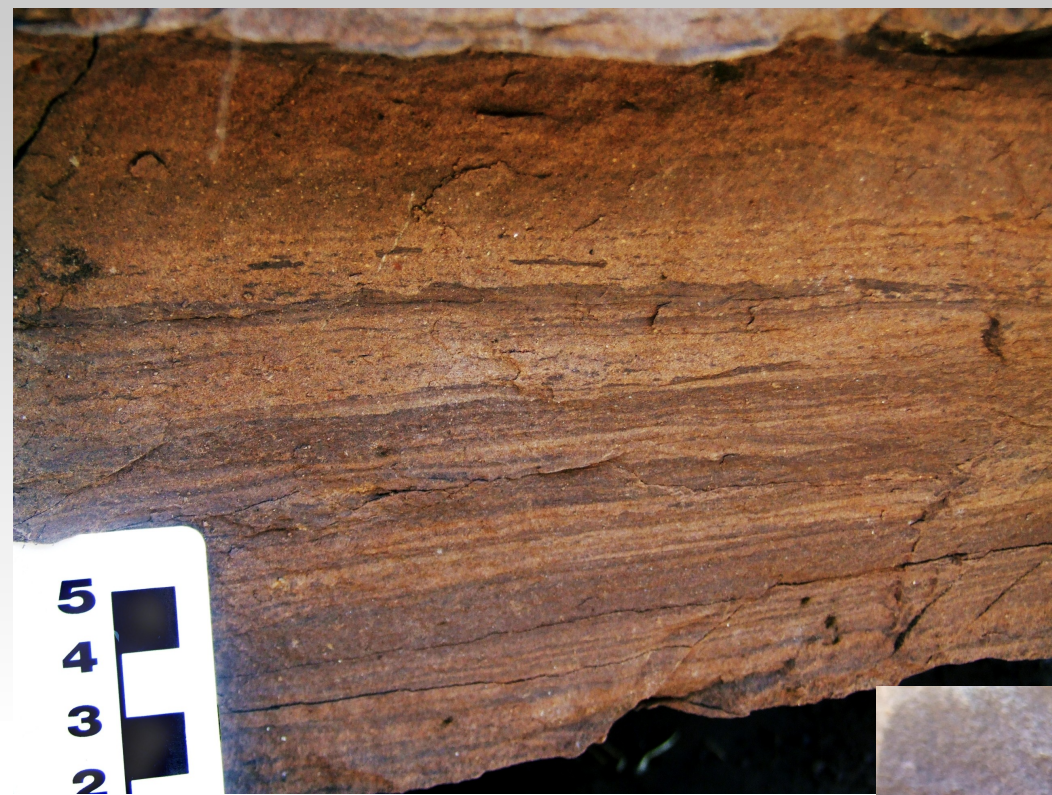
- Série – conjunto de lâminas ou estratos

Camadas de conglomerados com
estratificação plano-paralela

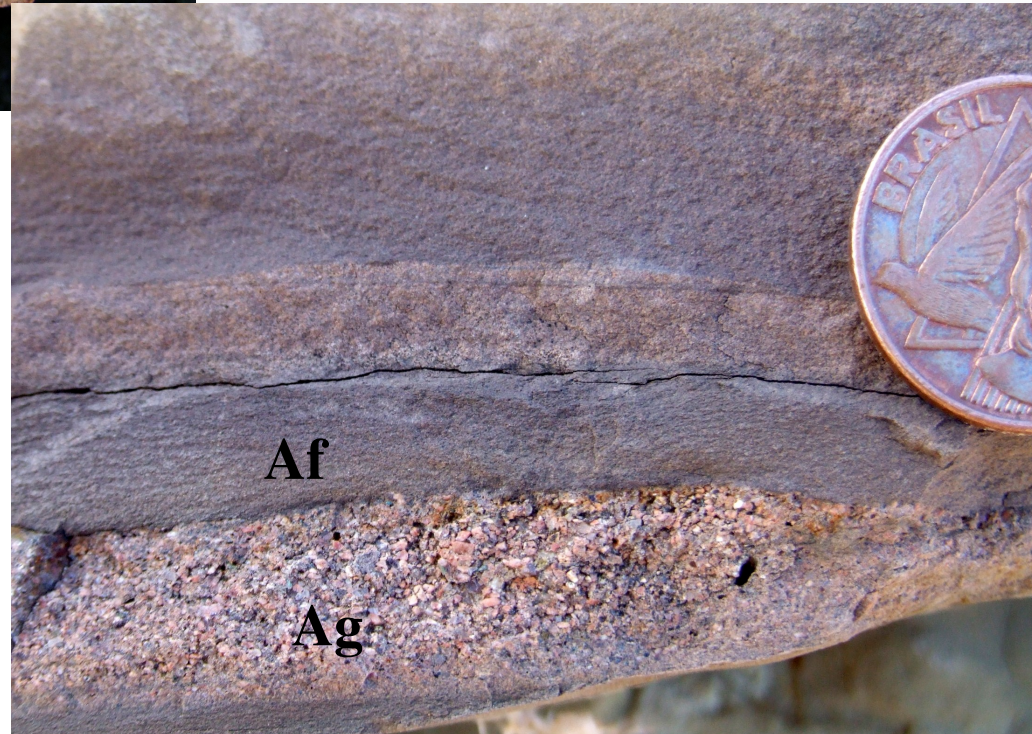


Série de camadas de arenitos finos laminados (laminação plano-paralela) alternados com camadas de pelitos maciços (mais escuros).

Camadas heterolítica laminada
(alternância de lentes de arenito
fino laminado e pelito maciço-
mais escuro)



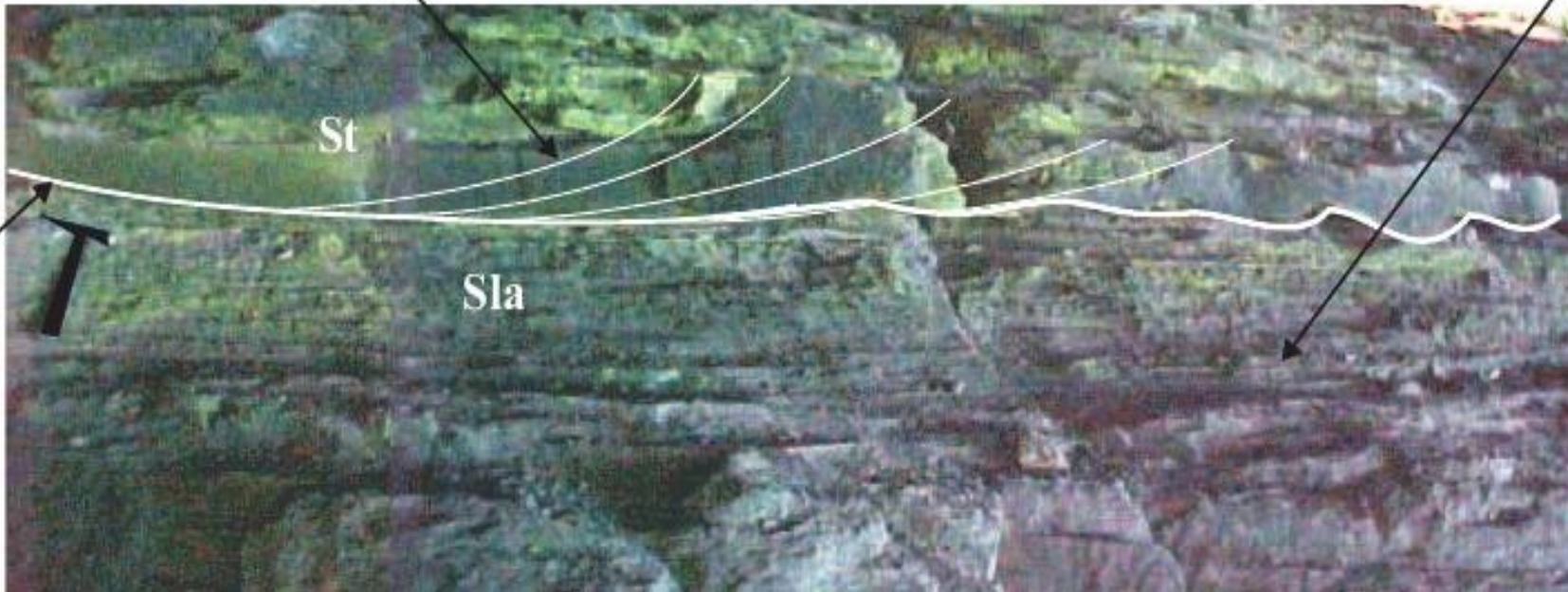
Camadas de arenito grosso maciço
(Ag) e camadas de arenito fino a
médio maciço (Af)



Trough-cross-bedding

low-angle cross-bedding

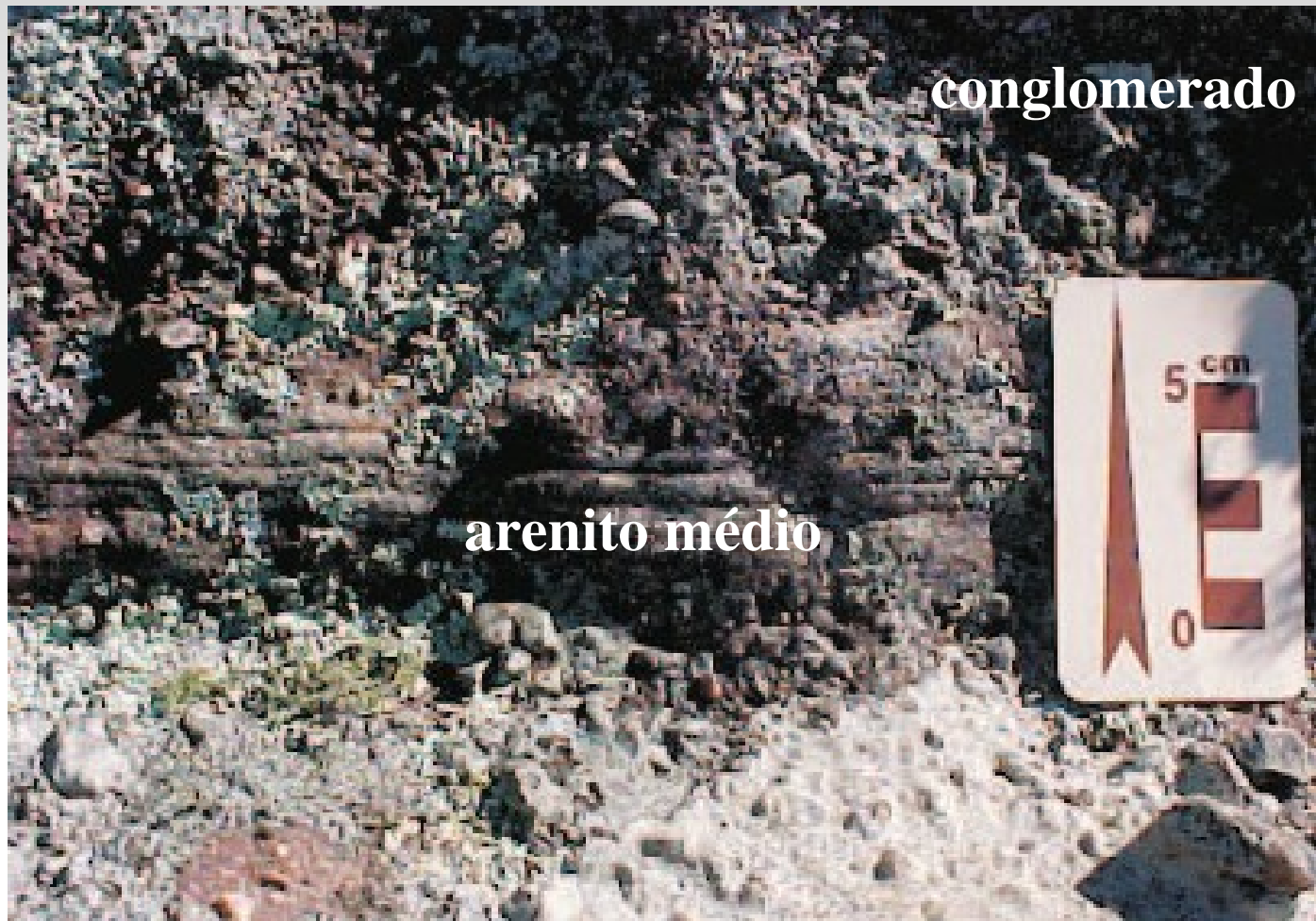
erosional
surface



St

Sla

Camadas de conglomerado de seixo maciço (C) e camada de arenito médio com estratificação tabular (ou plano-paralela)



5- FLUXOS DE MASSA, FLUXOS DE GRAVIDADE OU CORRENTES DE DENSIDADE

- Diferente dos anteriores, os processos sedimentares aqui envolvidos não se utilizam apenas dos fluxos para a geração de depósitos.
- Aqui ocorre a mistura de detritos e fluidos, que se movem sob ação da gravidade, gerando depósitos sedimentares com estruturas característica de cada processo.
- Inicia-se em um declive, que promove a geração da energia potencial, mas o transporte e deposição continuam com a ajuda de um fluido, mesmo sobre uma superfície horizontal.

5.1- Fluxo de Detritos (*Debris Flow*)

5.2- Correntes de Turbidez

Transporte de detritos com ação da gravidade

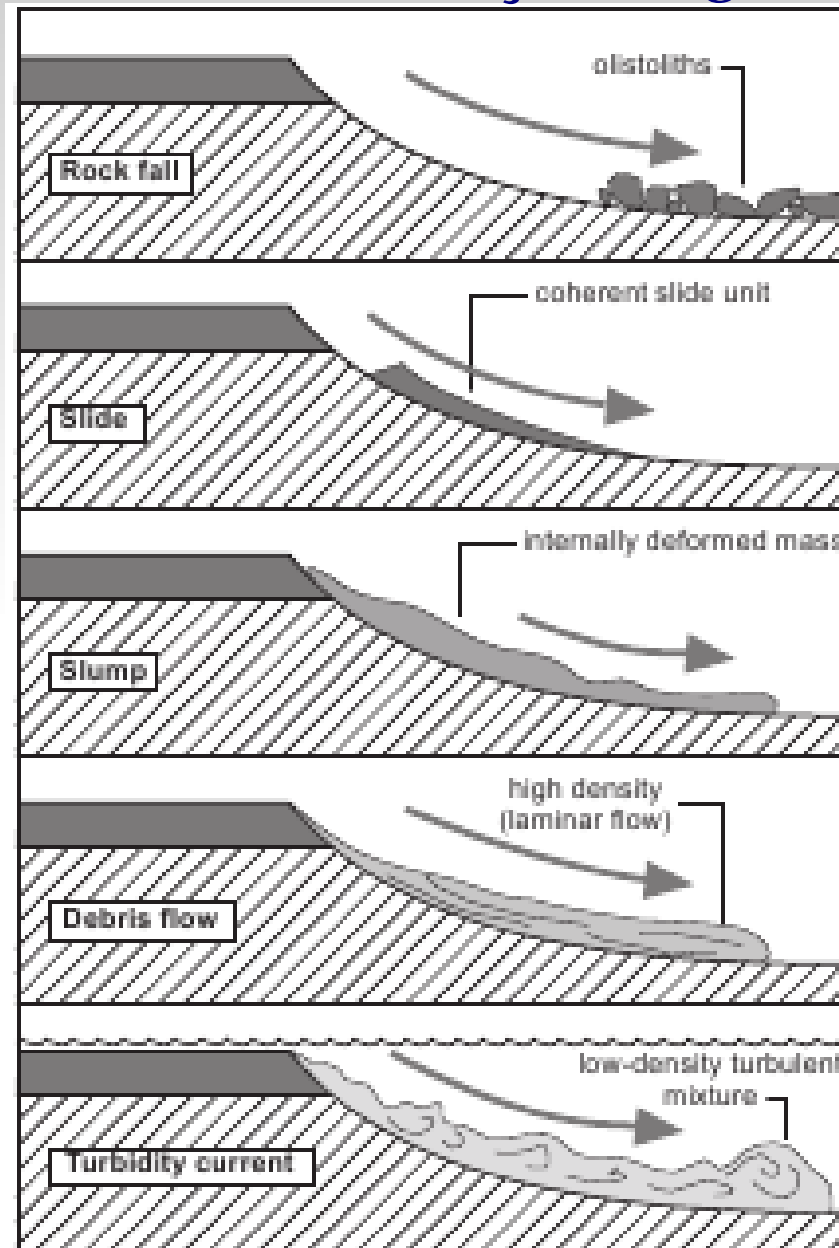
Depósito de Tálus

Depósito de Deslizamentos

Slump (deformação)

Fluxo de Detritos

Correntes de Turbidez



Envolvem ação da gravidade, gerando depósitos proximais

Envolvem fluxo + gravidade, continuando sobre superfícies horizontais

Fonte: Nichols (2009)

Exemplo de Depósito de Talus – Blocos angulosos quebrados

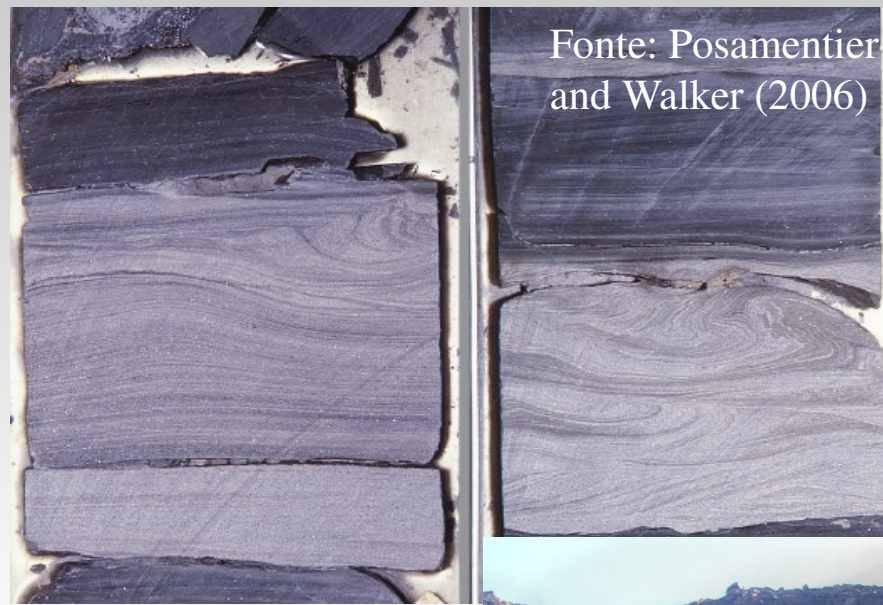


Fonte: Nichols (2009)

Fonte: Posamentier
and Walker (2006)

Exemplo de Depósitos de Slump (deformação atectônica)

Movimento é mais lento do que os gerados por deslizamento e Tálus, porém em sedimentos saturados em água, o que promove a deformação plástica



5.1- Fluxo de detritos (*Debris flow*)

- São misturas densas e viscosas de sedimento e água, sendo que o volume e a massa do sedimento ultrapassa o volume de água.
- Esta mistura densa e viscosa gera fluxo laminar.
- Com a ausência de turbulência, não há seleção de materiais, portanto gera depósitos de péssima seleção granulométrica (argila a matacão) e fábrica caótica.



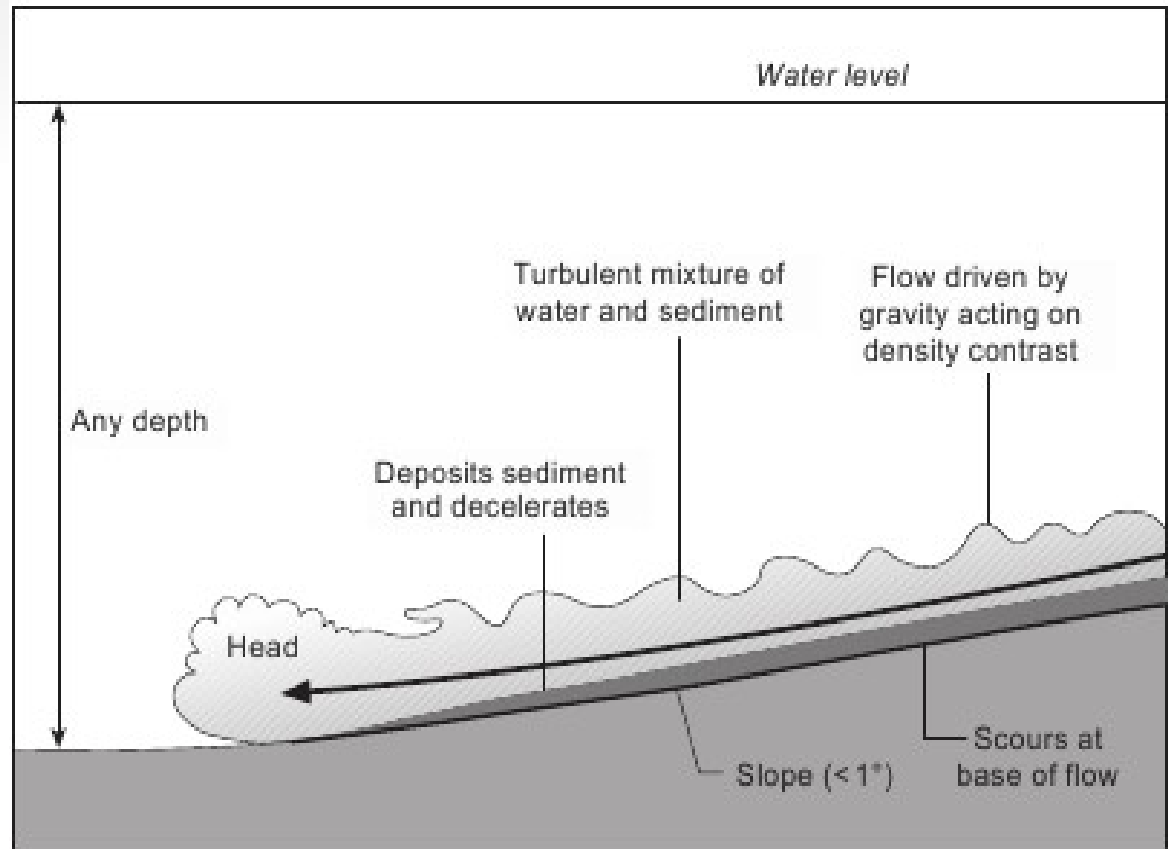
Fonte: Nichols (2009)

5.2- Correntes de turbidez

- São sedimentos provisoriamente suspensos na água, transportados em fluxos turbulentos pela gravidade.
- São misturas menos densas do que os fluxos de detritos (*debris flow*).
- Os depósitos são chamados de **Turbiditos**.
- As misturas de sedimentos podem ter desde argilas até cascalhos.
- Os sedimentos envolvidos em um evento podem alcançar um volume de dezenas de quilômetros cúbicos.
- Comuns em lagos profundos, em plataformas continentais e, principalmente, ambientes marinhos profundos.

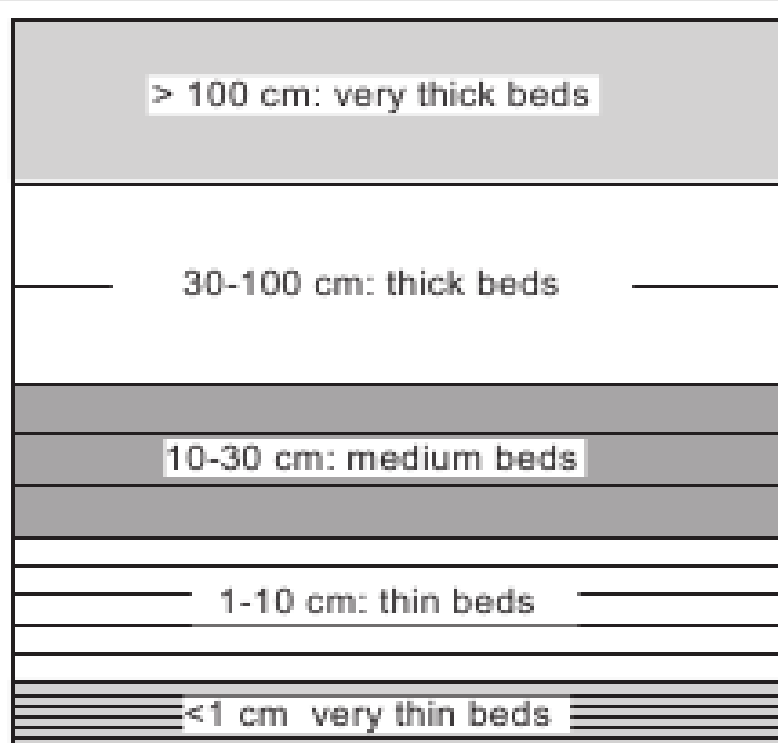
- O sedimento é transportado em suspensão em um fluxo com densidade reduzida.
- este fluxo mantém-se pelo contraste de densidade entre a mistura de água e sedimento e a água.
- Se este contraste é reduzido, o fluxo desacelera.
- Na cabeça do fluxo (head), mistura por turbulência com a água circundante dilue a corrente de turbidez, diminuindo o contraste de densidade.

- Com a deposição de sedimento na corrente em desaceleração, depósitos se acumulam e o fluxo eventualmente cessa quando o fluxo espalha-se na forma de um lençol fino.

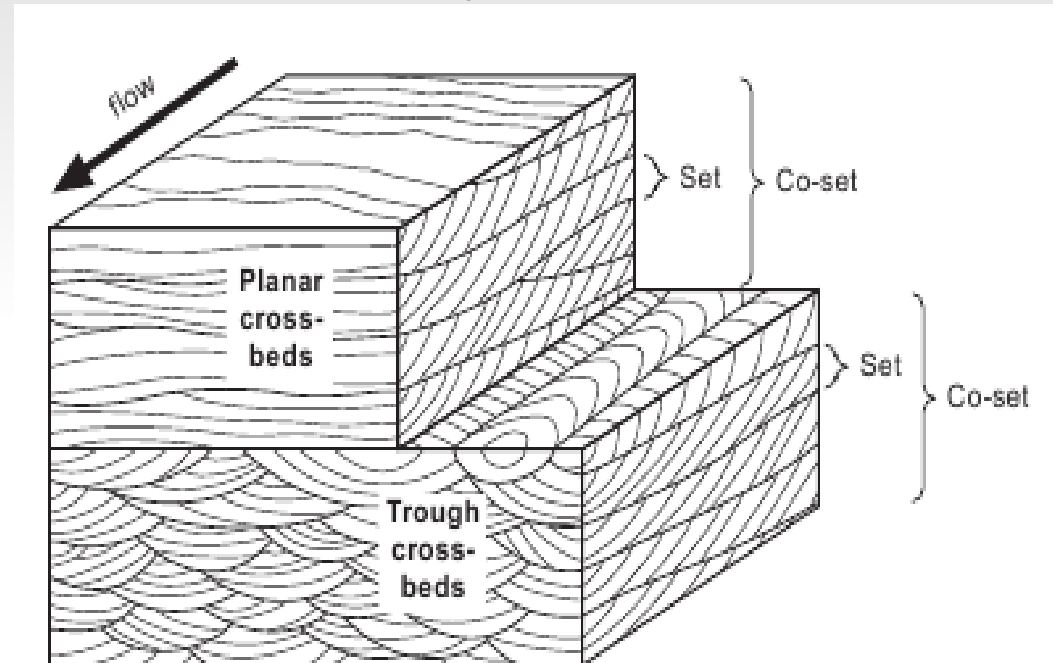


6- TERMINOLOGIA DE ESTRUTURAS E CAMADAS

Espessuras de Camadas



Estratos Cruzados ou Laminações Cruzadas



Bibliografia Recomendada

- Boggs Jr., S. 1995. Principles of sedimentology and stratigraphy. Robert A. McConnin (Ed.). Second edition. 774p.
- **Nichols G. 2009. Sedimentology and Stratigraphy – second edition. Wiley-Blackwell. 419p.**
- **Selley, R. C. 1998. *Elements of Petroleum Geology*, 2 ed. Academic Press. 470 pp.**