



TEXTOS PEDAGÓGICOS DO
MUSEU GEOLÓGICO DE PORTUGAL
(Laboratório Nacional de Energia e Geologia)



DA TERRA FIRME AO MAR LARGO

Um percurso na Natureza e o seu Registo Geológico

Por
Miguel Magalhães Ramalho
(Museu Geológico de Portugal – LNEG)

Análise de um perfil de costa

O diorama que se apresenta corresponde a um modelo de perfil de costa, que vai desde a zona sub-aérea (continente emerso) até ao oceano profundo (pelágico sem oxigénio), considerado para uma zona de clima quente e onde há condições para o desenvolvimento de uma barreira recifal biogénica (recife) e a formação de carbonatos.

Como modelo que é inclui todos os sub-domínios ambientais aqui considerados, o que na Natureza muitas vezes não se verifica, podendo faltar um ou mais desses sub-domínios.

Os fósseis aqui mostrados correspondem aos grupos mais frequentes que ocorreram em Portugal nesses sub-domínios ao longo do Fanerozóico (desde há 540 milhões de anos). As cores das respectivas etiquetas, traduzem as três eras: Paleozóico Inferior (castanho claro), Paleozóico Superior (cinzento), Mesozóico: Jurássico (azul) e Cretácico (verde) e Cenozóico (amarelo).

As variações das características ambientais e suas consequências na biodiversidade e no registo geológico

Ao longo do perfil de costa verificam-se variações importantes nas características ambientais físicas e químicas (salinidade, profundidade, luminosidade, hidrodinamismo, oxigenação), biológicas (biodiversidade) e geológicas (substrato, fossilização e sedimentação).

1 – Ambiente sub-aéreo (continente emerso)

- Influência directa das condições atmosféricas (clima) e contacto com o oxigénio livre do ar.
- Variações bruscas ou sazonais da temperatura e humidade: secas, cheias, tempestades.
- Biodiversidade: variável consoante as condições climáticas.
- Fossilização: má, podendo encontrar-se fósseis de grandes vertebrados, plantas superiores, pólenes e esporos, que conseguem resistir à agressividade das intempéries e à decomposição acelerada pela presença de oxigénio livre atmosférico.
- Sedimentação: ocorrem depósitos característicos de áreas fora de água, como paleossolos, evaporitos, alteritos (laterites, bauxites), sedimentos eólicos (loess, areias e dunas eólicas) e glaciários.

Os depósitos podem revelar pegadas, marcas de chuva, estratificação oblíqua ou entrecruzada de origem eólica e marcas de erosão eólica.

Podem, ainda, ocorrer depósitos relativos a áreas atingidas por cheias de rios (planícies de inundação) ou materiais característicos de cheias rápidas, junto ao sopé de elevações topográficas (eluviões). As planícies de cheias, onde se depositam sedimentos essencialmente argilosos e em que as correntes não são fortes, podem ser bons locais para a preservação de grandes vertebrados (dinossauros, mastodontes).

2- Ambiente lacustre a pantanoso

Desenvolve-se frequentemente na área de influência de rios, em especial quando formam deltas, os quais possuem uma intensa rede de canais, pântanos e bacias lacustres.

- Salinidade: baixa (água doce ou salobra).
- Influência dos factores atmosféricos (temperatura, humidade), embora atenuados pela cobertura aquática, em especial se constituir bacias mais profundas.
- Profundidade: geralmente baixa.
- Luminosidade: alta, diminuindo com a profundidade da água e dependendo da sua transparência (materiais em suspensão).
- Oxigenação: forte à superfície, podendo ser baixa a nula em profundidade, devido ao consumo do oxigénio dissolvido pela oxidação da matéria orgânica.
- Substrato: geralmente mole, vasoso, inclinado nas margens a plano.

- Hidrodinamismo: geralmente fraco ou nulo.
- Biodiversidade: geralmente baixa: bivalves e gastrópodes típicos de meios não-marinhos, estruturas algais (estromatólitos), diatomáceas, carófitas, ostracodes, vegetais aquáticos e terrestres, esporos, pólenes, etc.
- Fossilização: boas condições devido ao fraco hidrodinamismo e à fraca ou nula oxidação, permitindo a conservação da matéria orgânica e outros restos de animais e plantas que vivem na água ou nas suas imediações (batráquios, peixes, aves, répteis, micromamíferos, etc.), que frequentemente fossilizam em excelentes condições.
- Sedimentação: vasas argilosas a areníticas finas a médias, geralmente de cor escura (devido à concentração da matéria orgânica), finamente estratificadas e com níveis carbonosos (vegetais). Nas margens influenciadas por rios, podem ocorrer depósitos conglomeráticos. Em função da química da água e do desenvolvimento dos organismos (macro e micro) com conchas, podem formar-se também níveis carbonatados (moluscos, ostracodes, carófitas) ou siliciosos (diatomáceas)
Bioturbação nos sedimentos dos fundos em contacto com água contendo oxigénio dissolvido.

3- Laguna s.l.

3.1 – Laguna litoral

As condições podem ser bastante variáveis, consoante a topografia do fundo e a influência de rios

- Hidrodinamismo: médio a alto (ondulação).
- Salinidade: marinha normal ou inferior, caso haja influência de rios.
- Profundidade: baixa.
- Oxigenação: alta.
- Luminosidade: alta.
- Substrato: móvel, constituído por areia ou gravilha, inclinando suavemente para o largo.
- Biodiversidade: quando o hidrodinamismo é alto, a biodiversidade diminui devido ao substrato móvel (areias) que origina, permanecendo só organismos endobentónicos ou, então, incrustantes. Se ocorrerem substratos rígidos podem encontrar-se bivalves, algas calcárias, crustáceos, etc. Em zonas abrigadas e hipersalinas, podem desenvolver-se

estruturas estromatolíticas. Junto à foz dos cursos de água, os ostreídeos podem desenvolver-se em grandes acumulações.

- Fossilização: geralmente má quando a ondulação é forte, mas podendo melhorar pela existência de planícies de maré onde a energia das águas é mais fraca (sem ondulação).
- Sedimentação: ocorrem areias a conglomerados em função da energia hidrodinâmica, podendo conter ripples, estratificação entrecruzada e icnofósseis (*Scolithos*).

3.2 – Laguna s.s.

Corresponde à área marinha protegida do mar largo (ondulação e correntes) por uma barreira recifal.

- Profundidade: média (à volta de 1 a 2 dezenas de metros).
- Hidrodinamismo: médio (correntes lagunares).
- Oxigenação: boa.
- Salinidade: marinha normal ou um pouco superior, quando a renovação da água não é suficiente, caso a temperatura do ar seja elevada, forçando a evaporação.
- Luminosidade: alta.
- Substrato: móvel (areias ou vasas) a rígido (pequenas bioconstruções ou blocos soltos do recife).
- Biodiversidade: elevada: peixes, bivalves, gastrópodes, equinodermes, braquiópodes, rudistas, coraliários, por vezes com pequenos bioermas, crustáceos, algas calcárias, foraminíferos, ostracodes, etc. Podem, também, encontrar-se organismos pelágicos do mar largo trazidos por correntes ou tempestades, ou ainda vertebrados nectónicos (peixes, répteis, mamíferos marinhos) que procuram alimento na laguna.
- Fossilização: boa
- Sedimentação: vasas e areias carbonatadas, bioclásticas, por vezes oolíticas, geralmente muito fossilíferas. As vasas e areias carbonatadas são provenientes da desagregação de conchas, esqueletos externos, talos e carapaças calcárias dos múltiplos organismos da laguna e recife. Estes ambientes são verdadeiras fábricas de sedimentos carbonatados que, depois, dão origem aos calcários. Os sedimentos apresentam estratificação regular, muito bioturbados (*Cruziana*, *Rhizocorallium*, etc.).

3.3 – Canais recifais

Estes estabelecem a ligação da laguna com o mar largo, a qual se processa essencialmente pelas correntes de marés. Na área lagunar onde se fazem sentir com maior intensidade essas correntes, as suas características são:

- Profundidade: média a baixa.
- Hidrodinamismo: alto, com 4 fortes correntes diárias das marés, em sentidos alternadamente opostos, mas sendo mais fortes as de vazante.
- Oxigenação: boa.
- Salinidade: marinha normal.
- Luminosidade: alta.
- Substrato: móvel (areias).
- Biodiversidade: baixa, devido ao substrato móvel causado pela força das correntes de maré. Ocorrem alguns organismos endobentónicos que conseguem subsistir vivendo enterrados na areia.
- Fossilização: má, geralmente reduzida a bioclastos.
- Sedimentação: areias oólicas bioclásticas, bem calibradas, com grãos bem rolados. Estratificação entrecruzada e oblíqua, ripples.

4 – Recife

Neste modelo, corresponde a um edifício de origem orgânica, construído por organismos bentónicos cujo crescimento provoca uma elevação do fundo, de forma a constituir uma barreira de protecção à zona lagunar.

- Profundidade: baixa.
- Hidrodinamismo: forte a médio. É máximo na sua orla externa que recebe o impacto das vagas vindas do mar largo, provocando a sua constante fragmentação.
- Oxigenação: boa.
- Salinidade: marinha normal.
- Luminosidade: alta.
- Substrato: rígido (bioconstrução); plano mas com cavidades.

- Biodiversidade: alta, com organismos construtores recifais, como coraliários, rudistas, braquiópodes, algas calcárias incrustantes (Coralináceas). Nas zonas mais abrigadas das fendas do interior do recife, podem encontrar-se bivalves, gastrópodes, algas calcárias articuladas, espongiários, briozoários, etc.
- Fossilização: boa, uma vez que os organismos recifais são resistentes à erosão e constituem massas fortemente consolidadas que podem favorecer a fossilização.
- Sedimentação: calcários recifais com estruturas orgânicas “in situ”. A dolomitização secundária dos edifícios recifais é, também, frequente devido à concentração em sais de magnésio nas águas neles circulantes. Observam-se tipicamente estruturas recifais organogénicas (biolitos ou bioermas)

4 - Talude recifal

Corresponde à zona do declive da parte externa do recife, sendo sobretudo influenciado pela sua inclinação e pelos materiais provenientes do desmantelamento do bordo externo da aparelho recifal pela força das vagas. A base (sopé recifal) pode encontrar-se a diversas profundidades que podem chegar a centenas de metros. É, portanto, um ambiente em que há forte deslocação gravítica dos clastos.

- Profundidade: aumentando progressivamente ao longo do talude.
- Energia: alta na zona superficial, passando a média e baixa.
- Oxigenação: elevada.
- Luminosidade: forte à superfície, diminuindo com a profundidade, desaparecendo a cerca de -70 m a -100 m..
- Salinidade: marinha normal.
- Substrato: rígido, acidentado, inclinando fortemente para o largo.
- Biodiversidade: alta, contendo praticamente os mesmos organismos do recife., mas diminuindo com a perda da luminosidade. Ocorrência de parte significativa daqueles organismos provenientes do desmantelamento do bordo recifal que puderam sobreviver e desenvolver-se em maior profundidade.
- Fossilização: geralmente boa, devido à constante queda de materiais ao longo do declive, constituindo um substrato consolidado pelo desenvolvimento de organismos recifais.

- **Sedimentação:** brechas recifais, com clastos de tamanho variável. Zonas com níveis de origem turbidítica (termos mais grosseiros), cujo material, geralmente areias bioclásticas, é transportado através dos canais recifais pelas correntes de vazante.

5 - Pelágico

É a zona marinha aberta influenciada, essencialmente, pelas correntes oceânicas do mar largo. A água é estratificada, devido ao aumento da densidade com a profundidade e com o conteúdo em oxigénio, o qual tende a diminuir para o fundo.

A zona marinha pelágica situa-se longe dos continentes e geralmente pouco ou quase nada afectada pela influência sedimentar destes. Contudo é necessário ter em conta alguns aspectos em que os materiais continentais podem entrar na zona pelágica:

- **Sedimentos turbidíticos:** sedimentos transportados por gravidade, ao longo do talude continental constituídos pelos materiais detríticos trazidos pelos rios e depositados na plataforma continental ou então gerados em zonas neríticas carbonatadas. A sua acumulação pode gerar desequilíbrios gravíticos activados, por exemplo, por sismos ou tsunamis, descendo então ao longo dos taludes e espraiando-se no fundo oceânico, cobrindo áreas com muitos quilómetros quadrados.

- **Argilas:** trazidas em suspensão na água dos rios, podendo entrar nos circuitos das correntes oceânicas, acabando por se depositarem por floculação ou integradas nos excrementos orgânicos..

- **Poeiras:** fracção fina dos materiais gerados em zonas desérticas e transportados pelos ventos para os oceanos. É o caso, por exemplo, das tempestades de poeira provenientes do Saara e que afectam o Atlântico Central não só do ponto de vista sedimentar mas influenciando o plancton.

Todos estes materiais depositados nos fundos oceânicos, incluindo os de origem planctónica, podem ser depois transportados ao longo de grandes distâncias pelas correntes profundas (contornitos).

5.1 - Pelágico (fundo com oxigénio)

Os organismos são de diversos tipos:

- **Planctónicos:** animais e plantas de pequenas dimensões a microscópicas (foraminíferos, ostracodes, radiolários, diatomáceas, cocolitoforídeos, pequenos crustáceos, larvas de metazoários

bentônicos, etc.) que se deslocam horizontalmente ao sabor das correntes superficiais e estão na base das cadeias alimentares oceânicas. Este é um processo de expansão de vários organismos bentônicos, como os corais, cujas larvas são planctônicas. Verificam-se grandes concentrações de plancton nas zonas onde existem correntes ascendentes (“upwellings”) que trazem à superfície águas ricas em oxigênio e nutrientes.

- Nectônicos: são os animais que se deslocam independentemente das correntes, como os peixes e mamíferos marinhos e, nos tempos geológicos, os cefalópodes com concha externa, como as goniatites (Paleozóico), nautilídeos (Paleozóico ao Cenozóico), amonites, belemnites e répteis marinhos (Mesozóico).

- Bentônicos: são geralmente animais, pois abaixo dos 70 a 100 metros a luz solar desaparece, e que vivem na dependência do fundo, onde estão fixos (sésseis) ou deslocando-se sobre ele (vágeis). São, por exemplo, equinodermes, incluindo crinóides, anelídeos, bivalves e crustáceos.

- Salinidade: marinha normal.
- Hidrodinamismo: geralmente baixo, embora haja áreas em que os fundos são percorridos por correntes que podem atingir 2 km/hora.
- Luminosidade: forte à superfície, diminuindo em profundidade, onde a luz do sol pode chegar até aos 100 metros (zona fótica). Este valor pode variar em função da quantidade de partículas em suspensão e organismos planctônicos (turbidez) ou latitude (sendo máxima na faixa equatorial).
- Oxigenação: a sua concentração é elevada até aos -200 m, diminuindo depois progressivamente até aos -2000 m, a partir da qual volta a aumentar, mantendo-se assim até ao fundo. Este enriquecimento em oxigênio das águas profundas deve-se à circulação oceânica de águas bem oxigenadas superficiais provenientes das zonas polares mas, como são mais densas, devido à sua baixa temperatura, afundam-se e passam a deslocar-se em profundidade.
- Substrato: geralmente mole (vasas pelágicas) e plano, inclinando, em geral, para o largo.
- Biodiversidade: geralmente baixa, dependendo, no entanto, das condições oceânicas locais, sendo relativamente elevada, por exemplo, nas zonas de “upwelling”. Contudo, nas águas superficiais oceânicas a vida pode atingir grande desenvolvimento através das formas planctônicas e grande parte dos depósitos organogénicos provêm da deposição das carapaças e conchas destes organismos. Certos bivalves podem, também, ocorrer no

domínio pelágico superficial, presos a algas flutuantes. Outro tipo de animais, os graptólitos não bentônicos (Ordovícico-Silúrico) viveram, também, no domínio pelágico. Por entre os organismos nectônicos, temos a presença de cefalópodes (nautilídeos, goniatites, amonites, belemnites) e ainda peixes, répteis e mamíferos pelágicos.

- Fossilização: As condições são potencialmente boas, mas a conservação das carapaças e conchas dos organismos planctônicos depende da sua composição química e da profundidade a que se encontra o fundo. Há, também, a considerar a ocorrência de pólenes e esporos de plantas terrestres que podem ser trazidos pelos ventos e depositados em ambiente oceânico a milhares de quilómetros dos seus locais de origem. Dos fósseis mais frequentes nos sedimentos oceânicos, podem citar-se os de organismos planctônicos, como os de composição carbonatada (foraminíferos, ostracodes, coccolitoforídeos, pterópodes) e os de composição siliciosa, (radiolários, diatomáceas, espongiários, silico-flagelados). Estes podem aparecer em grande abundância nos fundos relacionados com “upwellings”. Ocorrem, ainda, fósseis de animais maiores como os graptólitos (Paleozóico Inferior), certos bivalves e ainda cefalópodes com concha externa, como nautilídeos (Paleozóico-Cenozóico), goniatites (Paleozóico Superior), amonites e belemnites (Mesozóico), bem como certos mamíferos e répteis marinhos.
- Sedimentação: os depósitos correspondem a vasas oceânicas, geralmente argilosas, mas também organogénicas provenientes dos organismos planctônicos, se depositados acima de certa profundidade (níveis de compensação) em que as suas partes mineralizadas não são dissolvidas. Assim, como vimos, as vasas organogénicas (oozes) podem ser carbonatadas ou siliciosas.

A sedimentação é lenta e geralmente tranquila, o que origina estratos finos, horizontais e geralmente pouco bioturbados, como acontece com as *Nereites*. Nos sedimentos dos fundos afectados pelos “upwellings” ocorrem com frequência glauconite e fosfatos de origem orgânica. Podem formar-se marcas de ripples, caso os sedimentos sejam sujeitos a correntes profundas. As zonas de fundo mais ou menos próximas do sopé do talude recifal ou continental, podem ser atingidas pelas descargas turbídicas que se espalham por vastas áreas. Quanto mais afastadas da base do talude, mais fina será a granulometria desses sedimentos tribidíticos. É importante ter presente que os materiais turbídicos foram gerados a pequena profundidade, nomeadamente os bioclastos, o que pode induzir em erro se se pretender interpretar as paleopropriedades com base nesses fósseis.

Actualmente, os níveis de compensação são cerca de -1000 a -2000 m para as conchas aragoníticas (pterópodes) e -3900 a -5000 m para as calcíticas. Isto quer dizer que só acima destas profundidades é que as conchas com essa composição se podem depositar, pois abaixo desses valores são completamente dissolvidas, só restando os restos siliciosos e as argilas dos grandes fundos, insolúveis na coluna de água, e como fósseis, os de composição siliciosa, quitinofosfatada e orgânica. Podem, também, constituir-se crostas e nódulos diagenéticos polimetálicos, à superfície do solo submarino.

5.2 - Pelágico (com fundo sem oxigénio)

Certas áreas abissais, devido à sua topografia e ao percurso das correntes profundas, podem ficar sem oxigénio na camada de água junto ao fundo. Nestes casos só subsistem bactérias anaeróbicas nos sedimentos e estes são ricos em matéria orgânica, o que lhes confere cores escuras. Por vezes nessas zonas, a água pode conter altas concentrações salinas dando origem a depósitos de precipitação por sobresaturação.

*
* *

A análise deste modelo mostra-nos como as características físicas, químicas, geológicas e biológicas variam ao longo dum percurso costeiro a oceânico, podendo diferenciar-se várias zonas, que deixam o seu testemunho no registo geológico.

Inversamente, a partir do estudo e interpretação deste registo, é possível definir essas zonas e reconstruir a paleogeografia duma região.

Estes estudos, que são cientificamente muito importantes por nos ajudarem a reconstruir a evolução do passado da Terra, têm igualmente grande interesse económico na prospecção e exploração de matérias primas geológicas de origem sedimentar, como petróleo, carvão, calcários, gesso, sal-gema, areias, etc.