

22/2/99 *Refinça*
54/6
9
54/8
7

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências
Departamento de Paleontologia e Estratigrafia

Paleontologia

Guia de Aulas Práticas



Prof. L.E. Anelli
Prof. Dr. A.C. Rocha-Campos
Prof. Dr. T.R. Fairchild

Primeira edição
São Paulo, 1999

Anelli, L.E.; Rocha-Campos, A.C.; Fairchild, T.R.
Guia de Aulas Práticas em Paleontologia – 1ª ed. – São Paulo. 156p.

1. Paleontologia
2. Aulas práticas

Primeira edição

Prof. L.E. Anelli
Prof. Dr. A.C. Rocha-Campos
Prof. Dr. T.R. Fairchild
São Paulo, 1999

Gráfica: IG-USP

Diagramação: Renata L.L.Hidalgo
L. E. Anelli

Todos os direitos desta edição
reservados aos autores

Capa: Ilustração do naturalista suíço Johan Scheuchzer (1672 – 1733).

Pertence a _____ Turma _____

7. Processos de fossilização

Com preservação das partes duras e moles

- Criopreservação: mamutes (Pleistoceno) no permafrost.
- Mumificação (dessecação): mamíferos (Quaternário) em grutas
- Inclusão em âmbar: artrópodes (Terciário).

Com preservação de partes duras

- Sem alteração da composição e estrutura
Conservação da parte dura: concha
Incrustação: ossos e conchas (Quaternário) em cavernas.
Permineralização: preenchimento de poros e cavidades ou celular (madeiras "petrificadas").
- Com alteração da estrutura somente
Recristalização: calcita → aragonita
crescimento dos cristais
- Com alteração da composição e estrutura.
Carbonização (ou incarbonização) = vegetais, artrópodes.
Substituição: piritização, silicificação

Moldes e impressões

- Interno ("convexo")
- Externo ("concavo")
- Contra-molde ou réplica

Estruturas biogênicas

- Pistas, pegadas, tubos, perfurações, coprólitos etc.

Prefácio

O presente texto é uma versão revisada do Guia de Aulas Práticas de Paleontologia elaborado no ano passado e utilizado nas aulas práticas das disciplinas paleontológicas do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, USP.

Além da extensiva correção do texto, vários outros aperfeiçoamentos foram introduzidos no Manual.

Do ponto de vista da forma, foi ele inteiramente rediagramado, resultando numa distribuição mais racional e estética da matéria, tanto do texto, quanto das ilustrações. Muitas destas foram substancialmente melhoradas, tornadas mais claras e compreensíveis.

Vários novos tópicos acrescentados ao Guia tornam-no um pouco mais completo em relação aos grupos fósseis abordados. Incluem-se aqui os exercícios sobre anfíbios fósseis (Cap. 11) e plantas do Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (Caps. 14 e 15).

Finalmente, também a bibliografia foi revisada, resultando na eliminação de incorreções e acréscimo de novas referências importantes.

A experiência da utilização do Guia, realizada durante 1998, parece-nos ter comprovado sua utilidade na ministração das disciplinas introdutórias de Paleontologia para alunos da Geologia e Biologia. Esperamos que as modificações introduzidas tornem-no ainda mais atraente e útil.

Ao terminar, reiteramos o nosso pedido aos usuários do Guia, alunos e colegas docentes, no sentido de nos fazer chegar suas críticas e correções, importantes para o ulterior aperfeiçoamento desta modesta obra.

Os autores

São Paulo, fevereiro de 1999.

S U M Á R I O

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. A preservação dos organismos no registro geológico: processos de fossilização | 1 |
| 2. Vida no Pré-Cambriano e seu registro paleontológico | 9 |
| 3. Micropaleontologia: o estudo dos foraminíferos fósseis | 22 |
| 4. Cnidários fósseis | 30 |
| 5. Braquiópodes fósseis | 38 |
| 6. Moluscos fósseis | 51 |
| 7. Artrópodes fósseis | 57 |
| 8. Graptozoários | 66 |
| 9. Invertebrados de simetria pentâmera | 70 |
| 10. Ostracodermos e peixes fósseis da Bacia do Araripe | 78 |
| 11. Os primeiros Tetrápodes | 89 |
| 12. Mesossaurídeos fósseis | 94 |
| 13. Aves fósseis | 98 |
| 14. O surgimento e desenvolvimento das plantas vasculares no Paleozóico | 103 |
| 15. Rumos da evolução vegetal durante o Mesozóico e Cenozóico | 112 |
| 16. Zoneamento bioestratigráfico: o exemplo dos foraminíferos | 116 |
| 17. Correlação e datação das rochas sedimentares | 122 |
| 18. Diversidade morfológica em espécies paleontológicas | 128 |
| 19. Paleogeografia e Paleobiogeografia | 133 |
| 20. Excursão didática | 142 |
| 21. Técnicas de estudos paleontológicos | 150 |
| Bibliografia | 152 |
| Anexos: escala de tempo geológico | 154 |



1. A preservação dos organismos no registro geológico: processos de fossilização, tafonomia.

Introdução

O presente exercício visa reforçar e aprofundar conceitos já apresentados na aula teórica; e iniciar os estudantes no exame de diferentes tipos de fósseis e suas características gerais e, em particular, na identificação dos principais processos de preservação dos organismos no registro paleontológico (=fossilização).

Algumas observações importantes referentes ao tema são:

1. Existe grande variedade de fósseis (tamanho, natureza, composição etc.).
2. Organismos são constituídos de dois componentes, as partes duras (esqueletos) e as partes moles (tecidos, vísceras).
3. O que se preserva, geralmente, são as **partes duras ou resistentes** de organismos antigos, ou **estruturas e marcas** deixadas por sua presença pretérita. Os primeiros correspondem aos **restos** (p.ex., conchas) e os segundos a **vestígios** (p.ex., pistas, pegadas, moldes).
4. A formação dos fósseis envolve a sua **proteção rápida**, através do soterramento, por **sedimentos** (areia, silte, argila, carbonato). A cobertura protege contra necrólise, predadores, necrófagos e ação hidrodinâmica do meio (abrasão e fragmentação por correntes e ondas).
5. A história da formação dos fósseis (**tafonomia**) envolve duas fases (que podem ser em parte concomitantes): a) **bioestratinomia** (da morte ao soterramento definitivo); e b) **diagênese** dos fósseis (= **fossilização**).
6. Por causa de sua relação com os sedimentos, os fósseis ocorrem quase que exclusivamente em rochas sedimentares. Estas resultam da diagênese, conjunto de processos que envolvem mudanças físicas e químicas em sedimentos (compactação, cimentação, recristalização, metassomatismo-substituição), após a sua deposição, convertendo-os em **rochas** consolidadas. Como veremos, os mesmos processos são responsáveis pela formação de diferentes tipos de fósseis.
7. Ambientes subaquáticos (rios, lagos, mar) são, no geral, mais favoráveis à preservação dos organismos. Nesses locais, a cobertura dos organismos ou dos seus restos pela deposição de sedimentos, protege-os da destruição.
8. A composição mineral, a microestrutura e a distribuição da matriz orgânica dos esqueletos são importantes fatores da preservabilidade de organismos.
9. Fósseis podem representar organismos **autóctones** (preservados no local de vida, p. ex., florestas petrificadas) ou **alóctones** (preservados fora do seu local de vida; p. ex., tronco fóssil em rocha sedimentar marinha). Podem preservar-se em posição de vida ou não, em disposição caótica ou orientada dentro das rochas, e estarem dispersos ou concentrados (p.ex., concheiros).

Exercícios:

Parte 1) Variedade dos fósseis.

a) Examine os fósseis da bandeja, notando sua variação em tamanho, forma, natureza (vegetal, animal), e aspecto. Que grupos (filos e/ou classes) de organismos você consegue distinguir ? (Liste-os, indicando os seus respectivos números). _____

b) Indique as partes dos organismos (concha, fragmento de osso, folhas etc.) que você consegue reconhecer? _____

Parte 2 (Tabela 1.1)

Parte 2) Composição dos fósseis.

Os dois minerais da bandeja (GPE 201/11, calcita) e (GPE 201/12, quartzo) correspondem aos mais comuns constituintes de partes esqueléticas de organismos. Eles podem ser diferenciados através de testes químicos e físicos simples:

Dureza (resistência ao risco ou abrasão). A dureza é medida através da escala de Mohs, que varia de 1 (talco) a 10 (diamante). Minerais de grau de dureza maior riscam os de dureza menor. Os de mesma dureza riscam-se mutuamente.

Solubilidade em ácidos: Os minerais apresentam variado grau de solubilidade em ácidos (insolúveis à solúveis). A dissolução de calcários pode provocar **efervescência (não fervura!)** pela emissão de CO_2 , resultante da reação do ácido com o carbonato.

Calcita (CaCO_3): A calcita, inclusive calcita magnesiana e seu polimorfo, a aragonita (mesma composição), entram na composição de partes duras de muitos animais (tabela 1).

Tabela 1.1. Composição mineral das partes duras de alguns invertebrados

| Calcita | Calcita e/ou aragonita | Opala |
|----------------------------|------------------------|------------------|
| Foraminíferos planctônicos | Gastrópodes | Diatomáceas |
| Braquiópodes articulados | Briozoários | Radiolários |
| Ostracódeos | Moluscos bivalves | Silicoflagelados |

a) Você pode testar a dureza da calcita usando uma gilete (aço: dureza = 5-6). Tente produzir um sulco fino, apoiando e movendo a gilete firmemente (e com cuidado!) sobre o cristal. Qual a dureza da calcita (maior ou menor que a do aço)? _____

b) Pingue uma gota de solução de HCl (10%) sobre a superfície do mineral. Qual foi o resultado? _____

Quartzo (SiO_2): c) Muitos organismos têm partes esqueléticas formadas de opala ($\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$), uma forma não cristalina de sílica (Tabela 1.1). O quartzo é uma forma cristalina da mesma substância. Teste a dureza do quartzo com a lâmina de aço. Qual a dureza do mineral (maior ou menor que a do aço)? _____

d) Repita agora o teste de solubilidade ao ácido. Qual foi o resultado? _____

Parte 3) Os mesmos testes realizados com os minerais podem ser agora feitos nos fósseis (com muito cuidado):

a) Examine a concha de braquiópode, um invertebrado de duas valvas desiguais. Veja na tabela a composição da concha. Os resultados dos testes coincidem com a informação na tabela? _____ Por que? _____

b) Examine a valva de molusco bivalve. Veja a composição da concha na tabela. Os resultados dos testes coincidem com a informação da tabela? _____ Por que? _____

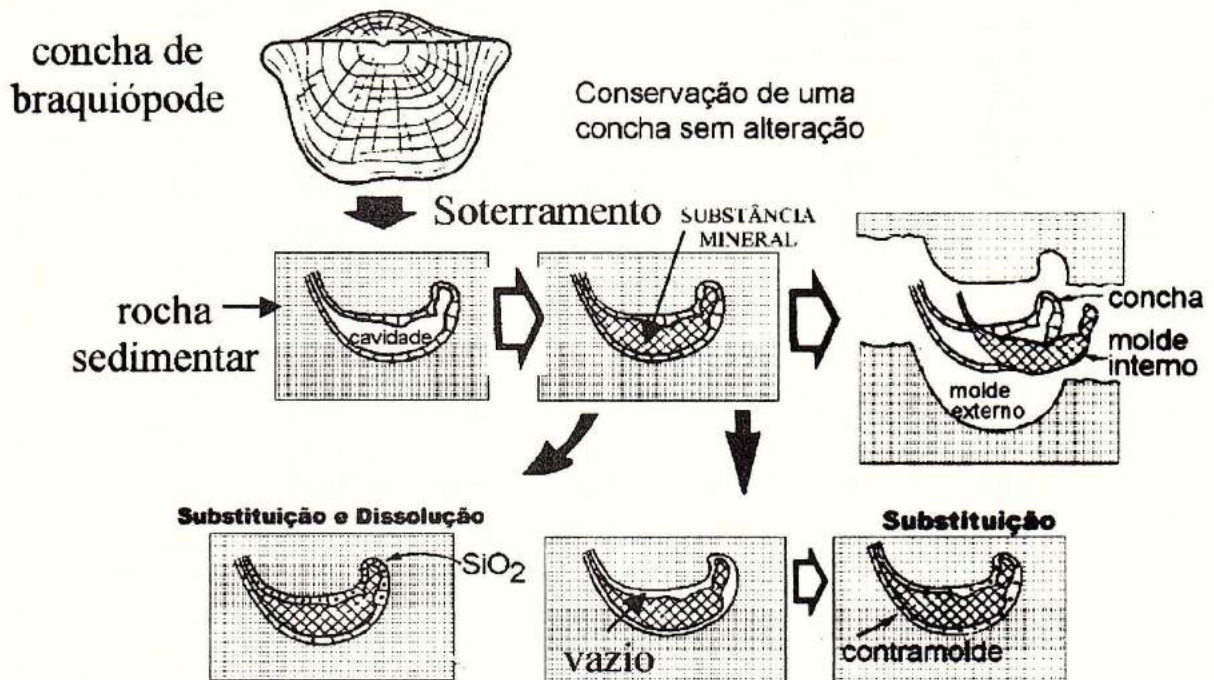


Figura 1.1. Alguns exemplos de processos de preservação (Mendes, 1988).

Parte 4) Categorias de fósseis.

Com a ajuda do esquema abaixo responda as questões.

As duas categorias de fósseis (restos e vestígios) incluem os produtos (A, B, C etc.) de diferentes processos de fossilização (i, ii, etc.)

I. Restos

A. Partes duras e moles sem alteração (Conservação total)

- i. Criopreservação
- ii. Dessecação
- iii. Inclusão em âmbar

B. Partes duras ou resistentes sem alteração

- i. Conservação de parte dura
- ii. Permineralização
- iii. Incrustação

C. Partes duras com decomposição original mas de estrutura reorganizada

- i. Recristalização

D. Partes duras de composição diferente da original

- i. Substituição ou metassomatismo

E. Partes resistentes (orgânicas) duras com alteração da composição e estrutura

- i. Incarbonização ou destilação

II. Vestígios (restos não presentes)

A. Contramolde (ou réplica)

B. Molde interno

C. Molde externo

D. Estruturas biogênicas ou icnofósseis (pistas, tubos, pegadas etc.)

Examine a coleção de fósseis e procure distinguir oito deles como **restos** e/ou **vestígios**, listando-os abaixo.

| Restos | Vestígios |
|-------------------------|------------------------------|
| 1 - <i>concha</i> | 5 - <i>planta</i> |
| 2 - <i>coral rugoso</i> | 6 - <i>coprolito</i> |
| 3 - <i>osso</i> | 7 - <i>Molde de Bivalves</i> |
| 4 - | 8 - |

Processos de fossilização

a) Localize o pedaço de âmbar do Terciário da região báltica (Europa). Examine-o com cuidado, contra a luz e com a ajuda de uma lupa de bolso. O fóssil (ou fósseis) visível(eis) corresponde(m) a resto(s) ou vestígio(s)? resto Além desse(s), que outros organismos ou parte deles poderiam ocorrer no âmbar? _____

No caso de um resto animal, como saber se este estava vivo quando foi incluído? _____

Qual a importância desse processo de fossilização (com respeito, principalmente, a qualidade da preservação)? _____

Além dos fósseis, que outros tipos de informações poderiam estar arquivadas no âmbar? _____

b) De modo geral, certas características, tais como, **brilho, iridescência** (p.ex., brilho multicolor do nácar) são indicações de que o material de uma concha **não se alterou estruturalmente**. Note a qualidade da preservação do fóssil. Trata-se de uma valva de concha de molusco bivalve. Qual a composição original desse tipo de concha (ver Tabela 1)? _____

Teste agora a composição do fóssil e compare o resultado. A composição original foi preservada? _____ E a estrutura? _____ Justifique sua resposta _____

Qual o **processo** de fossilização envolvido? _____

c) Examine o fragmento de osso (trata-se de um vertebrado recente). Note a **capa ou crosta** irregular de material branco-amarelado que o cobre. Teste a sua composição com HCl. Qual o resultado? _____ Faça o mesmo teste (se puder) **em uma superfície limpa do osso**, que não esteja coberta pela crosta. Que resultado obteve? _____ Por que? _____

Procure examinar a parte interna do osso através de uma fratura ou corte. A estrutura está preservada? _____ Qual é o **processo** de preservação? _____

d) Examine o tronco "petrificado" e observe o seu aspecto externo e interno. Repare se existem estruturas da anatomia do vegetal preservadas (p. ex., anéis anuais, casca, vasos etc.). Descreva-as: _____

Você notou alguma alteração na forma geralmente circular do tronco? _____ Descreva:

Qual a possível causa? _____

Teste a composição do fóssil com a lâmina de aço e HCl? Resultado: _____

Qual é o **processo** de fossilização? _____

e) Há dois fósseis a serem examinados. Um deles é um fóssil de **gastrópode**, molusco provido de concha enrolada helicoidalmente e com espaço interno único. O outro fóssil corresponde a uma das valvas de concha de molusco bivalve (pelecípode). Identifique-os pelas etiquetas.

Gastrópode: note que o fóssil é maciço e pesado. Por que? _____

Examine a parte do fóssil correspondente à concha. Teste sua composição com HCl. Resultado: _____

Bivalve: examine agora a concha de bivalve e verifique a sua composição: _____

Confira a composição da concha de gastrópodes e bivalves na Tabela. O que você conclui? _____

Veja agora o aspecto cristalino grosso das conchas. Se puder, estime, em mm, o tamanho de um cristal. _____ Como se chama este **processo** de fossilização? _____

f) Para melhor observar este fóssil examine-o à luz incidente oblíqua. Trata-se de um vegetal (provavelmente uma pteridófita fóssil do Carbonífero), preservado em folhelho escuro. Note que parte da superfície do fóssil brilha, quando iluminada. Esse brilho corresponde à uma película carbonosa (substância também escura e que se confunde com a matriz rochosa). Em outras partes opacas do fóssil a película foi removida. As partes brilhantes do fóssil correspondem a uma incarbonização ou destilação. Como ocorre este **processo** de fossilização? _____

g) Identifique a concha de **braquiópode** parcialmente envolvida pela matriz rochosa e teste com a lâmina de aço e com HCl a composição da concha. Compare o resultado com a informação da Tabela 1. Resultado: _____

Note os pormenores morfológicos preservados no fóssil (ornamentação principalmente). Qual o processo de fossilização? _____

Teste agora (se for possível) a composição do material que envolve a concha. Resultado: _____ O que você conclui sobre a composição da rocha que continha o fóssil? _____

h) Identifique o molusco bivalve. Note o aspecto biconvexo do espécime e as impressões dos músculos, linha palial etc. Em alguns casos, é possível que restos de concha estejam preservados junto aos espécimes. Que **processo** de preservação é este? _____

i) Examine a amostra contendo vários espécimes. Trata-se também de um molusco bivalve, do gênero *Heteropecten* do período Permiano, proveniente do Estado de Santa Catarina. A valva representada é a esquerda. Que tipos de estruturas aparecem sobre a superfície convexa do fóssil? _____

A concha do animal está preservada? _____ Qual é o processo de fossilização do espécime? _____

j) Observe as marcas sobre o plano de estratificação da amostra de **varvito**. Aproveite para notar que a rocha é organizada em camadas e lâminas claras e escuras, características típicas de rocha sedimentar. As marcas são atribuídas à atividade de invertebrados que viviam no fundo de um lago, durante o período Permiano, em Itu, SP. Que tipo de fóssil é este? _____

Examine as características das marcas (forma; dimensões; saliências; reentrâncias)? São contínuas? _____ A distribuição é caótica ou ordenada? _____ Como você interpretaria essas características, levando em conta a atividade do organismo? _____

Há evidências de patas? _____ Descreva: _____

No caso de existirem várias marcas diferentes, na mesma amostra, poderiam elas ter sido deixadas por uma única espécie? _____. Justifique: _____

_____ Ou por espécies diferentes? _____ Explique: _____

Compare suas observações com a ilustração abaixo (Fig. 2). O autor interpreta marcas semelhantes aos da amostra, atribuindo-as a crustáceos aquáticos, bentônicos. Segundo ele, as formas diferentes das marcas (que recebem nomes "genéricos" distintos de *Isopodichnus* e *Diplichnites*), resultariam de um maior ou menor contato com o sedimento do fundo, durante "pastagem" ou locomoção. Esta explicação aplica-se a amostra? Comente? _____

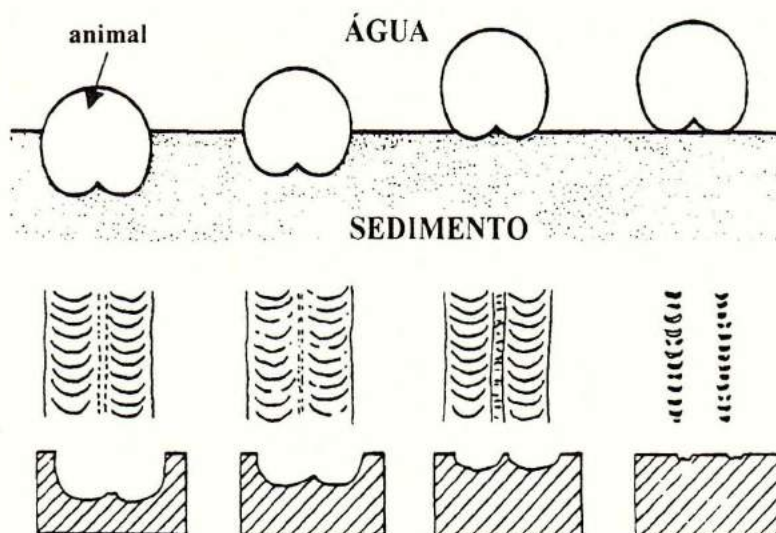


Figura 1.2. Interpretação de marcas atribuídas a artrópodes em sedimento siltico-arenoso.

Parte 5) Tafonomia

Tafonomia comparada, o estudo da preservação diferenciada dos fósseis, inclui a análise do **arranjo dos fósseis na rocha** (p.ex., fósseis dispersos, agrupados etc.) e das feições impressas nos próprios fósseis (p.ex., conchas fragmentadas, desgastadas etc.), que podem estar relacionados aos processos geológicos atuantes no ambiente na época da deposição dos sedimentos. Dependendo da sua morfologia, estrutura e composição, os esqueletos estarão sujeitos, de maneira variada, a processos como, **reorientação** (p.ex., para uma posição distinta da posição de vida), **desarticulação**

(p.ex., de esqueletos multielementos, ou sejam de diversas partes interligadas), **fragmentação** (no caso de esqueletos frágeis), entre outros. As feições nas rochas e nos fósseis que nos permitem reconhecer a atuação desses processos (e de outros) de fossilização são convenientemente chamadas de assinaturas tafonômicas. A identificação de combinações de assinaturas tafonômicas permite caracterizá-las dentro das rochas sedimentares como unidades distintas chamadas **tafofácies**.

No presente exercício o estudante iniciará a aprendizagem os conceitos e da prática da tafonomia.

a) Tipos de esqueleto

Através da análise detalhada dos fósseis, e com o auxílio das informações contidas nas etiquetas identifique na coluna "exemplos," os tipos de esqueletos fornecidos. As informações contidas nas colunas intermediárias só serão utilizadas nas aulas práticas posteriores.

Tabela 1.2. Susceptibilidade de tipos diferentes de esqueletos a processos mecânicos destrutivos.
PROCESSOS MECÂNICOS DESTRUTIVOS

| Tipo de esqueleto | Transporte intacto | Desarticulação | Fragmentação | Corrasão | Exemplos |
|------------------------------------------|--------------------|----------------|--------------|----------|----------|
| A. Unitário | | | | | |
| 1. Maciço, domiforme | - | na | - | + | |
| 2. Incrustante | - | na | - | ++ | |
| 3. Ramoso, robusto | + | na | + | + | |
| 4. Ramoso frágil | - | na | ++ | - | |
| 5. Concha univalve | ++ | | + | + | |
| B. Composto | | | | | |
| 1. Concha bivalve, espessa | + | + | + | + | |
| 2. Concha bivalve, fina | ++ | + | ++ | - | |
| 3. Multi-elemento, fortemente suturado | + | ++ | + | + | |
| 4. Multi-elemento, fracamente articulado | - | ++ | + | - | |

Símbolos: - raramente sujeito ao processo; + sujeito ao processo; ++ altamente sujeito ao processo; na não aplicável.

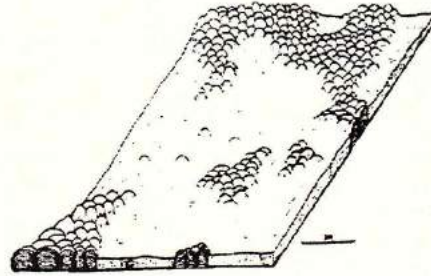
b) Identifique no diagrama abaixo o **hábito de vida** de cada um dos organismos de acordo com conceitos: nectônico, planctônico, bentônico sésil da epifauna, bentônico vágil da epifauna, bentônico escavador raso, escavador profundo, escavador da semi-infauna. Identifique também os hábitos alimentares: suspensívoro, predador carnívoro, detritívoro.

Comunidade de fundo marinho lamoso (Jurássico)

- a. pectinídio de concha fina (Pterioida)
- b. *Yoldia* (Palaeotaxodonta- nculóide)
- c. lucinídio (Veneroida)
- d. *Thracia* (Anomalodesmata)
- e. ceritídio (Mesogastropoda)
- f. *Dicroloma* (Mesogastropoda)
- g. *Pinna* (Mytiloida)
- h. *Gryphaea* (Pterioida-ostrea)
- i. *Rhaxella* (Hyalospongia)
- j. *Rhizocorallium* (fóssil traço-crustáceo)
- k. *Chondrites* (Ft. anelídeo)
- l. *Amoeboceras* (Ammonoidea)
- m. belemnite (Coleoidea)
- n. *Exogira* (Pterioida-ostrea)



Figura 1.3. Bloco diagrama ilustrando a disposição de fósseis e reconstituição da paleocomunidade de um fundo marinho lamoso do Jurássico (McKerrow, 1978).



2. Vida no Pré-Cambriano e seu registro paleontológico

Introdução

Nos últimos anos, pesquisas em vários campos têm revelado diversos aspectos do surgimento e evolução precoce da vida na Terra. Bioquímicos têm simulado possíveis condições ambientais dos primórdios da Terra, na tentativa de entender como se formaram os compostos básicos para a origem da vida. Astrônomos e planetólogos investigam a atmosfera e superfície dos planetas e asteróides e procuram novos sistemas solares na busca de evidências de vida fora da Terra. Os geólogos procuram restos e vestígios de vida nas rochas sedimentares depositadas antes do período Cambriano quando apareceram, pela primeira vez, os metazoários com carapaças e conchas, que assinalaram o início do Éon Fanerozóico. São os paleontólogos, biogeoquímicos e estratígrafos que vasculham este **registro pré-cambriano**, à procura de fósseis que possam elucidar a origem e evolução inicial da vida.

TEMPO PRÉ-CAMBRIANO

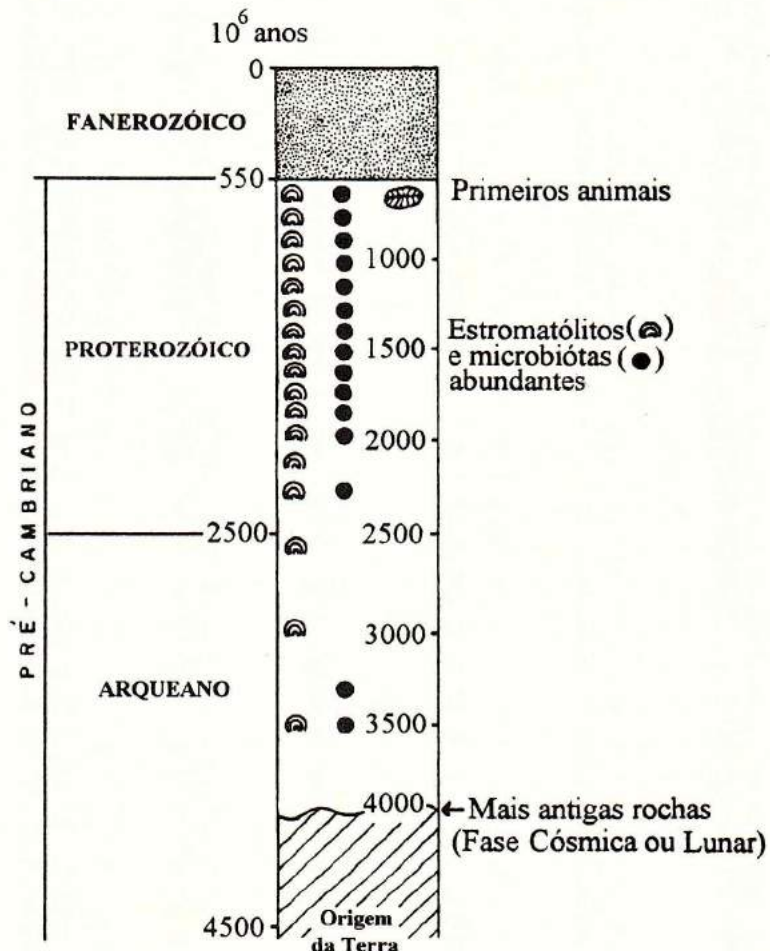


Figura 2.1. Tempo geológico e a distribuição de abundantes estromatólitos e microbiotas no Pré-Cambriano.

O termo Pré-Cambriano refere-se ao imenso período de tempo que antecedeu o Cambriano, a primeira subdivisão da Era Paleozóica, que, juntamente com as Eras Mesozóica e Cenozóica, faz parte do Éon Fanerozóico (de *phaneros* e *zoos*, "vida visível"). Às vezes, na literatura geológica, pode ser encontrado o termo sinônimo, Criptozóico ("vida escondida"), atualmente considerado arcaico. O Pré-Cambriano é subdividido em dois éons, o **Arqueano**, mais antigo, englobando o tempo desde a origem da Terra, há 4,5 Ga, (*Giga-anos*, ou bilhões de anos) até 2,5 Ga, e o **Proterozóico**, mais novo, de 2,5 Ga até aproximadamente 550 Ma (*Mega-anos*, ou milhões de anos) (Fig. 1). É cada vez mais comum o uso dos termos Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico para se referir aos intervalos (eras) do Proterozóico entre, respectivamente, 2,5-1,6 Ga, 1,6-1,0 Ga e 1,0-0,55 Ga.

Mas o registro geológico mais antigo da Terra -- rochas metamórficas do norte do Canadá -- foi datado de "apenas" 4 Ga, não havendo, portanto, vestígios preservados do primeiro meio bilhão de anos da história da Terra. Alguns pesquisadores referem-se a este período "perdido" como a "**Fase Cósmica ou Lunar**" da nossa história porque durante este tempo a Terra, bem como a Lua e os outros planetas, passaram por processos semelhantes de consolidação da superfície e formação da atmosfera. Enquanto isto, caía sobre o planeta todo tipo de "lixo" espacial (meteoritos, asteróides, cometas etc.), que abundava nesta época.

Exercícios:

Parte 1) a) Com base na Fig. 1, o registro fanerozóico representa que proporção da história da Terra registrada nas rochas? _____

b) O Pré-Cambriano representa um intervalo de tempo quantas vezes mais longo do que o Fanerozóico? _____

c) Porque a Lua guarda evidências da "Fase Cósmica" do Sistema Solar (p. ex., crateras e rochas com mais de 4 Ga) e a Terra não? _____

VIDA PRÉ-CAMBRIANA

Se os primeiros metazoários com conchas e carapaças surgiram somente há 550 Ma, *muitas* inovações evolutivas devem ter se originado bem antes desta data.

Parte 2) Antes de ler mais adiante, liste três desses eventos importantes. _____

A lógica nos diz que os animais sem carapaças devem ter existido por um tempo indeterminado antes de 550 Ma e certamente eram, inicialmente, minúsculos, provavelmente microscópicos. É evidente, também, que os animais (que são consumidores ou **heterótrofos**), devem ter sido precedidos por organismos produtores, ou seja, por **autótrofos** fotossintetizadores, algas, por exemplo, também microscópicas no início e somente mais tarde atingindo tamanho macroscópico.

Mas algas e animais são idênticos em termos de organização intracelular: ambos são **eucarióticos**, isto é, providos de organelas intracelulares, núcleo e cromossomos lineares e capazes de se reproduzir assexuadamente (por mitose) e, na maioria dos casos, também sexuadamente (por meiose). Antes dos eucariontes surgirem, porém, deve ter existido um mundo só de **procariontes**, como as bactérias, cianobactérias ("cianofíceas") e arqueobactérias atuais, microrganismos sem organelas intracelulares nem núcleo e com cromossomos circulares e apenas formas simples de reprodução assexuada (fissão).

E antes dos procariontes o que teria existido? Evidentemente, apenas sistemas de vida ainda mais simples, como, por exemplo, meros complexos de proteínas e/ou ácidos nucléicos, desprovidos de qualquer invólucro celular, que se "alimentavam" de compostos orgânicos, produzidos abioticamente na hidrosfera e na atmosfera primitivas. Finalmente, o ponto de partida de toda a história biológica na Terra teria sido a própria origem da vida.

FÓSSEIS PRÉ-CAMBRIANOS

Embora estudos bioquímicos e experiências biológicas possam nos fornecer hipóteses sobre a origem e evolução precoce da vida, ainda são os fósseis que documentam e corroboram estas hipóteses e estabelecem a ordem e cronologia dos eventos evolutivos. A aparente ausência de fósseis em rochas pré-cambrianas constituiu, desde os tempos de Darwin até recentemente, um problema sério da Paleontologia. Contrastado com o registro extremamente abundante de fósseis fanerozóicos, o registro pré-cambriano, aparentemente paupérrimo em fósseis, parecia estar faltando seus últimos capítulos, justamente aqueles que precederam o surgimento dos primeiros invertebrados com conchas, cujo sinalizou o início do Cambriano.

Sabemos agora que esta visão do registro fóssil pré-cambriano estava errada por pelo menos duas razões: Primeiro, evidências acumuladas desde 1960 apontam para uma verdadeira explosão adaptativa dos metazoários macroscópicos nas últimas poucas dezenas de milhões de anos do Pré-Cambriano, o que demonstra, portanto, que os invertebrados macroscópicos não gozavam, necessariamente, de uma longa história pré-cambriana, história esta "misteriosamente escondida" dos olhos de gerações de paleontólogos. E, segundo, foi descoberto, neste mesmo período, um registro fóssil pré-cambriano surpreendentemente rico e extenso, não de organismos macroscópicos, mas sim de formas microscópicas, unicelulares e coloniais, muito simples, em grande parte atribuíveis aos procariontes. Com isso, tornou-se evidente, pois, que o Pré-Cambriano foi a **era da vida microscópica** ou a **era da vida procariótica**.

Assim, podemos falar de seis categorias distintas de fósseis pré-cambrianos: 1) **estromatólitos**, bastante comuns em rochas carbonáticas; 2) **microfósseis orgânicos**, permineralizados por sílica em carbonatos ou preservados por compactação e carbonização em folhelhos; 3) **fósseis químicos**, compostos orgânicos de origem biológica encontrados sob forma "insolúvel" (restos de microfósseis e carvão, por exemplo) ou "solúvel" (petróleo, por exemplo); 4) **filmes carbonosos**, principalmente os restos carbonizados de fragmentos de esteiras microbianas (ver definição mais adiante) ou, em alguns casos, possivelmente de algas multicelulares; 5) raros **icnofósseis**; e 6) raras **impressões (moldes) dos corpos "moles"** de invertebrados primitivos sem carapaças. De todos estes, os mais comuns são os estromatólitos e os mais raros os icnofósseis e moldes de invertebrados, que só aparecem no fim do Neoproterozóico (provavelmente entre 610 e 550 Ma).

ESTROMATÓLITOS

Estromatólitos são estruturas biossedimentares, de laminação geralmente fina e convexa, que resultam do crescimento e das atividades metabólicas de comunidades de micróbios bentônicos autotróficos, sobremaneira de cianobactérias (antigamente conhecidas como cianofíceas ou "algas azúis"). O crescimento rápido de microrganismos filamentosos e, subordinadamente, de colônias de células cocóides, acompanhado pela secreção de abundante mucilagem por estes organismos e, comumente, pela precipitação de carbonato, fixa estas comunidades firmemente no substrato, muitas vezes aglutinando ou retendo sedimento na sua superfície ou no seu interior e formando verdadeiras "esteiras microbianas" de poucos milímetros de espessura. O empilhamento de sucessivas esteiras deste tipo resulta na construção das estruturas maiores que conhecemos como estromatólitos. A grande maioria dos estromatólitos se formou em ambientes marinhos ou perimarinhas (lagunas, zona supramaré etc.), mas também ocorrem estromatólitos lacustres.

Os estromatólitos apresentam formas variadas (Figs. 2 e 3): estratiformes, dômicas, colunares de diversos tipos, pseudocolunares e até esferóides (estas costumariamente chamadas de **oncólitos**). Na década de 60, quando se iniciavam estudos de estromatólitos modernos, pensava-se que os estromatólitos pudessem ser caracterizados, morfológicamente, com base no formato e tipo de empilhamento de suas lâminas em combinação com o grau de ligação entre indivíduos próximos. Daí, surgiu o esquema de fórmulas simples de Logan, Rezak & Ginsburg (1964), que é ilustrado na

Fig. 3. Embora seja adequado para descrever estromatólitos simétricos e simples, este esquema torna-se pouco prático para formas mais complexas, que são, de fato, muito comuns.

Atualmente, portanto, as feições morfológicas mais úteis para a descrição de estromatólitos são: 1) forma geral (Fig. 1.2); 2) dimensões (altura, largura e comprimento, ou diâmetro); 3) características da laminação (grau de convexidade, espessura, relevo laminar, regularidade)



Figura 2.2. Modo de ocorrência e tipos morfológicos básicos de estromatólitos.

Estromatólitos individuais variam em dimensão de milimétricos a métricos e ocorrem em rochas carbonáticas isolados ou densamente agrupados em corpos lenticulares (**biohermas**), ou em camadas mais ou menos regulares (**bióstromas**) contínuas por distâncias centimétricas a quilométricas (Fig. 2). São conhecidos na Austrália e na África do Sul desde 3,5 Ga, e existem ainda hoje em dia. Seu registro é algo escasso no Arqueano, extremamente abundante no Proterozóico mas muito restrito, tanto em abundância como em habitats representados, no Fanerozóico. Estromatólitos são conhecidos em rochas pré-cambrianas de todos os continentes, menos Antártica.

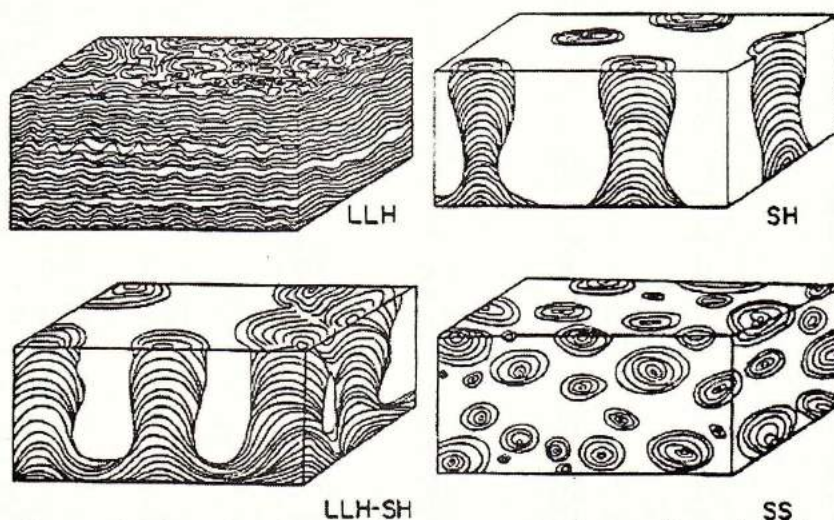


Figura 2.3. As formas básicas de estromatólitos, segundo Logan, Rezak e Ginsburg (1964).

No Brasil, os estromatólitos mais antigos ocorrem perto de Ouro Preto no Quadrilátero Ferrífero, MG, têm 2,1-2,4 Ga, mas apresentam-se deformados e recrystalizados. O principal registro de estromatólitos no País é nos terrenos meso- e neoproterozóicos dos estados de GO, MG, PR, BA (formas substituídas por fosfato) e no DF; também foram registrados em SP, MS, MT, PA, AM e CE.

Estromatólitos fanerozóicos ocorrem localmente no Brasil nas formações permianas Corumbataí/Estrada Nova (SP, PR) e Pedra de Fogo (MA), bem como nos sedimentos quaternários da Lagoa Salgada (agora praticamente seca) do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, onde se formaram há menos de 2.000 anos. Todos estes estromatólitos fanerozóicos se formaram sob condições bem restritas, aparentemente hipersalinas, inóspitas tanto a outros organismos concorrentes pelo mesmo espaço como aos consumidores das comunidades microbianas.

Parte 3) Em grupos de duas ou três pessoas comparar as amostras de estromatólitos com os esquemas em Figs. 1.2 e 1.3. Cada pessoa deve desenhar (no espaço na p. 13) uma das amostras, identificando as feições (forma geral, dimensões, características da laminação e outras) que você consegue reconhecer no espécime. Como é que as três amostras diferem entre si? _____

Que importância têm os estromatólitos para a Paleontologia e Geologia? Vejamos:

A) As figs. 1.4 e 1.5 ilustram, esquematicamente, a distribuição de estromatólitos modernos em Hamelin Pool, no extremo sul de Shark Bay na costa NW da Austrália. Como se pode ver na Fig. 1.4, há uma certa correlação entre a **energia do ambiente** e a forma dos estromatólitos, sendo que os estromatólitos estratiformes (LLH) são mais característicos de ambientes de menor energia, e as formas colunares (SH) e oncólitos (SS) mais típicas de zonas agitadas. Formas ligadas entre si (LLH) representariam condições intermediárias. A Fig. 1.5 mostra outro aspecto da relação energia/formato, ou seja, a tendência dos estromatólitos ficarem mais cilíndricos onde as ondas e correntes vêm de várias direções (nos pontões, por exemplo), e alongados, horizontalmente, onde a direção das correntes é constante (na costa exposta).

B) Os organismos responsáveis pela construção de estromatólitos são fotossintetizadores. Este fato permite uma série de inferências importantes:

a) Portanto, a rocha portadora deve ter se formado dentro da zona fótica, ou seja, a menos de 200 m de **profundidade** e, no caso de bio-hermas e bióstromos bem desenvolvidos, certamente em águas de poucos metros ou poucas dezenas de metros de profundidade, ou até na zona entre marés ou de supramaré. A análise da forma estromatolítica e das estruturas sedimentares associadas permite estimar ainda mais especificamente a profundidade do ambiente deposicional (Tabela 1.1).

b) Sendo os estromatólitos indicadores de águas rasas, eles também podem indicar **proximidade à linha da costa** e, às vezes, no caso de biohermas ocorrem alinhados, podem até o contorno aproximado da linha da costa da época.

c) Dada sua dependência da luz, os micróbios responsáveis pelos estromatólitos tendem a formar lâminas convexas para cima, o que permite determinar a **direção de topo e base de rochas** em sequências complexamente deformadas.

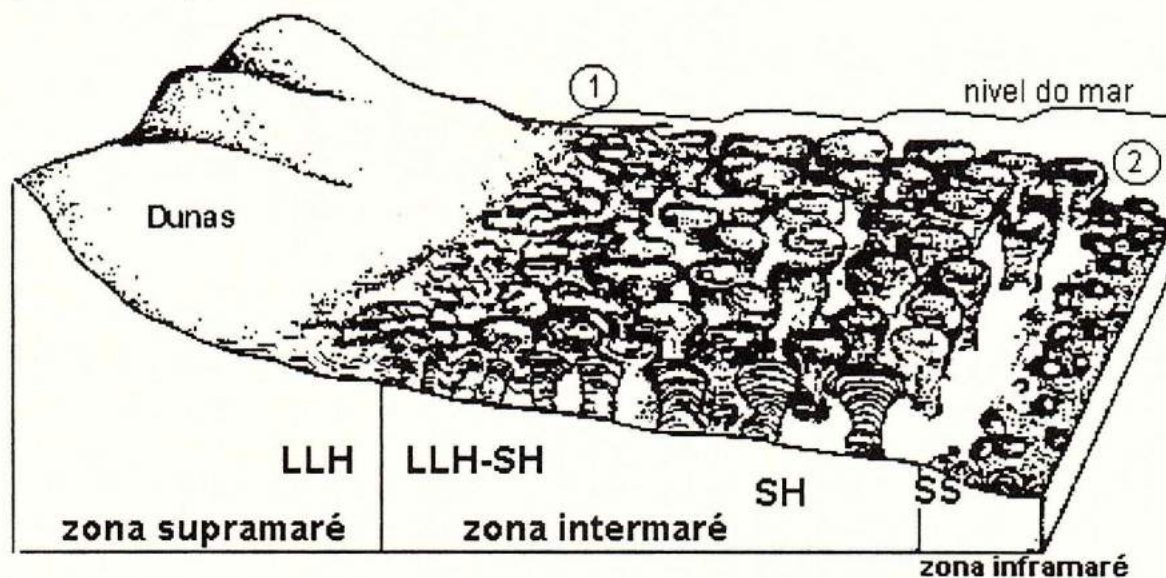


Figura 2.4. Distribuição dos estromatólitos atuais, segundo o exemplo de Shark Bay (Oeste da Austrália).

d) A presença de estromatólitos é, afinal, uma importante **evidência de vida**, não apenas de microrganismos fotossintetizadores, mas, também, de um ecossistema bentônico razoavelmente complexo. Daí surge a importância da descoberta de estromatólitos em rochas com até 3,5 Ga de idade na África do Sul e na Austrália.

C) A necessidade de luz para a construção de estromatólitos e a fortíssima associação dos estromatólitos a rochas carbonáticas sugerem que seu desenvolvimento se dá melhor sob **clima tropical a subtropical**, em **condições tectônicas calmas** e **afastados de fontes de sedimentos terrígenos** (argila, silte, areia de quartzo, feldspato etc.). Se não, a acumulação de carbonato por precipitação não seria favorecida no sítio deposicional.

Use o espaço abaixo para esquematizar abaixo alguns exemplos de estromatólitos (parte 3).

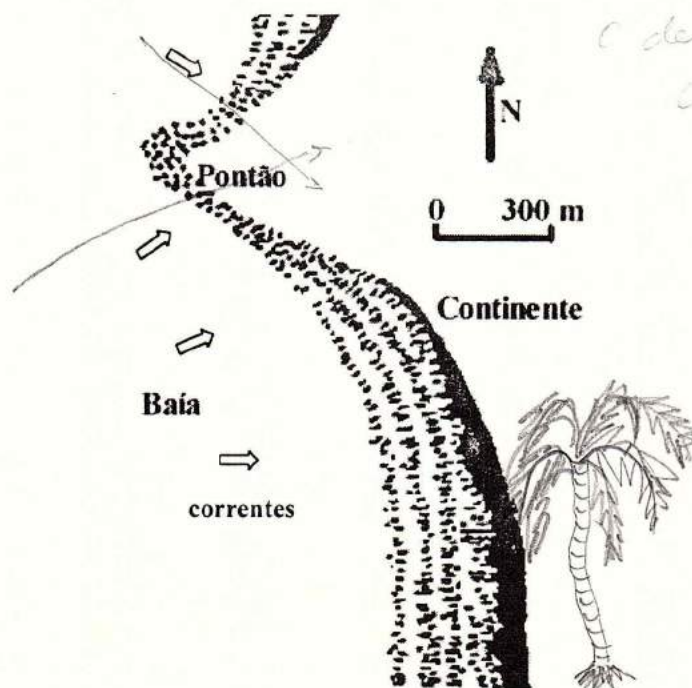


Figura 2. 5. Planta esquemática mostrando a mudança morfológica em estromatólitos ao longo da costa de Shark Bay. Nos pontões, os estromatólitos são circulares em planta, mas mudam para formas mais alongadas agrupadas em faixas paralelas à costa nas baías expostas.

Parte 4) Por que você acha que estromatólitos não ocorrem tipicamente em sedimentos argilosos e siltosos?

| MORFOLOGIA DOS ESTROMATÓLITOS | ESTRUTURAS ASSOCIADAS | | | | | | TURBULÊNCIA | | INFRAMARÉ INFRAMARÉ SUPRAMARÉ |
|-------------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|-------------|------|-------------------------------------|
| | A | B | C | D | E | F | BAIXA | ALTA | |
| | | | | ✓ | ✓ | ✓ | — | --- | — |
| | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | — | — |
| | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | — | — |
| | ✓ | ✓ | | ✓ | | | — | | — |
| | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | — | | — |
| | ✓ | ✓ | ✓ | | | | --- | — | — |
| | ✓ | ✓ | | | | | — | | — |
| | | | | | | | — | | — |

Tabela 2.1. Análise paleoambiental de associações de estromatólitos e estruturas sedimentares primárias. A, marcas onduladas (= movimento d'água); B, estratificação cruzada (= correntes); C, oólitos (= águas agitadas, rasas); D, evaporitos (= alta salinidade, exposição ocasional); E, gretas de contração (= ressecção); F, brechas contemporâneas (= ressecção, retrabalhamento).

D) Finalmente, pesquisadores soviéticos constataram que se pode caracterizar períodos, da ordem de várias centenas de milhões de anos, dentro do Meso- e Neoproterozóico com base em associações de estromatólitos diferentes. Ao contrário da bem conhecida sucessão de faunas e floras no Fanerozóico (a base da bioestratigrafia), a sucessão de associações de estromatólitos proterozóicos não envolve, diretamente, a evolução de espécies biológicas individuais e, sim, conjuntos de *estruturas biossedimentares*, resultantes de processos sedimentológicos e da dinâmica de ecossistemas microbianos bentônicos inteiros. Não se pode distinguir entre formas "ancestrais" e "descendentes", nem entre formas "primitivas" e "avançadas", nos estromatólitos proterozóicos, apenas mudanças gerais, constatadas empiricamente, em quase todas as formas. O porquê destas mudanças não é tão importante aqui, mas o que é significativo, de fato, é que estes estudos permitem **correlacionar** sequências estromatolíticas dentro e entre bacias sedimentares, ainda com conotações cronológicas em alguns casos.

REGISTRO PALEONTOLÓGICO E GEOLÓGICO DOS PRINCIPAIS EVENTOS EVOLUTIVOS DO PRÉ-CAMBRIANO

Nem todos os eventos evolutivos mais importantes do Pré-Cambriano deixaram um registro claro nas rochas, a própria origem da vida, por exemplo. Mas há uma quantidade surpreendente de informações paleobiológicas disponíveis para esta época tão remota.

Não há nenhuma evidência direta da **origem da vida** preservada no registro geológico.

Mesmo se esta evidência existisse é muito provável que ela passaria despercebida por nós, dada a simplicidade e tamanho (ínfimo) dos primeiros seres vivos e a decomposição que estes teriam sofrido. Contudo, o fato de existirem estromatólitos, microfósseis parecidos com cianobactérias (Fig. 6) e fósseis químicos indicativos da fotossíntese nas mais antigas sequências sedimentares conhecidas, datadas em 3,5 Ga, significa que a vida surgiu e os **primeiros procariontes, processos de fotossíntese e ecossistemas bentônicos complexos** se desenvolveram antes desta data. Devido ao intenso bombardeio meteorítico que assoalhou todos os planetas nas primeiras centenas de milhões de anos da história do Sistema Solar, é difícil imaginar que qualquer forma de vida pudesse ter sobrevivido por muito tempo durante os primeiros 500 milhões de anos da história da Terra. É tentador especular que a vida possa ter surgido no pequeno intervalo entre 4,0 e 3,5 Ga! Mas mesmo que pudéssemos encontrar rochas sedimentares deste período, será que seríamos capazes de *identificar* as evidências da origem da vida?

Toda teoria sobre a origem da vida tem como condição número 1, um ambiente químico redutor para este evento. Se a superfície da Terra é, nos dias atuais, tremendamente oxidante, de onde veio este oxigênio e qual sua importância na evolução? O oxigênio vem da fotossíntese, que transforma água e dióxido de carbono em matéria orgânica com a liberação de oxigênio. A reação é reversível, de modo que o oxigênio é consumido na decomposição da matéria orgânica, a não ser que processos geológicos, como soterramento, protejam a matéria orgânica nos sedimentos longe do oxigênio. Neste caso, o que sobra do oxigênio na superfície oxida outras coisas, como, por exemplo, gases vulcânicos, rochas expostas e compostos reduzidos dissolvidos na hidrosfera, especialmente o ferro ferroso. Eventualmente, a expansão de organismos fotossintetizadores, especialmente as cianobactérias, poderia levar à oxidação mais ou menos completa da superfície terrestre e da hidrosfera, permitindo, em seguida, o acúmulo progressivo de oxigênio livre na atmosfera, sempre modulado, é claro, pelos ciclos geológicos que trabalham e retrabalham a superfície e as entranhas do globo.

O oxigênio foi importante, biologicamente, porque condicionou o aparecimento do processo de respiração, que produz ATP mais eficientemente do que a fermentação, mas só quando o nível de O₂ supera 1% do nível atualmente presente na atmosfera. Os eucariontes se aproveitaram desse processo e acabaram imprimindo um novo ritmo à evolução.

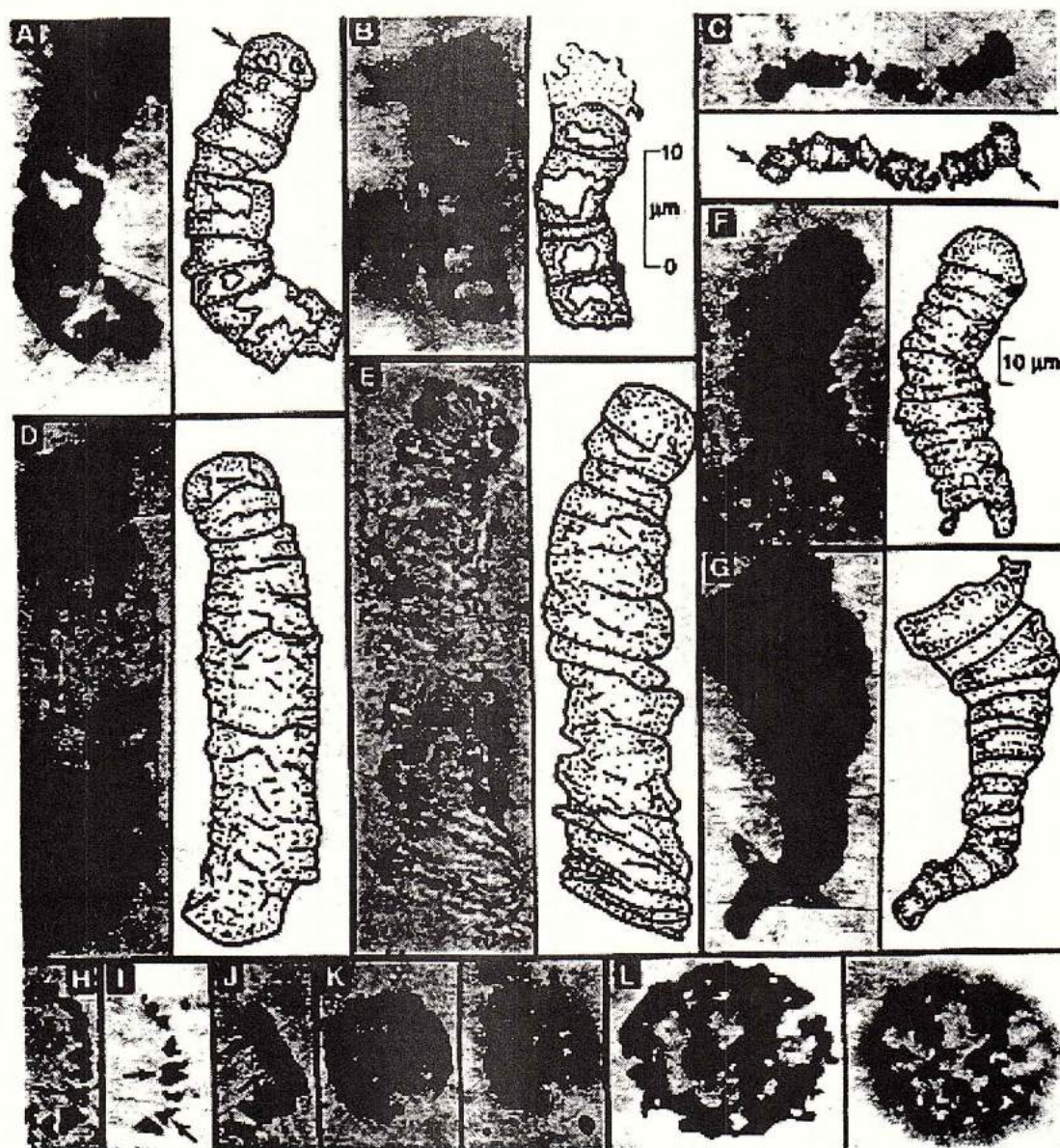


Figura 2.6. Microfósseis carbonosos (A-C, G-L) e pigmentados por óxido de ferro (D-F), com desenhos interpretativos, de lâminas petrográficas de sílex da Formação Apex (3,5 Ga), NW Austrália. Observar formas filamentosas e cocóides. A escala em B serve para todas as partes menos C,F,H-J, cuja escala se vê em F. (Extraído de Schopf, 1993).

O oxigênio também condicionou a formação da camada de ozônio na atmosfera, que absorve a faixa de luz ultravioleta mais danosa do espectro solar. Sem oxigênio na atmosfera, esta luz nociva penetraria até 10 m dentro dos oceanos; com 1% do nível atual de oxigênio, penetraria 30 cm; somente quando a atmosfera atingisse 10% do seu nível atual de oxigênio, é que se formaria a camada de ozônio capaz de proteger a vida dentro e até fora d'água.

Parte 5) a) Segundo Fig. 2.7, que mostra, esquematicamente, o desenvolvimento da atmosfera oxidante, quando é que a camada de ozônio teria oferecido proteção pela primeira vez a toda a vida terrestre?

b) Se os eucariontes dependem de um nível de oxigênio atmosférico equivalente a 1% do seu nível atual de oxigênio, quando é que eles podem ter surgido pela primeira vez segundo esta figura?

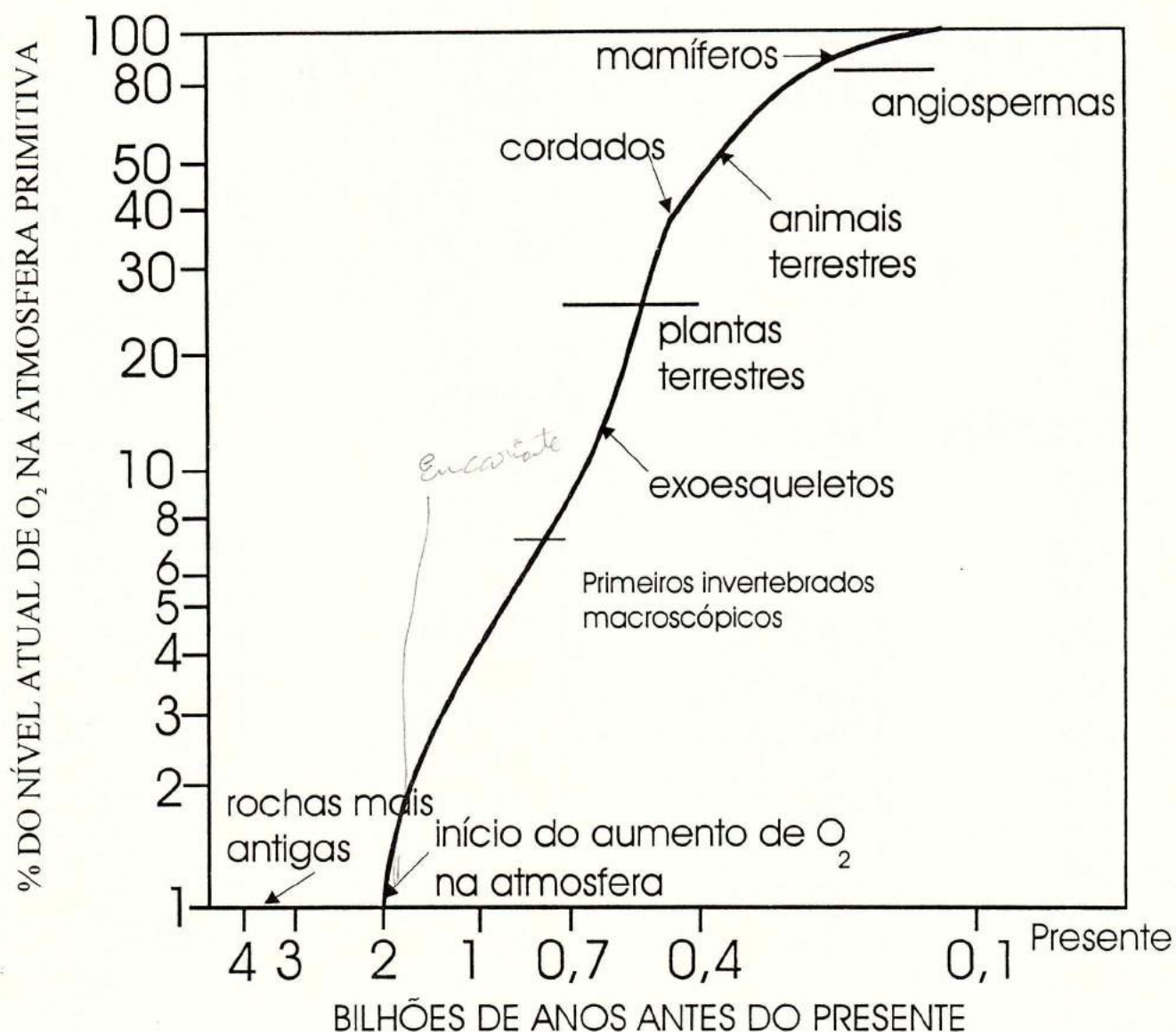


Figura 2.7. Acúmulo progressivo de oxigênio na atmosfera e sua relação com a evolução dos eucariontes (Baseado em P. Cloud). Observar que as escala são logarítmicas e lembrar que o “nível atual” de oxigênio atinge quase 21% da atmosfera.

A Fig. 7 foi construída com base em diversas evidências geológicas e paleontológicas. Primeiro, a grande maioria dos depósitos de ferro no mundo, como os do Quadrilátero Ferrífero e da Serra dos Carajás, depositou-se, por processos sedimentares, no período de 2,7 a 2,0 Ga, e só pode ser explicado se pressupormos condições anóxicas para as regiões profundas dos oceanos dessa época. Microfósseis associados a estes depósitos (Fig. 2.8) parecem ser constituídos ainda apenas de formas procarióticas, inclusive algumas bem bizarras. Certamente, antes de 2,0 Ga, o nível de oxigênio deve ter sido inferior a 1% do nível atual.

Segundo, mais ou menos coincidente com o fim da deposição dos grandes depósitos de ferro aparecem em grande escala, pela primeira vez, rochas sedimentares obviamente depositadas sob condições oxidantes. Pouco depois (entre 2,0 e 1,7 Ga) aparecem as **primeiras evidências de eucariontes**: a) microfósseis muito maiores do que procariontes modernos e b) biomarcadores químicos (=fósseis químicos) derivados de compostos orgânicos produzidos apenas por vias metabólicas eucarióticas. Uma vez que a respiração, essencial a todos os eucariontes mas não a muitos procariontes, só se torna eficiente acima de 1% do nível atual de oxigênio, estas evidências levam-nos a concluir que este patamar deve ter sido ultrapassado, no mínimo, há 2,0 Ga atrás.

Sendo tanto no que os eucariontes podem ser reconhecidos no gráfico. Assim, pela a partir de 2,0 Ga.

De 1,7 Ga até cerca de 1,0 Ga, microfósseis eucarióticos tornam-se cada vez mais comuns, mas, mesmo assim, continuam muito simples e distinguíveis dos procarióticos apenas por seu tamanho maior. Neste mesmo intervalo começam a aparecer filmes orgânicos (sob forma de fitas e elipses milimétricos a centimétricos) que talvez representem as primeiras algas multicelulares.

É só no Neoproterozóico (1,0-0,55 Ga), contudo, que aparecem evidências seguras da diversificação dos eucariontes, talvez como resultado do surgimento da **reprodução sexuada** em torno de 1 Ga ou pouco antes. Estas evidências incluem microfósseis ornamentados (Fig. 9); possíveis algas calcárias; e, no fim do Neoproterozóico (entre 610 e 550 Ma), as **primeiras evidências de metazoários macroscópicos** sob a forma de a) **icnofósseis**, inicialmente muito simples, tornando-se mais complexos e variados pouco antes da passagem para o Cambriano, b) **impressões dos corpos moles de invertebrados** desprovidos de carapaças ("de corpo mole"), como aqueles de Ediacara, no sul da Austrália (Fig. 2.10) que constituem a mais antiga fauna conhecida até hoje, e c) na véspera do Cambriano, os primeiros animais capazes de reforçar seus tecidos com secreções inorgânicas (**biomineralização**), como *Cloudina lucianoi*, da região de Corumbá, MS.

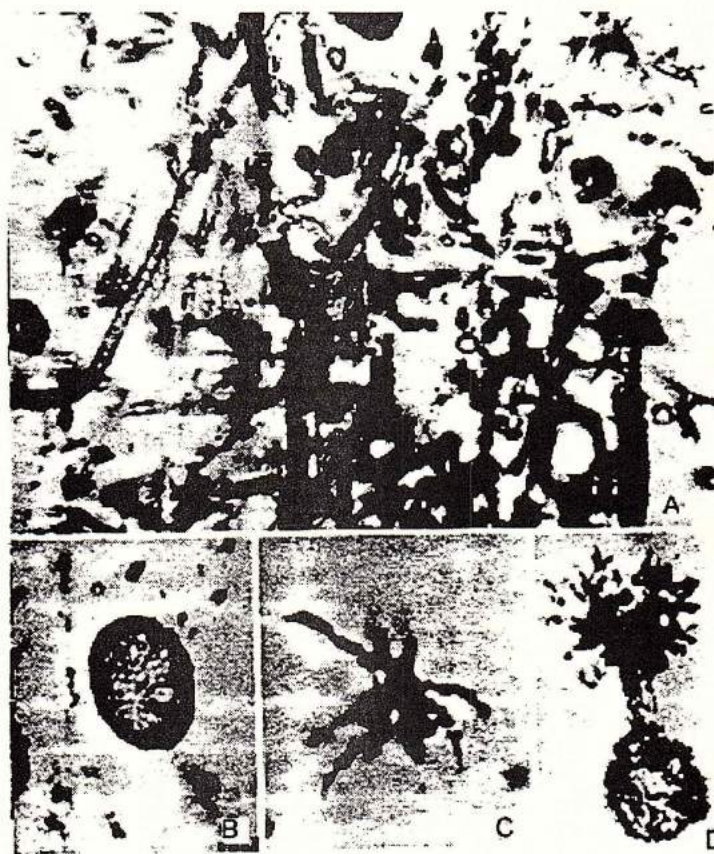


Figura 2.8. Microfósseis carbonosos de estromatólitos silicificados da Formação Gunflint (2,1 Ga), S de Ontário, Canadá. Parte A aumentada cerca de 1000X; partes B-D, cerca de 2000X. Observar a "esteira microbiana" formada por filamentos com cocóides subordinados em A. C e D retratam formas bizarras. O estudo desta microflora em 1965 marcou o início de investigações paleobiológicas modernas do Pré-Cambriano. (McAlester, 1969).

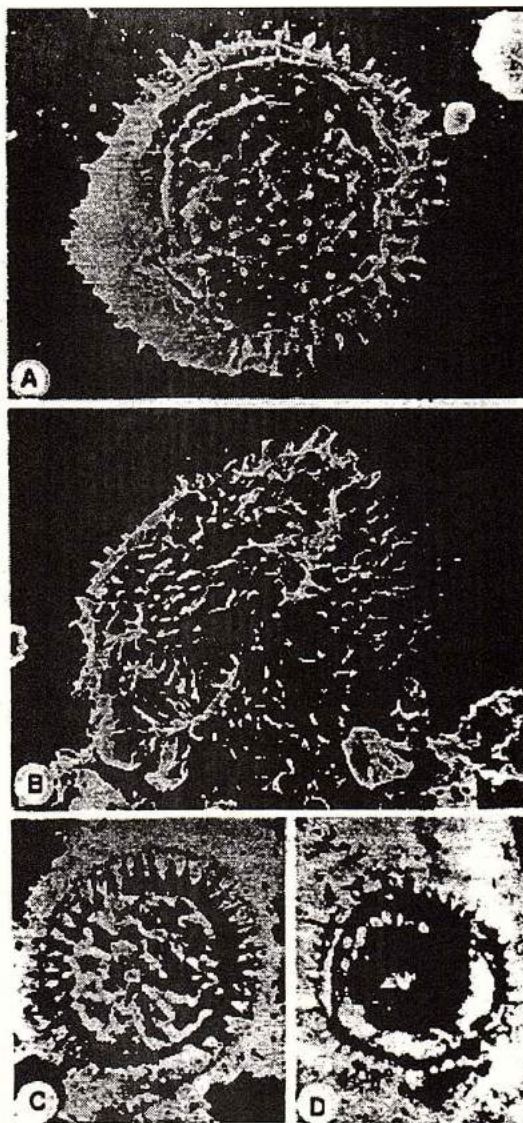


Figura 2.9. Microfósseis carbonosos ornamentados representando elementos do fitoplâncton da parte final do Neoproterozóico da Austrália central (A, B), China (C) e Svalbard (D). Os microfósseis em A e D medem 0,155 mm e em B e C, 0,200 mm. (Knoll e Walter, 1992).

Cálculos que levam em conta o formato muito achatado dos organismos representados pelos fósseis da fauna de Ediacara sugerem que estes animais só poderiam ter sobrevivido se a atmosfera contivesse de 6 a 8% do seu nível atual de oxigênio.

Finalmente, já no contexto do Fanerozóico, com o desenvolvimento das primeiras florestas no fim do Paleozóico, há 350-250 Ma, o nível de oxigênio atmosférico deveria ter se aproximado ao seu nível atual, nível este seguramente atingido quando da origem e rápida expansão das angiospermas, há 100 Ma.

Parte 6) Desenhar na página 20, as réplicas dos fósseis da fauna de Ediacara, indicando no desenho os aspectos morfológicos que sugerem uma vida ativa (vágil) ou passiva (sésil ou planctônica/nectônica) dos organismos originais. Atribua cada espécime a um filo ou grupo biológico ("vermes", "medusa" etc.) se puder. Não se esqueça de indicar o tamanho dos fósseis desenhos.

49 através de escalas gráficas em mm

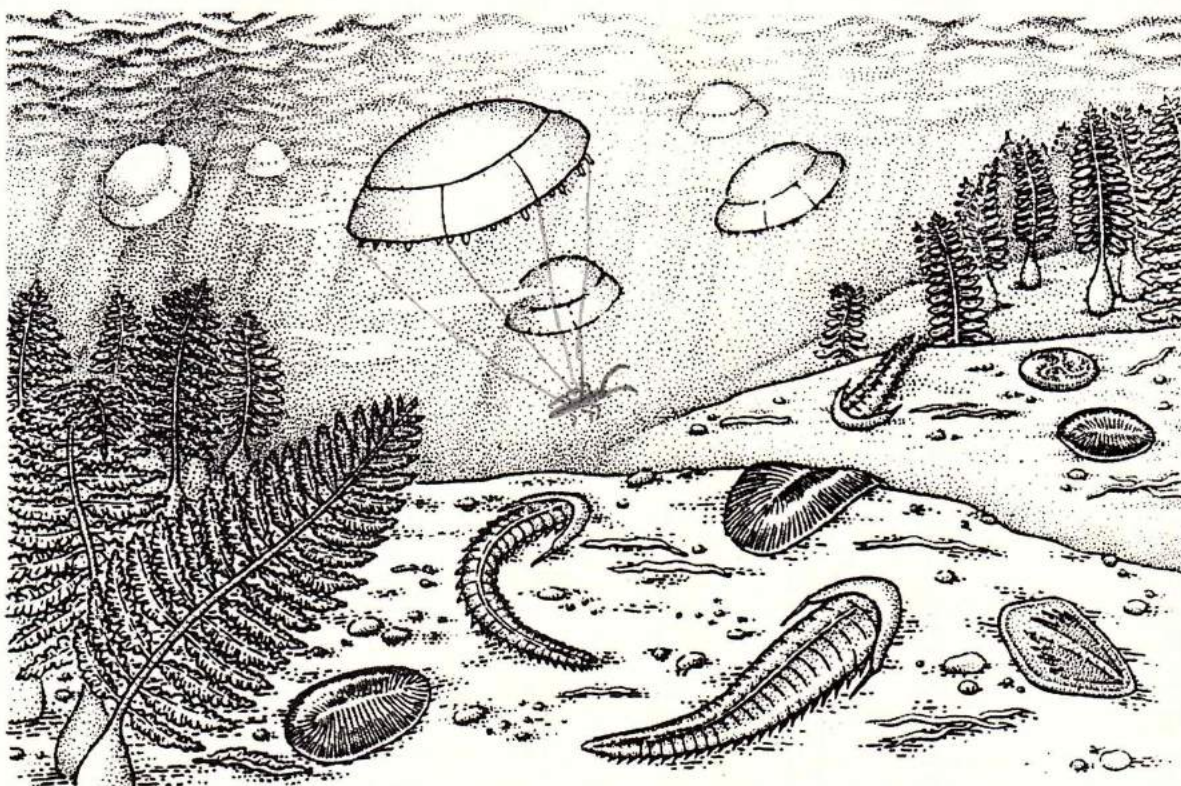


Figura 2.10. Reconstituição do habitat subaquoso e hábitos de alguns animais da fauna de ediacara (Margulis, 1982).

Parte 7) Quais destas réplicas encontram alguma forma correspondente na Fig.2.10? Escreva o número do fóssil ao lado do organismo mais parecido na figura.



3. Micropaleontologia: o exemplo dos foraminíferos fósseis

Introdução

A partir desta aula estudaremos fósseis representativos dos principais grupos de animais e plantas. Tendo em vista a limitação do tempo, exemplares de somente alguns dos grupos paleontologicamente importantes serão examinados em sala de aula. O estudo visa familiarizar o estudante com as características morfológicas fundamentais de cada grupo relevantes para a sua classificação, aspectos da sua paleobiologia, paleoecologia e história geológica e evolutiva. A aplicação prática dos fósseis para a solução de problemas paleoambientais, de datação e correlação das rochas sedimentares será também tratado. Outro aspecto que pode ser analisado refere-se aos processos tafonômicos envolvidos na preservação de cada grupo fóssil.

Foraminíferos: fósseis unicelulares

Os foraminíferos constituem um grupo de organismos unicelulares que vivem sobre o fundo do mar ou como parte do plâncton marinho, ou ainda em água doce ou salobra. O protoplasma da célula dos foraminíferos é em grande parte envolvida por uma carapaça ou testa composta de matéria orgânica secretada (tectina), minerais secretados (calcita, aragonita ou sílica) ou de partículas aglutinadas (grãos de areia, mica). Desse modo, **testas** de foraminíferos podem fossilizar-se, freqüentemente, com preservação da composição e estruturas originais. A testa pode ser constituída de uma única **câmara** (unilocular) ou várias (plurilocular) interconectadas por um **forâme** (abertura). O grupo é documentado desde o Cambriano.

Atualmente, depósitos de testas de foraminíferos podem constituir parte importante dos sedimentos marinhos (vasa de *Globigerina*, espessos depósitos constituídos pelo acúmulo de testas que revestem o fundo de certas regiões dos oceanos atuais). No passado, algumas rochas calcárias foram formadas predominantemente por testas de foraminíferos (calcários numulíticos ou com fusulinídeos). Tendo em vista sua grande diversificação e aumento de abundância, começando no final do Paleozóico, e o surgimento de formas planctônicas no Jurássico, foraminíferos são extremamente úteis como fósseis-guia para a datação e correlação de rochas sedimentares.

A distribuição geográfica dos foraminíferos é controlada por vários fatores ecológicos, o que os torna também importantes no estudo dos paleoambientes da Terra.

As testas de foraminíferos são extremamente variadas quanto à composição da parede, forma e organização. Com base nestas características, cinco subordens são reconhecidas na Ordem Foraminiferida. Apesar de serem na maioria pequenos (submilimétricos) e unicelulares, alguns foraminíferos, podem atingir tamanhos consideráveis (até vários centímetros), como é o caso dos fusulinídeos e numulitídeos. Nesta aula prática, exemplares de foraminíferos de quatro subordens serão examinados para o reconhecimento de algumas de suas feições mais notáveis. Exemplares fósseis de grandes foraminíferos serão também examinados.

Classificação dos foraminíferos (segundo Brasier, 1985)

Reino Protista

Filo Sarcodina

Classe Rhizopoda

Ordem Foraminiferida

Subordem Allogromiina

Subordem Textulariina

Subordem Fusulinina

Subordem Miliolina

Subordem Rotaliina

Exercícios:

Parte 1) Com a ajuda da Tabela 3.1 e das Figuras 3.1 - 4, estude na lâmina seca e esquematize no espaço reservado uma espécie pertencente a cada uma das subordens: **Textulariina**, **Rotaliina**, **Miliolina** e **Fusulinina**. Para isso, primeiramente, examine atentamente as figuras abaixo, tentando identificar as características mais marcantes de cada subordem.

| Subordens | Características |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Subordem Textulariina 4. <i>Hyperammina</i> , <i>Haplostichia</i> e <i>Ammobaculites</i> ; 5. <i>Textularia</i> | Testa aglutinada, reta uniserial ou ligeiramente encurvada. |
| Subordem Fusulinina 8. <i>Fusulinella</i> | Testa secretada microgranular, calcária, multilocular, planispiral involuta, fusiforme. |
| Subordem Miliolina 14. <i>Pyrgo</i> ; 15. <i>Quinqueloculina</i> | Testa secretada calcária, porcelânica, bilocular a multilocular, planispiral. |
| Subordem Rotaliina 22. <i>Globigerina</i> ; 24. <i>Globorotalia</i> (Planctônicas) | Testa calcária, hialina, perfurada, multilocular, enrolada |

Tabela 3.1. Características gerais das subordens de foraminíferos disponíveis para estudo. Os números se referem às células (quadrados) na lâmina seca e os nomes científicos à designação taxonômica do(s) espécime(s) na respectiva célula.

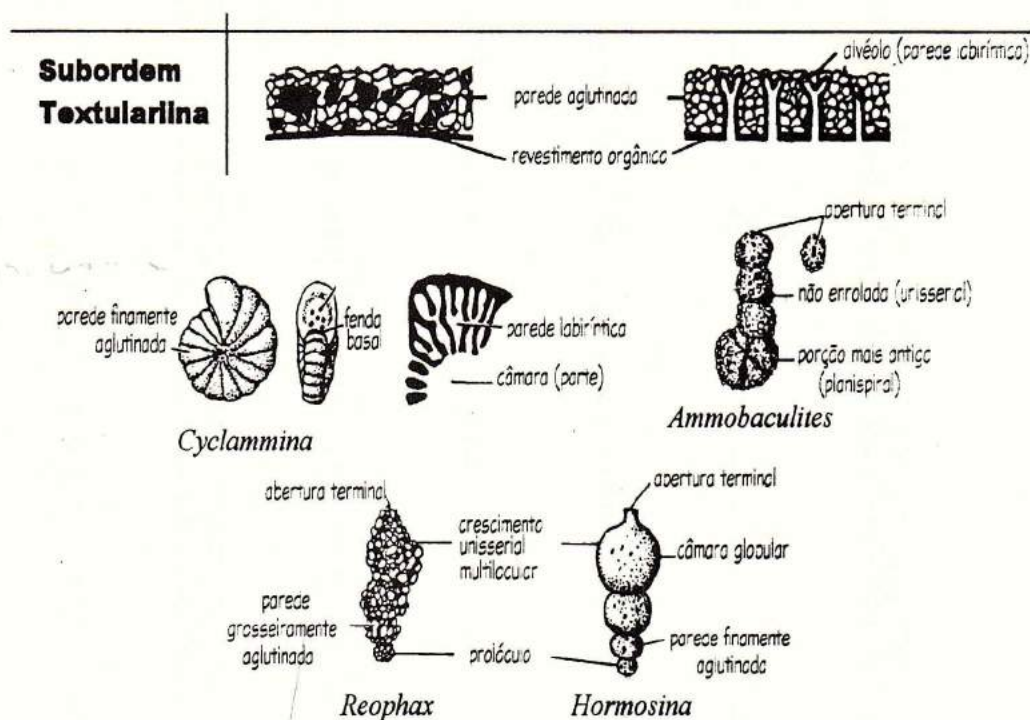


Figura 3.1. Estrutura da parede da testa e aspectos morfológicos de alguns gêneros da Subordem Textulariina (Brasier, 1985).

a) Esquematize o exemplar da Subordem Textulariina examinado.

Subordem Miliolina

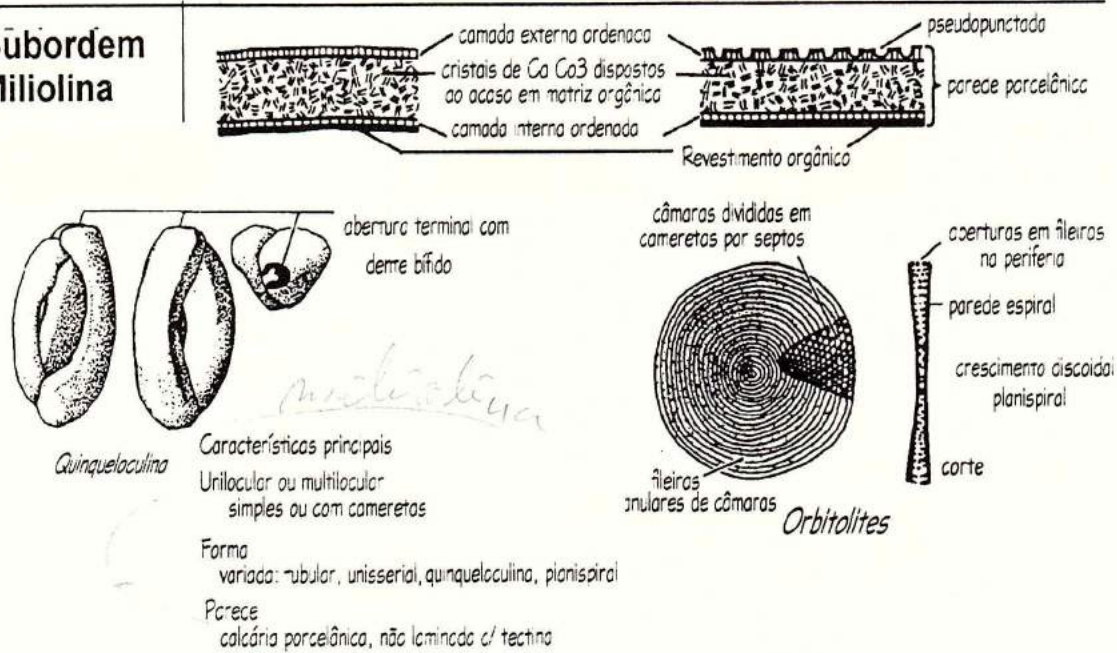


Figura 3.2. Estrutura da parede da testa e aspectos morfológicos de alguns gêneros da Subordem Miliolina (Brasier, 1985).

b) Esquematize o exemplar da Subordem Miliolina examinado.

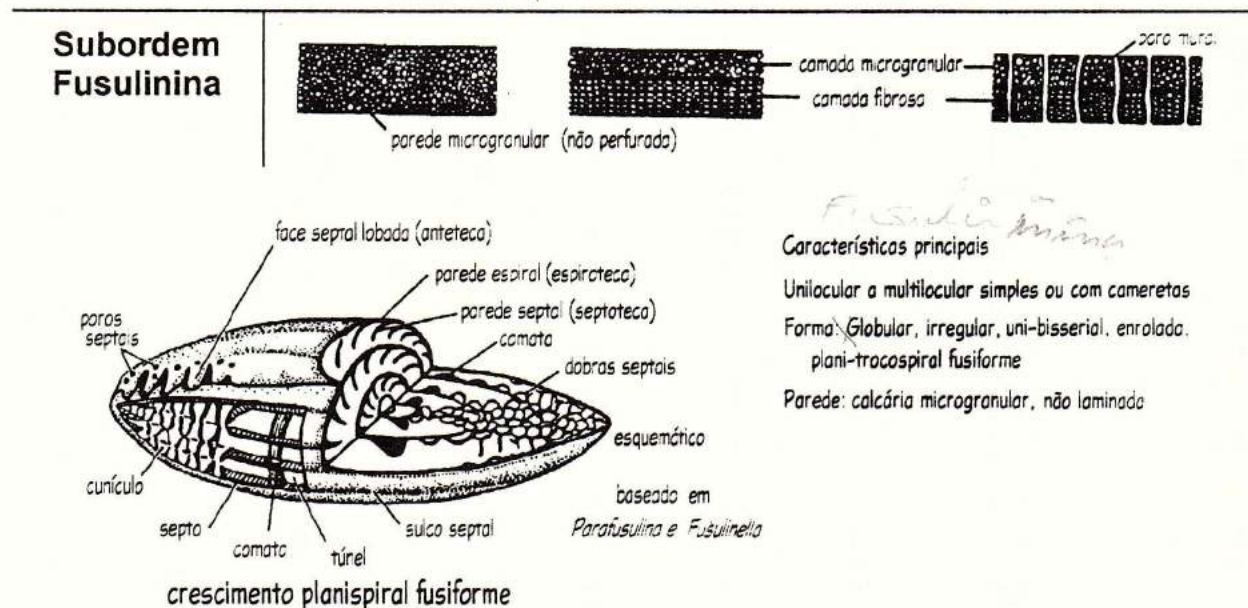


Figura 3.3. Estrutura da parede da testa e aspectos morfológicos de alguns gêneros da Subordem Fusulinina (Brasier, 1985).

c) Esquematize o exemplar da Subordem Fusulinina.

d) Esquematize o exemplar da Subordem Rotaliina examinado.

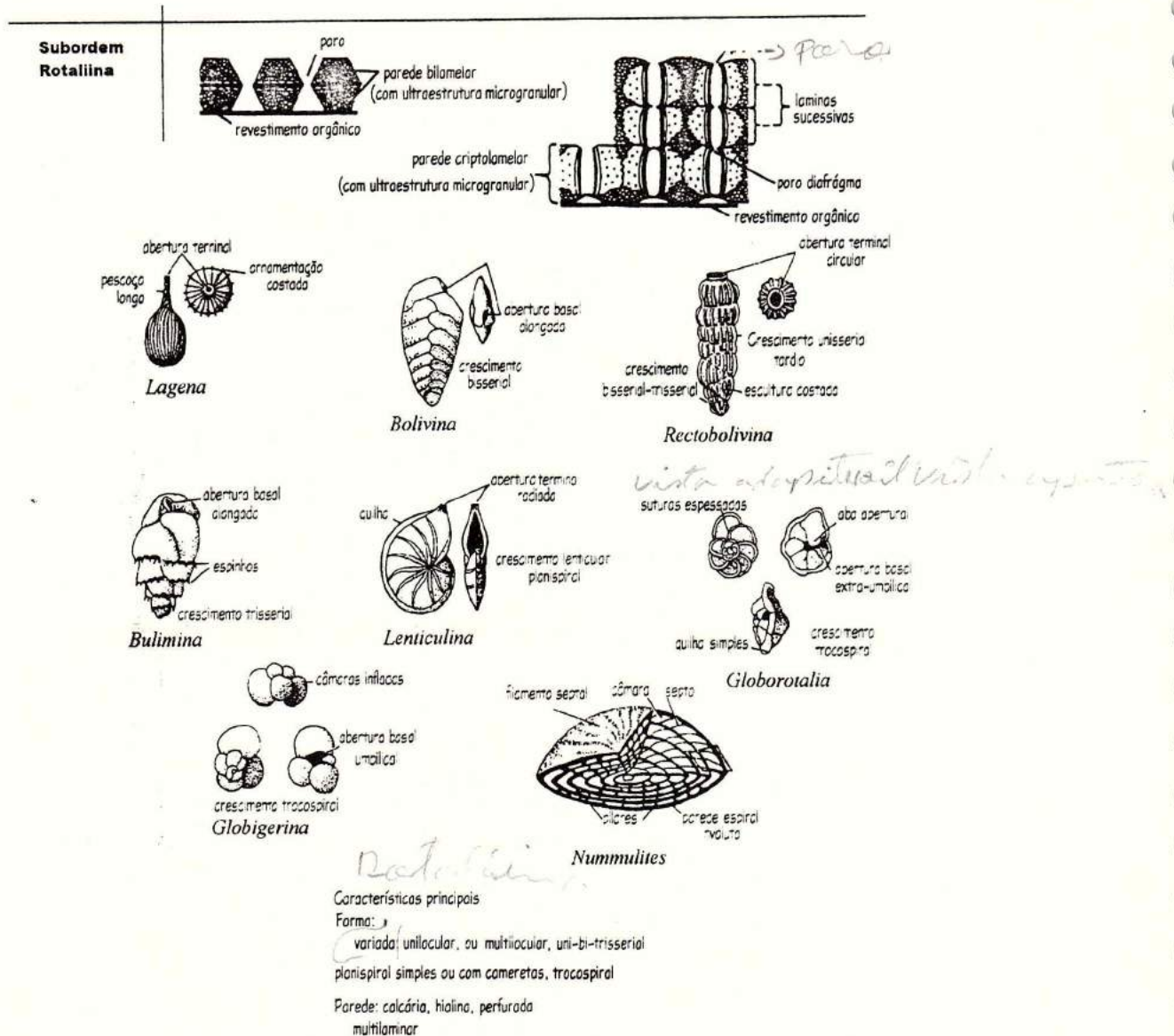


Figura 3.4. Estrutura da parede da testa e aspectos morfológicos de alguns gêneros da Subordem Rotaliina (Brasier, 1985).

Parte 2) Uso paleoecológico dos foraminíferos

O estudo da distribuição de microfaunas atuais de foraminíferos bentônicos e planctônicos verificou que diferentes ambientes sedimentares costeiros e marinhos podem ser caracterizados pelas diferentes associações de foraminíferos que contêm. Diversos parâmetros para a caracterização de ambientes sedimentares são úteis baseados na distribuição e proporção dos diferentes tipos de foraminíferos e também no estudo de rochas sedimentares marinhas cenozóicas e mesozóicas porque muitos foraminíferos têm distribuição geológica ampla.

O **diagrama de Murray**, representado abaixo, ilustra a distribuição de microfaunas em diferentes ambientes sedimentares, segundo a proporção entre espécimes das subordens Rotaliina, Textulariina e Miliolina.

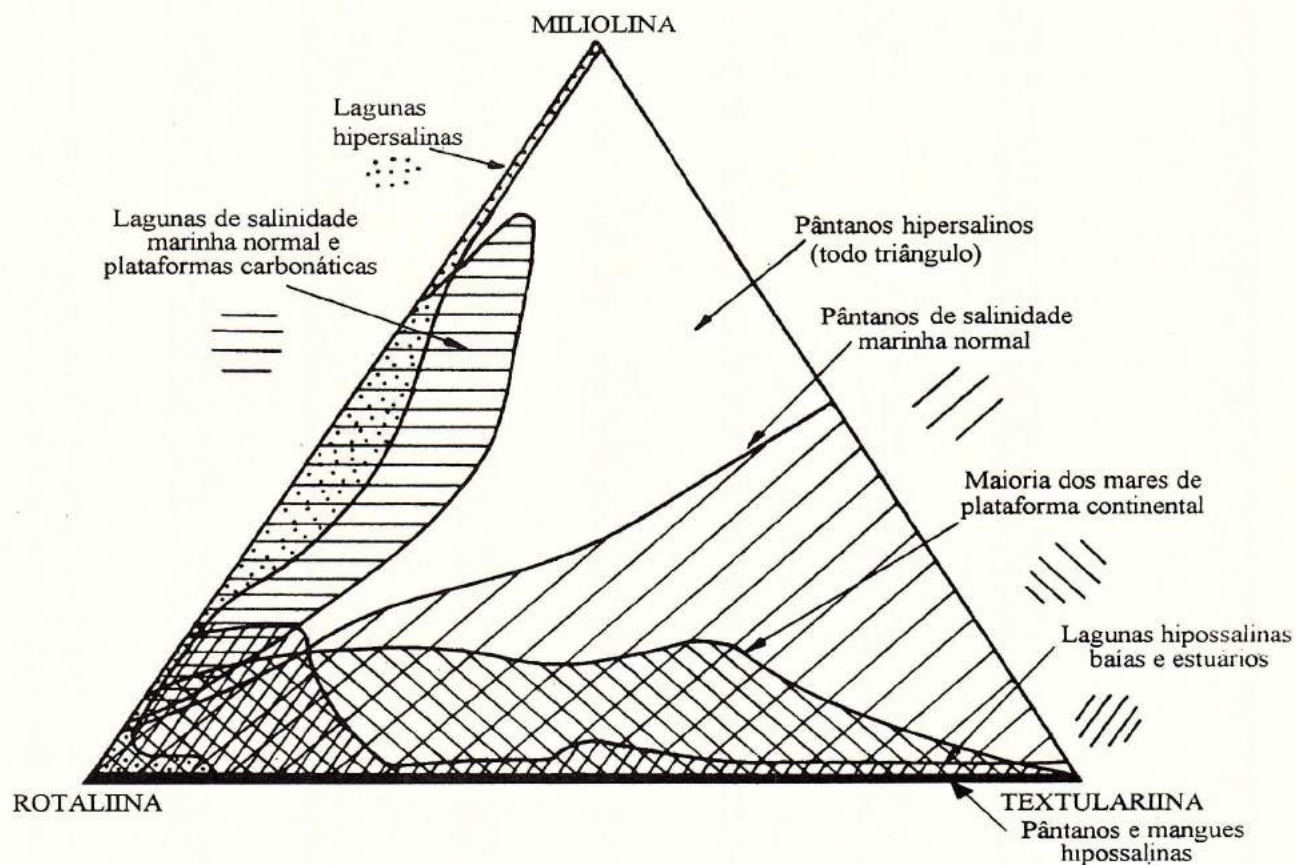


Figura 3.5. Diagrama de Murray relacionando os foraminíferos aos ambientes de deposição.

Parte 3) Razão entre planctônicos e bentônicos

Este parâmetro reflete a relação entre os dois grandes grupos de foraminíferos de acordo com o seu modo de vida. É expresso em porcentagens resultantes da contagem da fauna total de cada amostra, independente do reconhecimento das subordens. A quantidade de **planctônicos (PL)** cresce na razão direta da profundidade da água, ultrapassando 50% no talude continental. Por outro lado, a quantidade de **bentônicos (B)** é dominante sobre a plataforma, geralmente decrescendo, de maneira acentuada, a partir do talude superior, em direção à planície abissal. Devido a isto, a dominância de bentônicos na razão PL/B reflete ambientes de plataforma. Para as estimativas de profundidade utilizando a razão PL/PL+B utilizaremos as indicações sumariadas a Tabela 3.2.

Tabela 3.2.

| % Planctônicos | - Profundidade de deposição (m) | Ambiente |
|----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 0 - 20 | 0 - 70 | Plataforma interna a média |
| 20 - 30 | 60 - 120 | Plataforma média |
| 30 - 50 | 100 - 600 | Plataforma média a talude superior |
| 50 - 60 | 550 - 700 | Talude médio a inferior |
| 60 - 70 | 680 - 825 | Talude inferior |
| 70 - 80 | 700 - 1100 | |
| 80 - 90 | 900 - 1200 | |
| 90 - 100 | 1200 - 2000 | |

Examine os foraminíferos das lâminas secas (lâminas nos. 2, 3 e 4).

- Identifique as celas contendo foraminíferos bentônicos e planctônicos
- Calcule agora a porcentagem das espécies planctônicas existentes em cada. Com os dados da Tabela 3.2, qual é o ambiente sugerido? _____

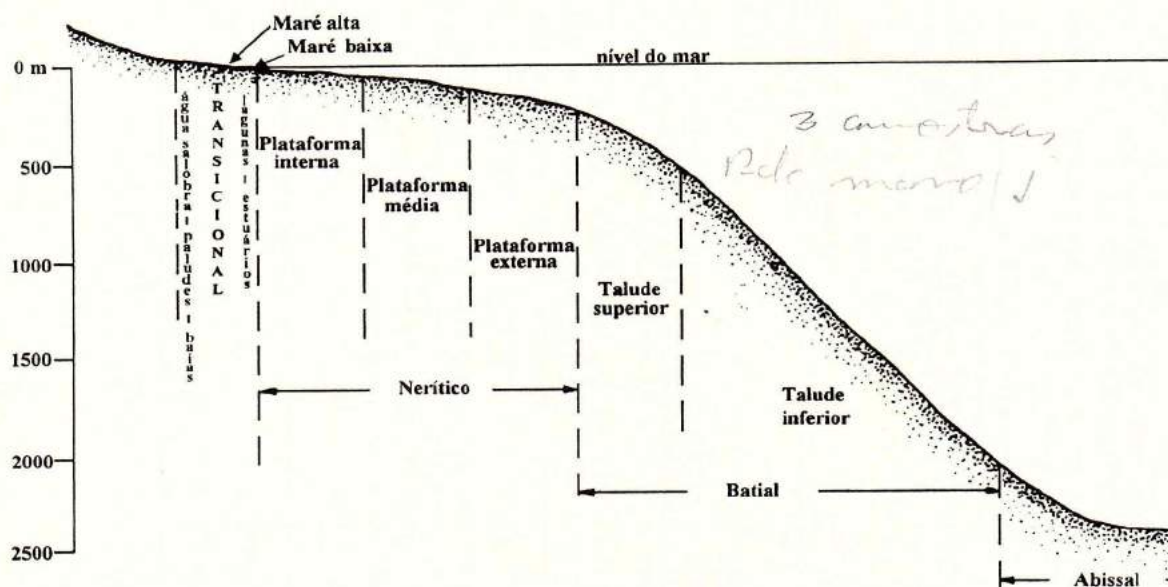


Figura 3.5. Subdivisão e batimetria dos diferentes segmentos do assoalho marinho.

c) Indique na Figura 3.5 a posição batimétrica de cada amostra.

Parte 4) Macroforaminíferos

As amostras representam exemplos de dois gêneros de **macroforaminíferos**, assim chamados por causa de seu grande tamanho. Examine-os com muito cuidado. A composição das testas e alguns aspectos da morfologia externa e interna podem ser vistos em muitos espécimes, tanto a olho nu, como sob a lupa. Os espécimes fósseis podem ser comparados com os modelos de gesso ampliados.

a. Amostra Subordem Rotaliina

Gênero *Nummulites* (Terciário)

Composição da testa: calcária (CaCO_3). Por causa da raridade deste fóssil, não será possível testar a sua composição. Qual o diâmetro máximo dos seus espécimes? _____

Que elementos da estrutura interna são visíveis (parede, septos etc.)?(Figura 3.4). _____

Tendo em vista as características estudadas, qual seria o provável hábito de vida deste macroforaminífero? _____ Qual o tipo de fossilização? _____

b. Amostra Subordem Fusulinina

Gênero *Triticites* (Carbonífero-Permiano)

Composição da testa: calcária (CaCO_3).

Qual o comprimento máximo dos seus espécimes? _____

Que elementos da morfologia externa e interna são visíveis (parede, septos etc.)?(Figura 3.3). _____

Tendo em vista as características estudadas, qual seria o provável hábito de vida deste macroforaminífero? _____

Parte 5) Examine a lâmina e conte o número de espécimes pertencentes a cada uma das três subordens; calcule as suas respectivas porcentagens. Coloque os dados no gráfico triangular de Murray na Figura 3.7 e interprete o ambiente sedimentar da amostra (Consultar Figura 3.4)..

Número total de espécimes: _____

Número de espécimes de:

Rotaliina: 40; 70 %

Miliolina: _____; _____ %

Textulariina: _____; _____ %

Qual o ambiente de sedimentação: _____

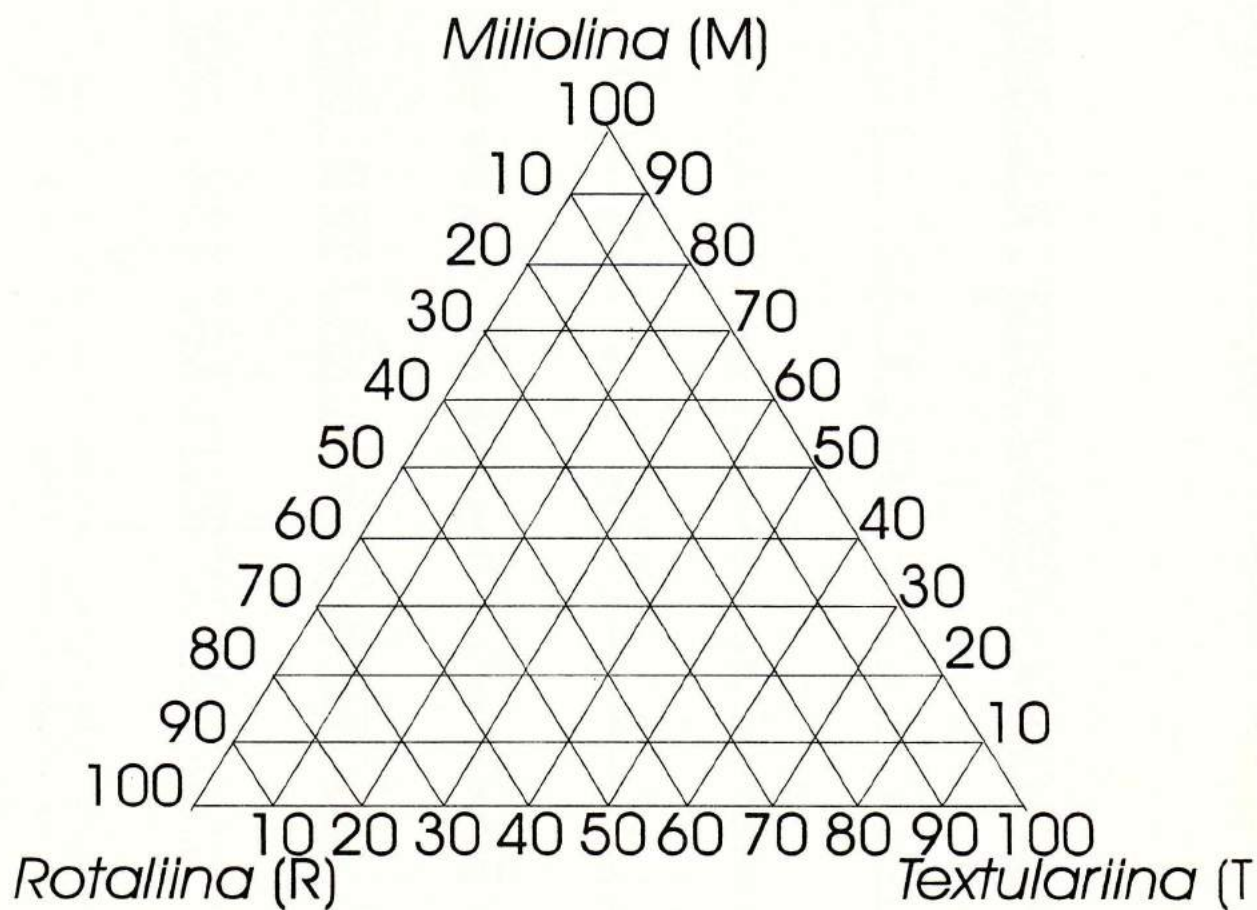
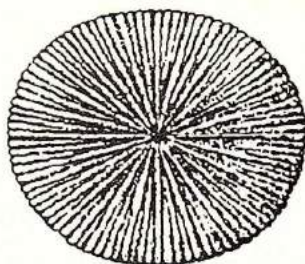


Fig. 3.7 gráfico de sedimentação, consulte a Fig. 3.5

Fig. 3.5



4. Cnidários fósseis

Introdução

O Filo Cnidária inclui hoje uma variedade de animais aquáticos, principalmente marinhos, dentre os quais os corais, anêmonas, medusas, hidras, etc. Incluem formas bentônicas, planctônicas e nectônicas. Trata-se de um grupo de longa história geológica que se iniciou no Pré-Cambriano. Espécies atribuídas aos cnidários, como já sabem, ocorrem na fauna de Ediacara, de aproximadamente 600 milhões de anos. Os cnidários são, pois, os primeiros metazoários (animais pluricelulares com especialização funcional das diferentes partes do corpo) documentados geologicamente.

Dos diversos grupos de cnidários, este exercício focalizará os corais fósseis por causa da sua grande importância geológica e excelente preservação. Fósseis de três das ordens que constituem a Subclasse Zoantharia serão estudados: **Scleractinia**, **Rugosa** e **Tabulata**. Estes, incluem formas marinhas bentônicas fixas, fósseis e atuais.

Os escleractínios, surgidos no Triássico, incluem os corais atuais. São formas solitárias ou coloniais de exoesqueleto calcário (CaCO_3 : aragonita), muitos dos quais formadores de recifes (**corais hermatípicos**). Sua evolução envolveu grande variação na estrutura esquelética. Formas **ahermatípicas** (ou **anermatípicas**) de escleractínios, que não constroem recifes e, portanto, não são restritos às condições limitadas (águas quentes, limpas, rasas e oxigenadas) das formas hermatípicas, ocupam uma variedade de habitats até 6000 metros de profundidade e aparecem no registro fóssil no Jurássico. As formas hermatípicas precederam, portanto, as ahermatípicas, no Mesozóico.

Corais das duas outras ordens, Rugosa e Tabulata, foram exclusivamente paleozóicos. Os tabulados, surgidos primeiramente, incluem corais exclusivamente coloniais. Os rugosos, por sua vez, incluem formas isoladas e coloniais, de morfologia semelhante à dos escleractínios. Tanto os rugosos quanto os tabulados têm exoesqueleto calcítico e foram comumente associados a recifes, principalmente no Siluriano e Devoniano.

Classificação parcial (adaptado de várias fontes por Boardman *et al.*, 1987). Os táxons em negrito serão examinados em sala de aula.

Filo Cnidaria

Classe Protomedusae (Ediacariano - Ordoviciano)

Classe Scyphozoa (Ediacariano - Holoceno)

Ordem Conulariida (Cambriano - Triássico)

Classe Anthozoa (Ediacariano-Holoceno)

Subclasse Octocorallia (Ediacariano-Holoceno, mas com poucos registros fósseis)

Subclasse Zoantharia (Cambriano-Holoceno)

Ordem Tabulata (Ordoviciano Inferior-Permiano)

Ordem Rugosa (Ordoviciano Médio-Permiano)

Ordem Scleractinia (Triássico-Holoceno)

Exercícios:

Examine os fósseis representativos das três ordens principais de corais e aprenda a reconhecer, com ajuda das figuras, as principais feições morfológicas diagnósticas de cada grupo.

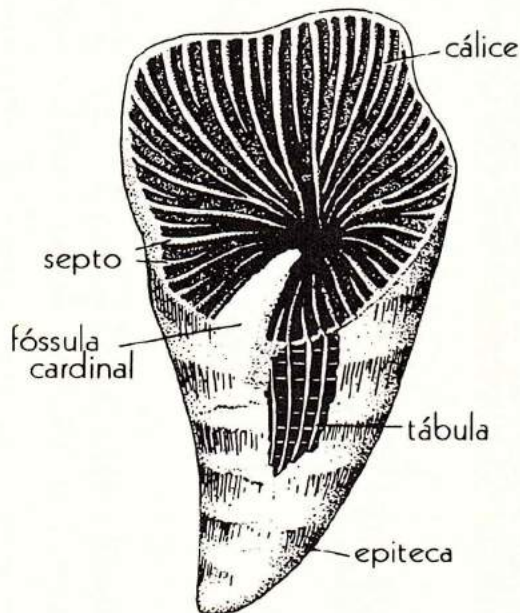


Figura 4.1. Corallito de um coral rugoso solitário *Corallum* (Clarkson, 1993).

Parte 1) Coral rugoso solitário

Esquematize, no espaço abaixo, o espécime, identificando e indicando com setas as estruturas observadas.

- Qual é a composição do corallum? _____
- Com base na sua resposta e no seu conhecimento da composição original do exoesqueleto, qual é o tipo de fossilização do espécime? _____
- A que correspondem as rugas anelares que circundam a epiteca? _____

Parte 2) Coral rugoso colonial.

Esquematize o espécime no espaço abaixo e com a ajuda da Fig. 1, indique as estruturas presentes.

- a) Que parte do esqueleto do coral é ocupada pelo animal vivo? _____
- b) Para que servem os septos nos corais? _____
- c) Os diferentes coralitos da colônia retêm suas paredes individuais da colônia? _____
- d) Que vantagens seriam conferidas pelo hábito domiforme de crescimento? _____

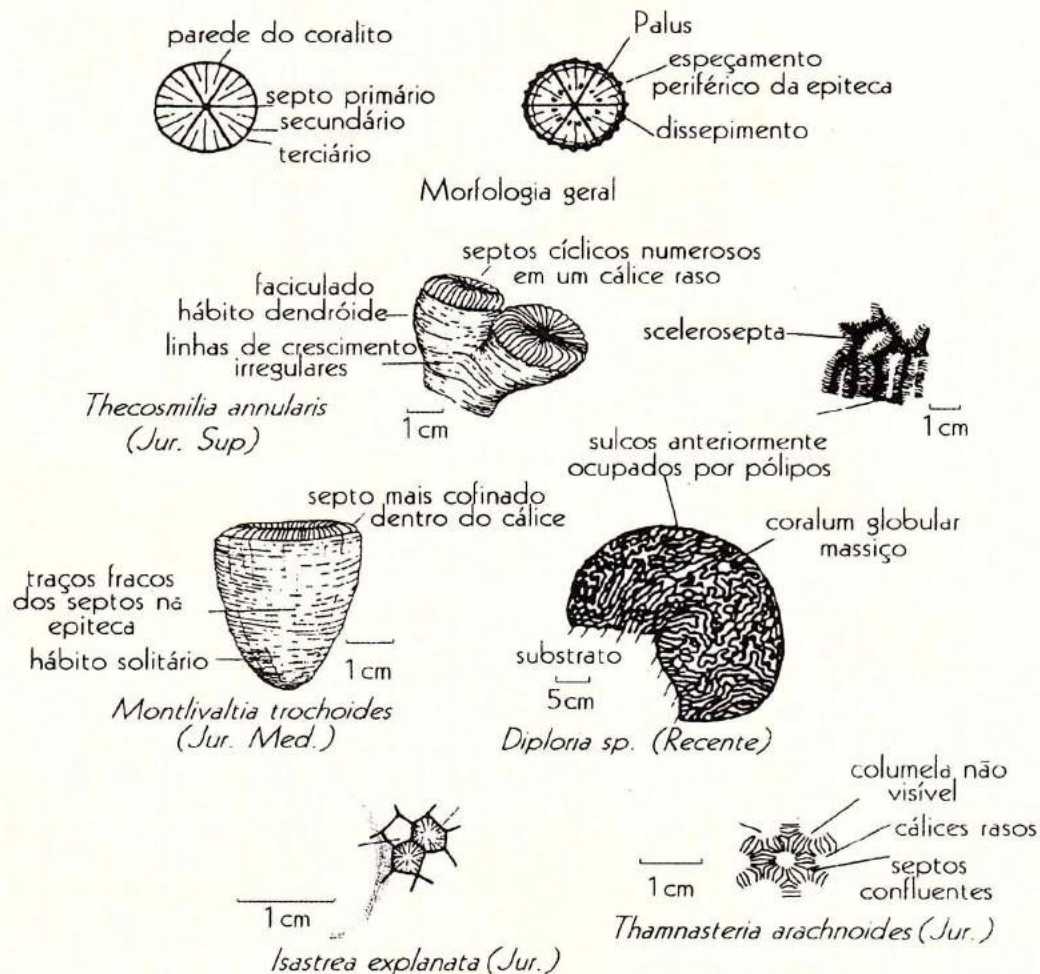


Figura 4.2. Corais escleractínios solitários e coloniais (Clarkson, 1993).

Parte 3) Coral escleractínio colonial.

- a) Esquematize o exemplar no espaço abaixo e identifique, com ajuda da Fig. 4.2, as estruturas visíveis.

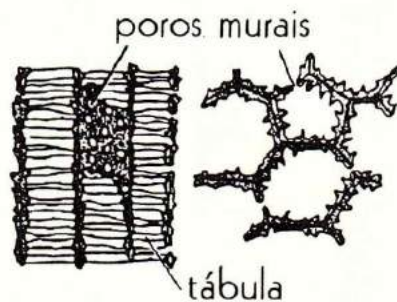
- b) Teste a composição do fóssil. Qual foi o processo de fossilização? _____

Parte 4) Coral escleractíno solitário.

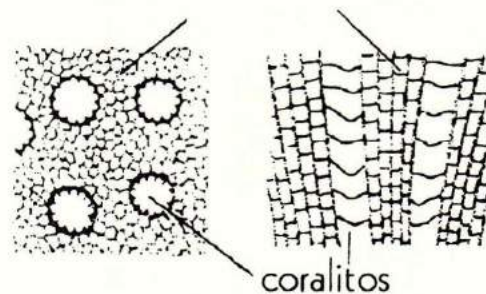
a) Esquematize o espécime e identifique as estruturas com a ajuda da Fig. 3. 2.

b) Verifique a composição atual do corallum do espécime de escleractínio. Qual é o provável processo de fossilização? _____

Favosites (Sil.-Dev.)



Heliolites (Sil.-Dev.)



Halysites (Ord.-Sil.)

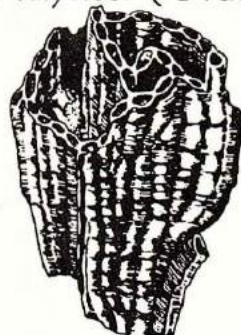


Figura 4.3. Morfologia básica de coral tabulado (Clarkson, 1993).

Parte 5) Corais tabulados

Esquematize abaixo um exemplar dos corais tabulados anotando as feições evidentes em cada exemplar (Fig. 4.3).

a) Qual é a forma geral dos coralitos de cada espécime? _____

b) Que elementos você tem para interpretar a provável orientação destes espécimes em vida? _____

c) Como se ligam os coralitos nas duas colônias? _____

d) Descreva o modo de crescimento da colônia? _____

e) Qual a provável função das tabulae? _____

f) Quais são as características diagnósticas nos fósseis que lhe permitem distinguir entre as três ordens? _____

Parte 6) Com base na Fig. 4. 4. Interprete a orientação em vida dos corais fósseis solitários examinados.

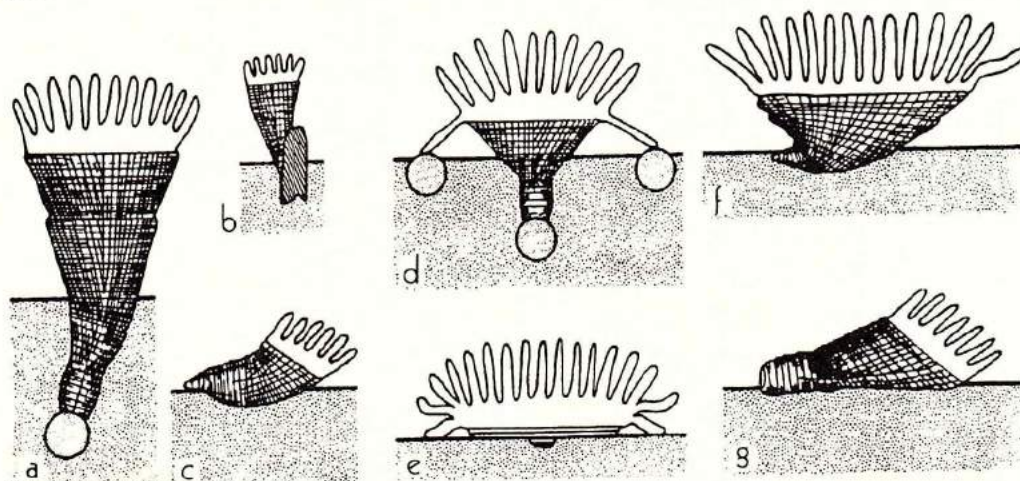


Figura 4.4. Orientação em vida de corais rugosos solitários (Clarkson, 1993). A; ereto; b: ereto, incrustante, preso lateralmente; c, f, g: recumbente (deitado); d: ereto com “raízes”; e: ereto vágil.

Parte 7) Recifes atuais e fósseis de coral

Os corais atuais (Scleractinia ou **hexacorais**) apresentam dois modos fundamentais de crescimento. As diferenças entre os dois grupos está relacionada à presença de **algas zooxantelas** simbióticas nos tecidos de um dos grupos, os corais hermatípicos. Estes são os construtores dos recifes de corais tropicais. Espécies sem zooxantelas são chamados ahermatípicos (anermatípicos). A presença de algas restringe os corais hermatípicos a águas relativamente rasas. Embora, ocasionalmente, possam viver em águas de mais de 60 metros de profundidade, raramente constroem recifes a profundidades maiores que 45 metros. Eles são, portanto, bons indicadores de águas marinhas rasas. Recifes atuais são formados por grande número de espécies de corais em associação com algas calcárias e rica fauna de invertebrados. Embora não possamos garantir que os corais de recifes fósseis contivessem algas zooxantelas, algumas evidências geológicas indicam sua formação em águas rasas. No presente exercício utilizaremos as informações sobre recifes de coral atuais para interpretar as ocorrências fósseis.

a. Recifes de corais fósseis de idade terciária são encontrados nas Montanhas Rochosas da América do Norte a uma latitude de 50°N e a uma altitude de 1500m de altitude. Que processos geológicos teriam sido responsáveis pela posição atual destes recifes? _____

b. Certos estratos pensilvanianos (Carbonífero Superior) da ilha de Spitsbergen (latitude 78°N) contêm extensos depósitos de corais rugosos e tabulados formadores de recifes. Com base no princípio do atualismo, o que você infere sobre as condições paleoambientais e a posição paleogeográfica na época de deposição destes estratos? _____

c. Os pontos no mapa da Fig. 5 representam a ocorrência de corais escleractínios hermatípicos, durante o Cretáceo Médio. As latitudes do mapa são as atuais. _____ Considerando-se a distribuição dos recifes fósseis e os limites atuais de recifes vivos, delimite no mapa a faixa tropical do Cretáceo Médio. Essa faixa coincide com a atual? _____ Os fósseis indicariam uma maior ou menor uniformidade climática na superfície terrestre, nessa época, em relação ao Recente? _____ Por que? _____

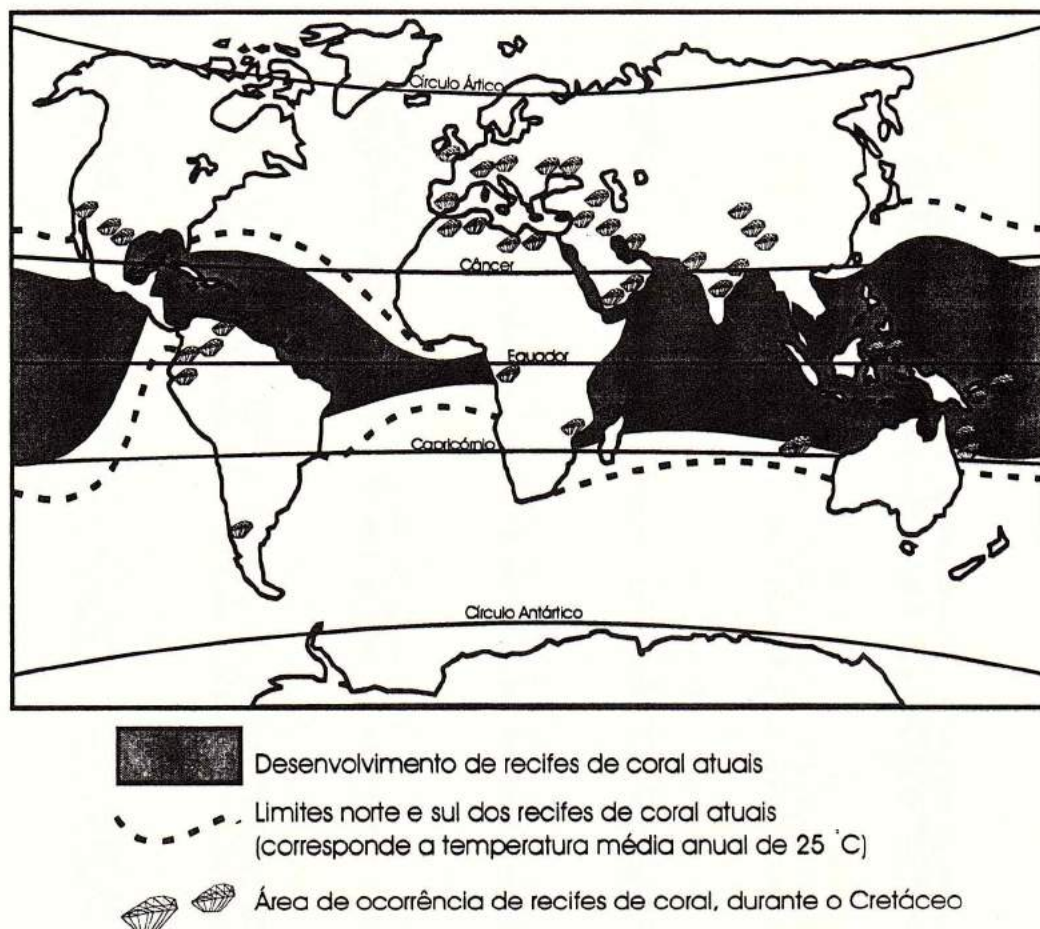


Figura 4.5. Distribuição dos corais de recifes atuais e do período Cretáceo (Habicht, 1979).

Parte 8) Os recifes de coral do Oceano Pacífico variam conforme o esquema abaixo. A hipótese formulada por Charles Darwin no século passado, de que os três tipos representam estágios

Se os corais crescem em uma taxa que os mantém dentro dos limites batimétricos necessários para sua sobrevivência e se no Atol Eniwetok há uma espessura de 1250 m de corais, desenvolvidos em cima de basaltos vulcânicos eocênicos (aproximadamente 45 Ma de idade), qual foi a taxa anual média de acumulação dos corais? _____

Estude a sequência de desenvolvimento dos recifes mostrados na Fig. 6. Esquematize, ao lado de cada um dos estágios de crescimento, o aspecto de cada um dos três estágios de formação do atol que uma pessoa veria ao sobrevoá-los.

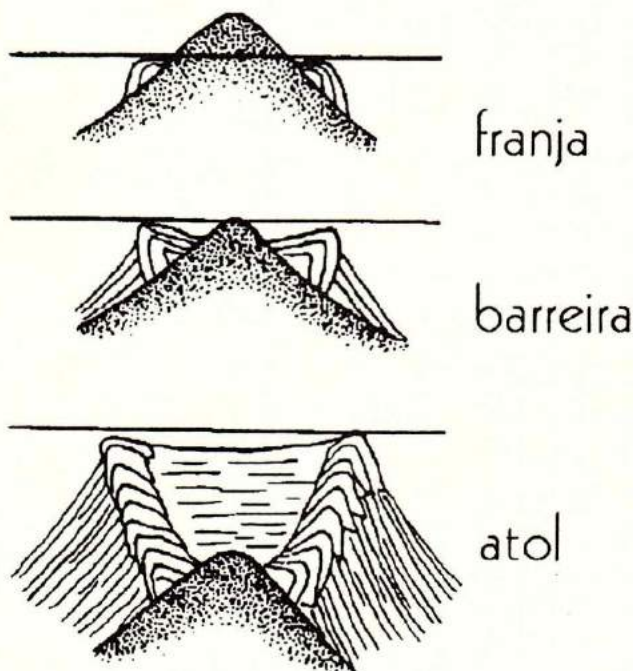


Figura 4.6. Estágios de crescimento de um atol por subsidência vulcânica, de acordo com Charles Darwin (Clarkson, 1993).

CX
4 **Parte 9)** Uma vez que os subambientes dentro de um complexo recifal variam bruscamente, desenvolve-se um zoneamento ecológico das espécies de corais em relação à linha de costa, de acordo com cada habitat particular. A resistência estrutural do recife é apenas um dos fatores dentre os muitos que controlam o zoneamento ecológico. A habilidade para competir por espaço e para lidar com o aporte de sedimentos devem também ser importantes. Examine a Fig. 7. Na sua opinião, a qual ou quais das zonas corresponderiam os dois espécimes de corais escleractínios examinados. _

Justifique sua resposta: _____

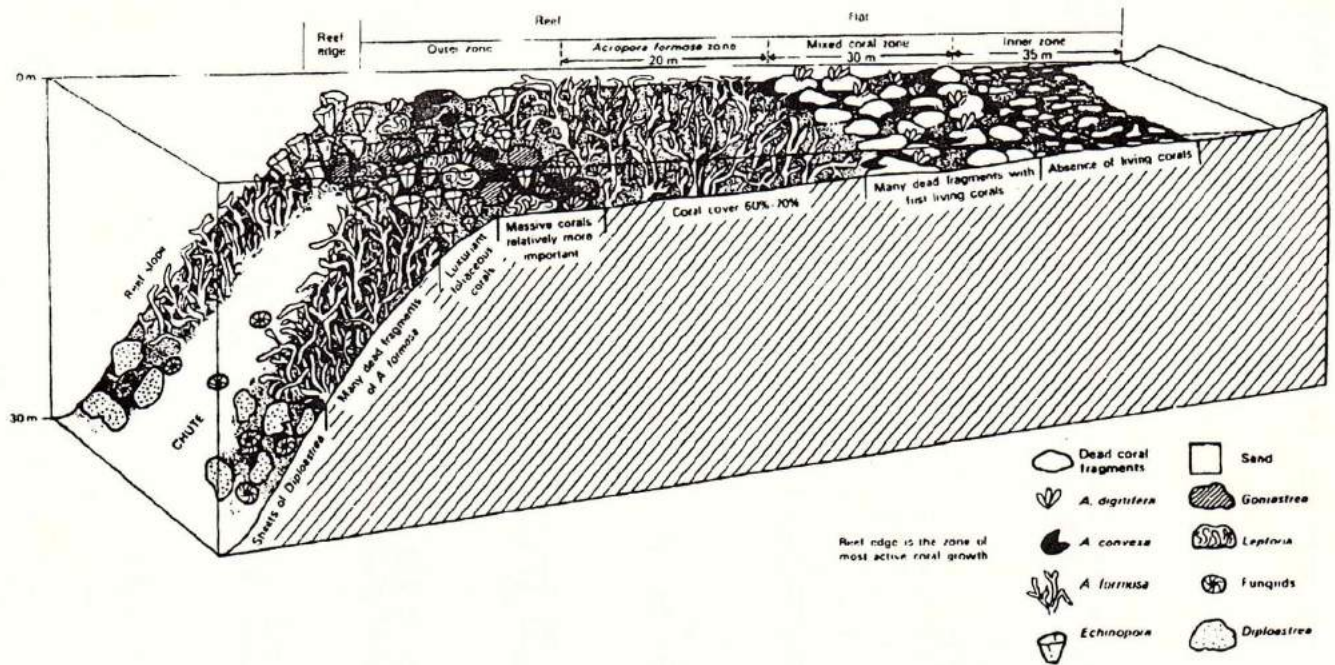


Figura 4.7. Zoneamento ecológico de um recife.

Parte 10) Examine a distribuição geológica das ordens de Cnidaria.

- a) Que grupo surgiu primeiro, os rugosos ou os tabulados? _____
- b) Em que período os dois grupos atingiram o seu auge, em termos de número de gêneros? _____
- c) Há pelo menos dois eventos de crise biológica registrados nesta tabela. Identifique-os. _____
- d) Qual dos dois grupos recuperou-se melhor do primeiro evento? _____
- e) E do segundo? _____

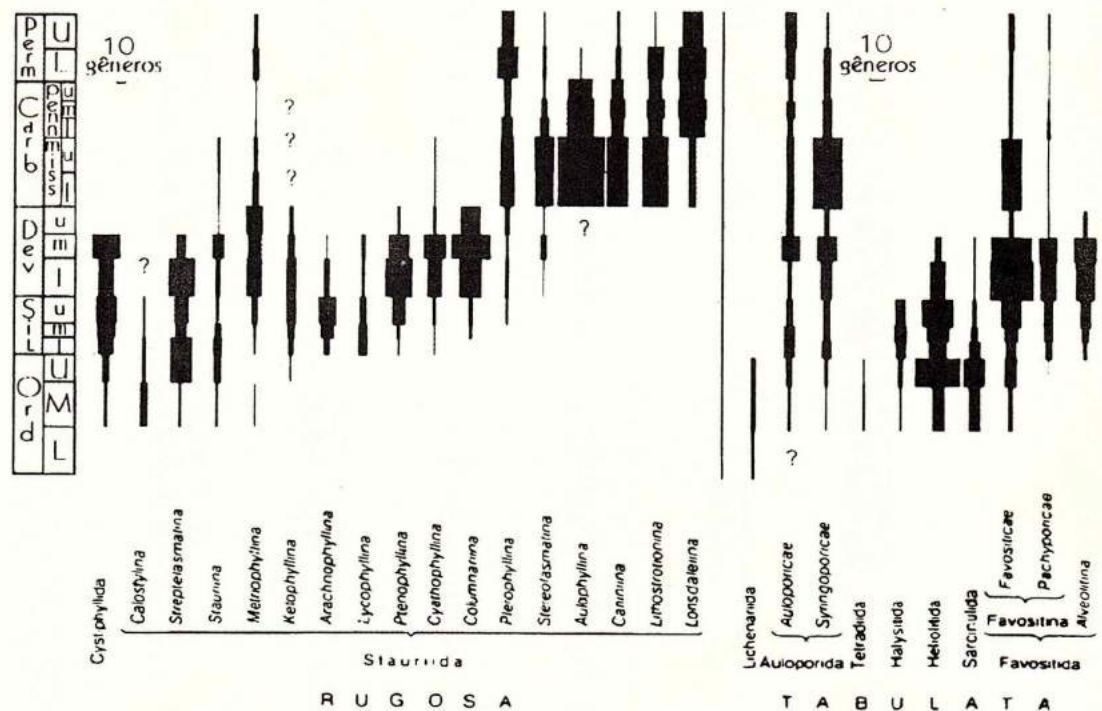
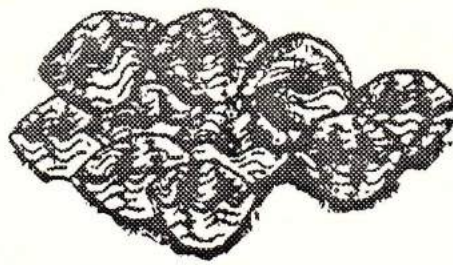


Figura 4.8. Distribuição geológica das ordens (e de algumas subordens e famílias) de Rugosa e Tabulata (Clarkson, 1993).



5. Braquiópodes fósseis

Introdução

Braquiópodes são animais exclusivamente marinhos, bentônicos, com uma concha composta de duas valvas desiguais de composição calcítica ou quitino-fosfática. De modo geral, eles lembram os moluscos pelecípodes. Contudo, possuem anatomia das partes moles completamente distintas (Fig. 5.1). Diferentemente dos pelecípodes, o plano de simetria bilateral da concha passa pelas valvas e não entre as valvas, dividindo-as em duas metades iguais (Fig. 5.3).

Este exercício fornece uma visão geral da morfologia básica das principais e mais comuns ordens de braquiópodes e inicia a análise morfofuncional do grupo.

A interpretação morfofuncional leva em conta que as feições têm, no geral, um significado adaptativo. Todos os aspectos da forma da concha (se é obesa, lisa ou possui costelas, espinhos etc.) podem oferecer evidências do habitat e do hábito do animal. Contudo, nem sempre é possível a interpretação de cada feição, uma vez que algumas podem ser não-adaptativas. *A priori*, contudo, nada deve ser rejeitado como não tendo significado. Por isso, execute o trabalho com diligência, sem pressa, analisando, atentamente, cada uma das feições morfológicas

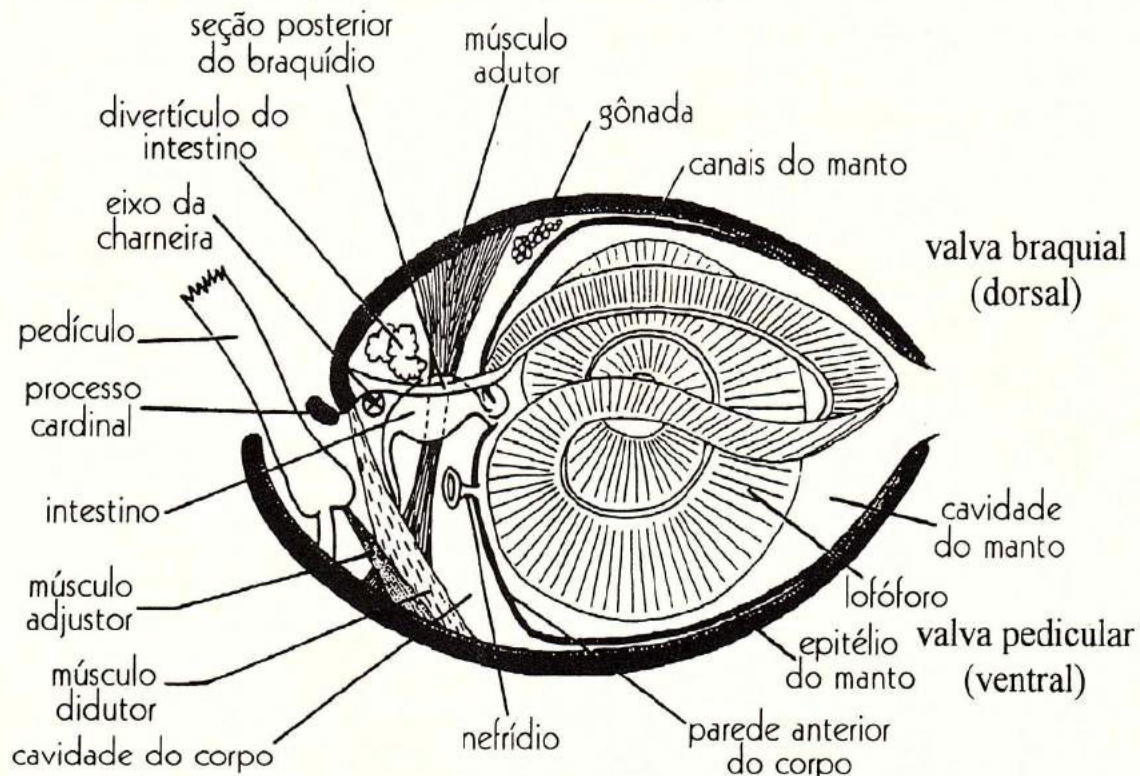


Figura 5.1. *Magellania flavesce* (Recente), seção mediana estilizada (Clarkson, 1993).

As espécies representadas nas figuras não são ^{necessariamente} as mesmas fornecidas na aula prática. De forma geral são, contudo, representativas de cada uma das ordens.

A Figura 5.2 apresenta uma hipótese da filogenia de diversas ordens extintas e viventes, baseada na análise de 43 caracteres da concha e de partes moles dos organismos.

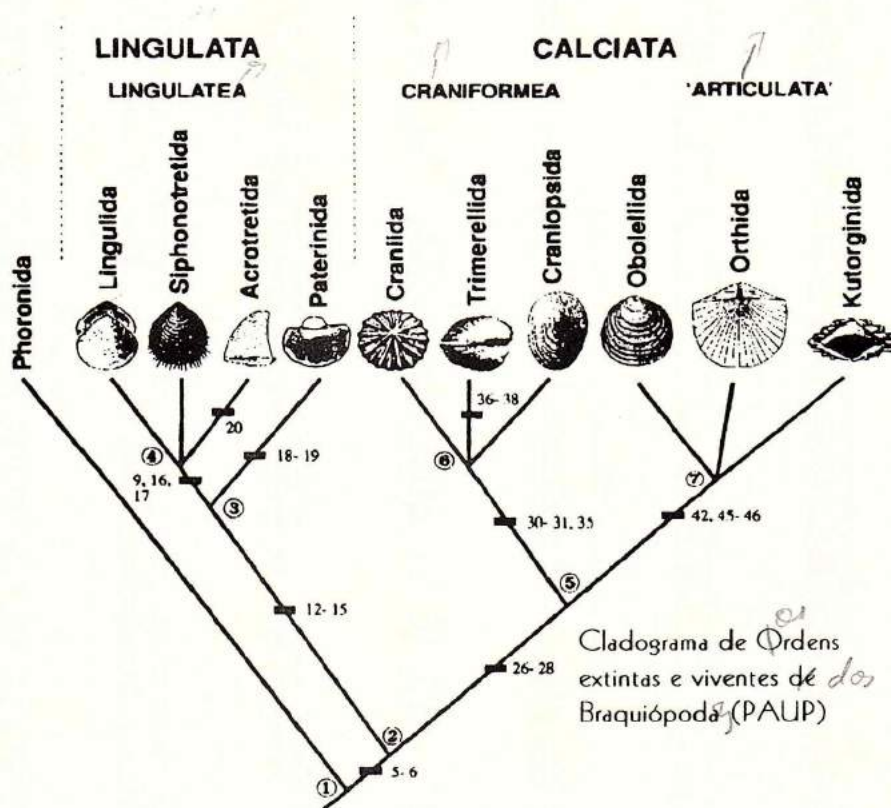


Figura 5.2. Cladograma combinado de ordens extintos e viventes de braquiópodes; números junto às barras indicam caracteres apomórficos segundo lista de caracteres apresentados em Holmer *et al.* (1995).

Classificação parcial dos taxons e distribuição geológica (Clarkson, 1993).

Nota: taxons em negrito serão examinados em sala de aula.

Filo **Brachiopoda** (Cambriano Inferior - Recente)

Classe Lingulata (Cambriano Inferior - Recente)

Ordem Lingulida (Cambriano Inferior - Recente)

Ordem Acrotretida (Cambriano Inferior - Recente)

Classe Inarticulata (Cambriano Médio? - Recente)

Ordem Craniida (Cambriano Médio? - Recente)

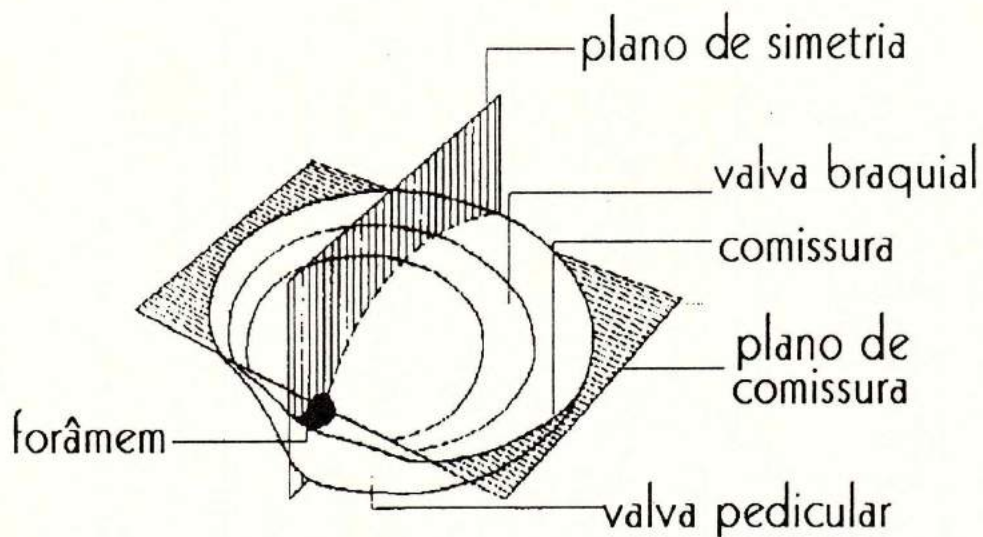
Classe Articulata (Cambriano Inferior - Recente)

Ordem Orthida (Cambriano Inferior - Permiano Superior)

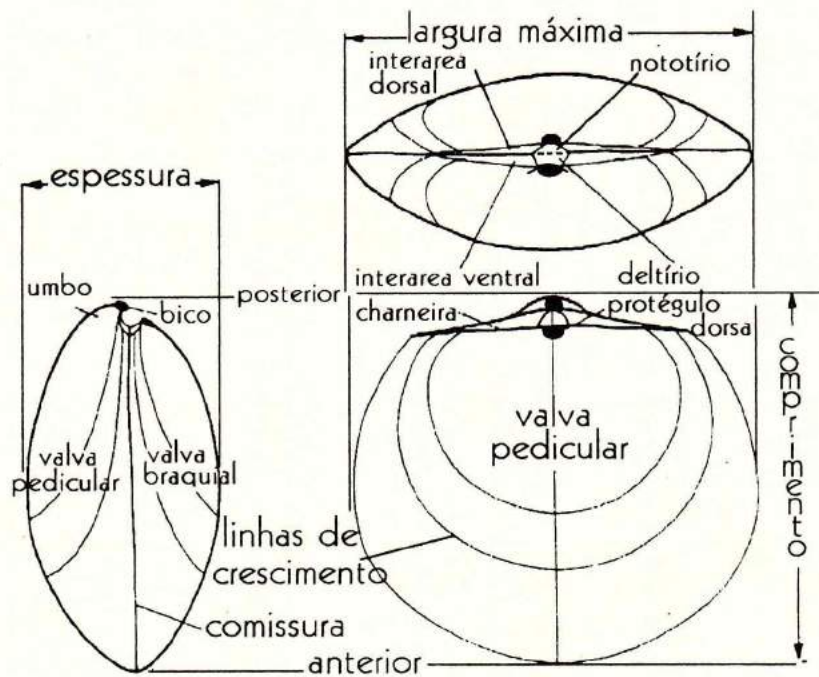
Ordem Strophomenida (Ordoviciano Inferior - Jurássico Inferior)

Ordem Rhynchonellida (Ordoviciano Médio - Recente)

Ordem Spiriferida (Ordoviciano Médio - Jurássico)



A



B

Figura 5.3. Termos morfológicos usados para braquiópodes (Murray, 1985).

As espécies representadas nas figuras não são as mesmas fornecidas na aula prática. De forma geral, são, contudo, representativas de cada uma das ordens.

Obs: que já foi antes um 7.3

Exercícios:

CX! **Parte 1)** Com o auxílio da Fig. 5.4, compare o exemplar de *Lingula* atual (incluído em acrílico) e o fóssil fornecido e faça, no espaço abaixo, um esquema mostrando os elementos morfológicos que conseguir identificar (p. ex. valva braquial ou pedicular, linhas de crescimento, região anterior e posterior, **plano de simetria**, **dimensões (largura, comprimento etc.)**).

ORDENS LINGULIDA E DISCINIDA

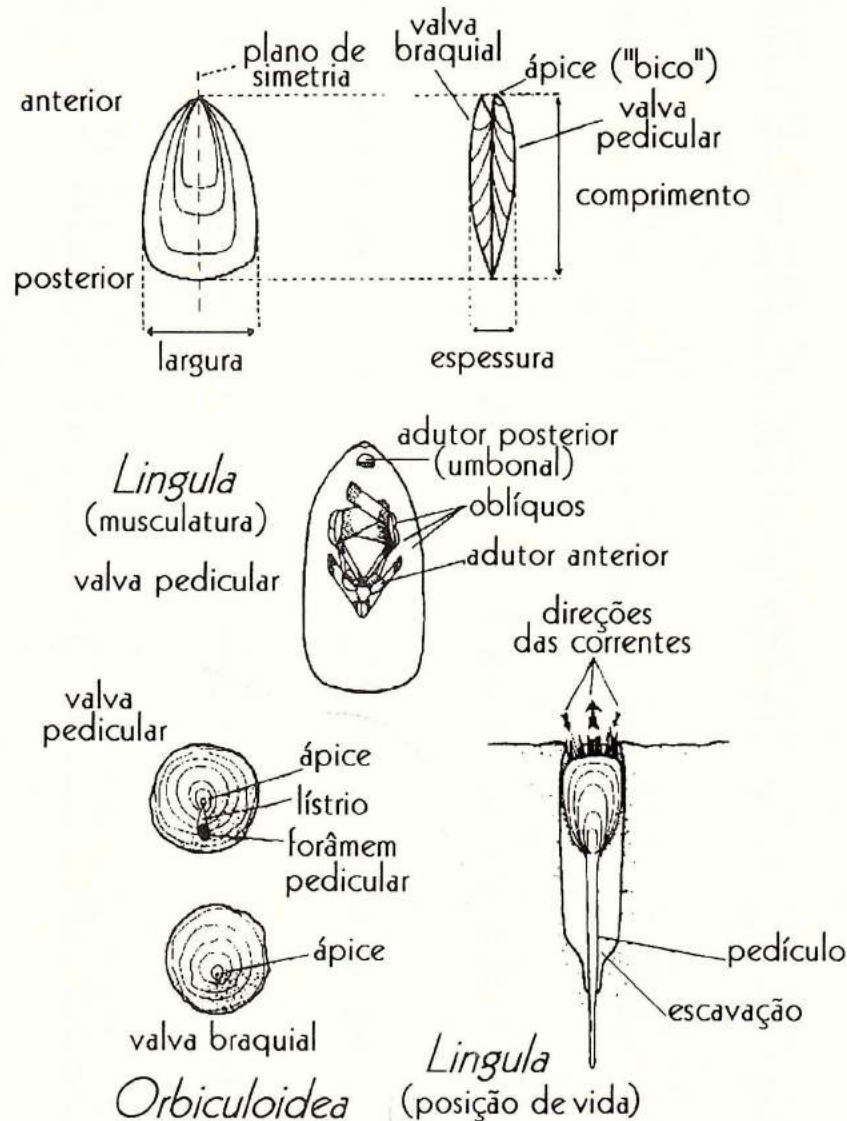


Figura 5.4. Morfologia interna e externa de *Lingula* sp. e *Orbiculoidea* (Nield e Tucker, 1985).

- a) Qual é o **hábito de vida** de *Lingula*? Exemplar vivo
- b) Quais feições do fóssil são indicativas do seu **hábito de vida**? Orbiculoidea
- c) Esta ordem apresenta concha de composição original **quitino-fosfática**. Tendo isso em vista, qual é o **tipo de fossilização** do fóssil examinado? Impressão / molde ext
- d) Que característica é **diagnóstica** da sua interpretação? Presença de pediculus etc

Parte 2) Com o auxílio da Fig. 5; estude o exemplar. Trata-se de um **exemplar** com as duas valvas ou somente com uma delas? DUAS VALVAS. Sabendo-se que conchas de Orthida têm composição calcária, qual seria o tipo de fossilização do exemplar? Recristalização. Faça, no espaço abaixo, um esquema mostrando os elementos morfológicos reconhecidos, incluindo o **plano de simetria** e as **dimensões**. porque o negativo

ORDEM ORTHIDA
Schizophoria sp. (Carb. Inf., Wales)

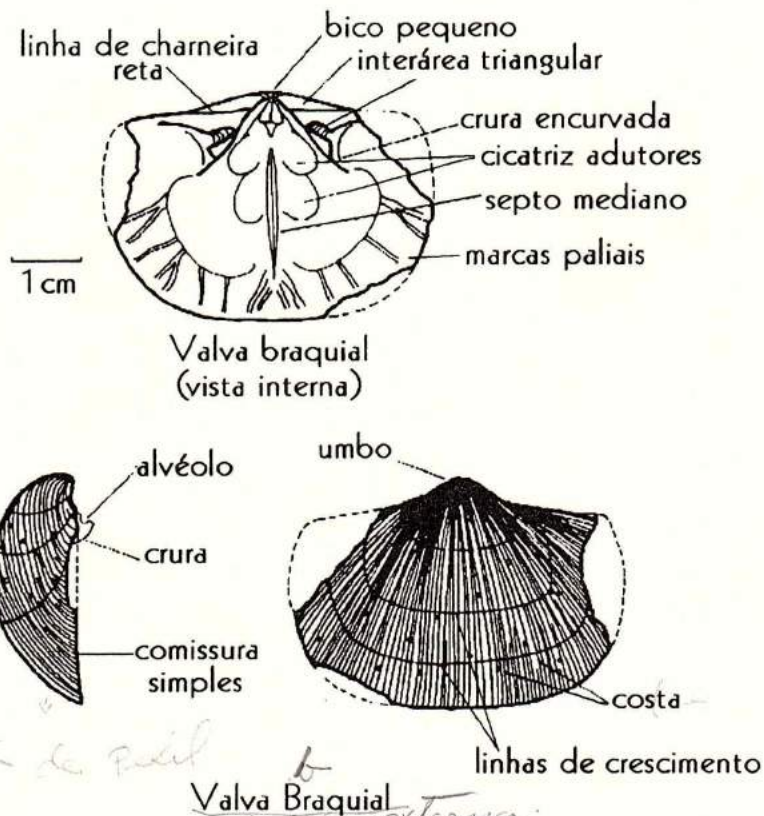


Figura 5.5. Morfologia interna e externa de Orthida (Nield e Tucker, 1985).

Parte 3) Com o auxílio da Fig. 5.6, estude o exemplar oferecido e faça um esquema representando as feições morfológicas que puder distinguir. Repare que neste grupo, uma das valvas é côncavas.

ORDEM STROPHOMENIDA

Productus sp. (Carb. Sup., Wales)

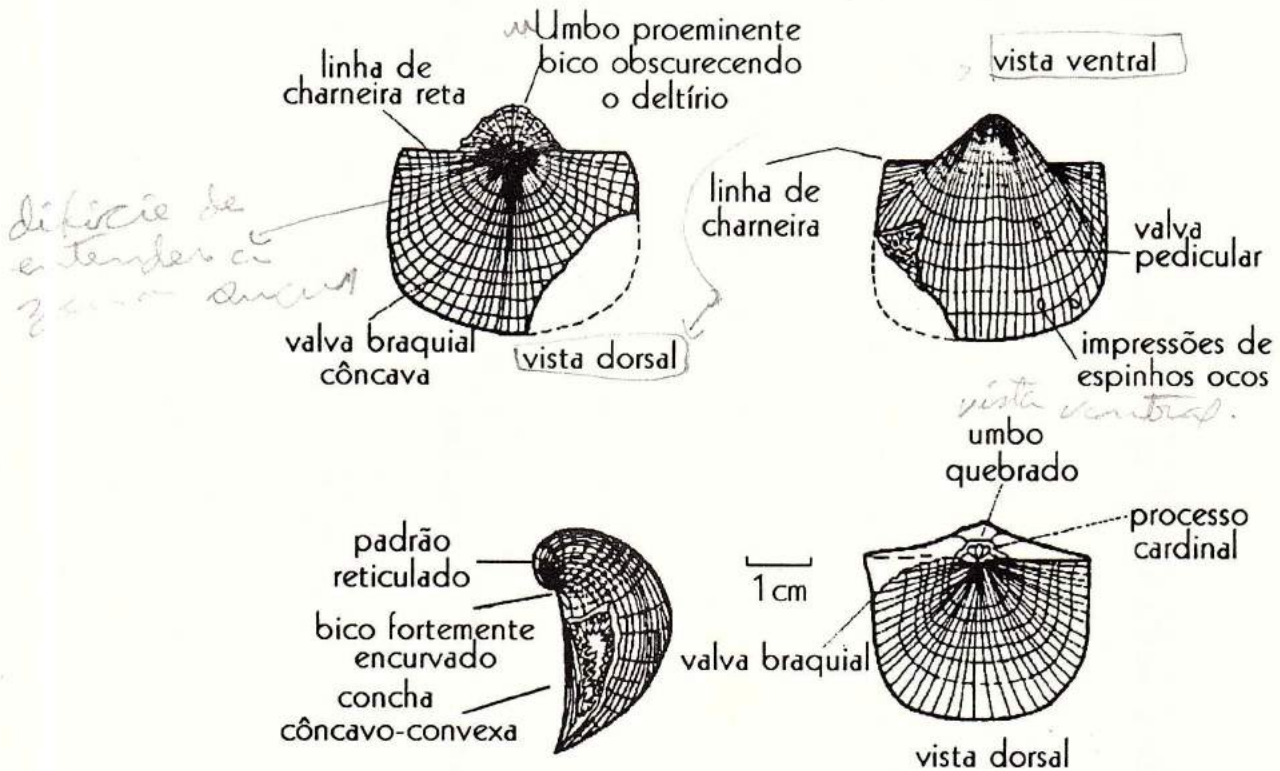


Figura 5.6. Morfologia externa de Strophomenida. (Nield e Tucker, 1985).

A)

B)

Com base no exame dos exemplares, responda para cada um deles:

Os Strophomenidos têm concha calcária. Qual é o tipo de fossilização dos exemplares estudados? __

molde intencional - preservação parcial

Parte 4) Com o auxílio da Fig. 5.7, estude o exemplar oferecido e faça um esquema representando as feições morfológicas que puder distinguir.

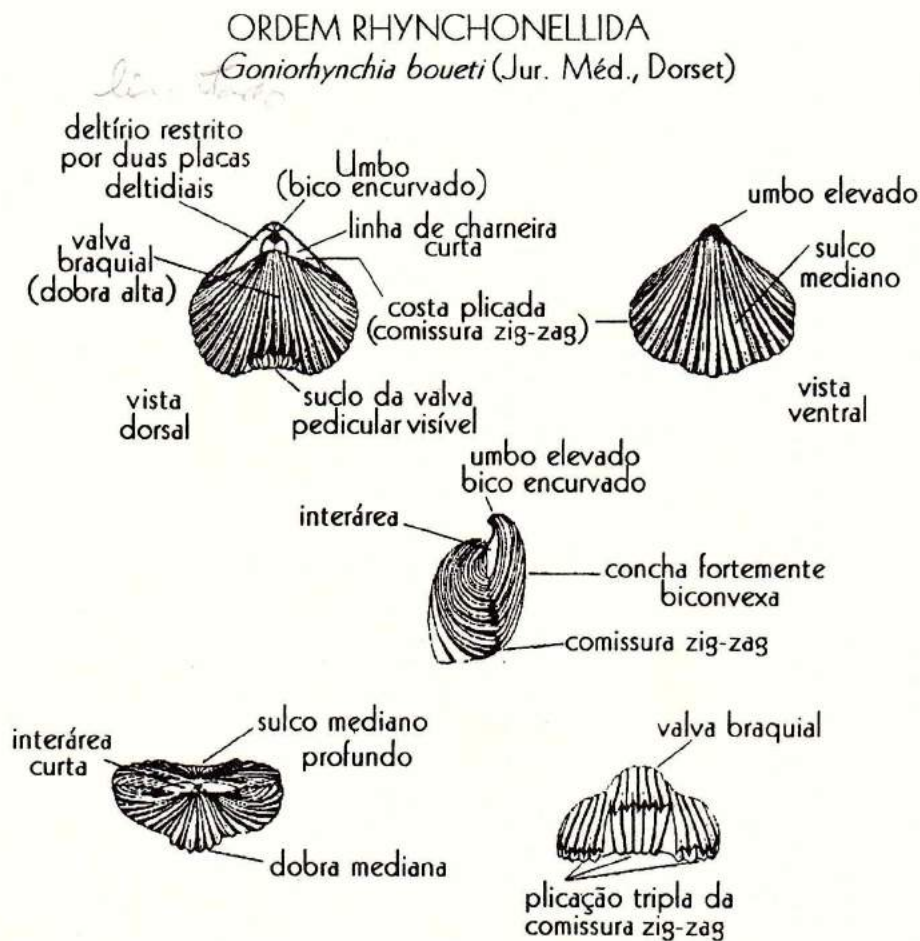
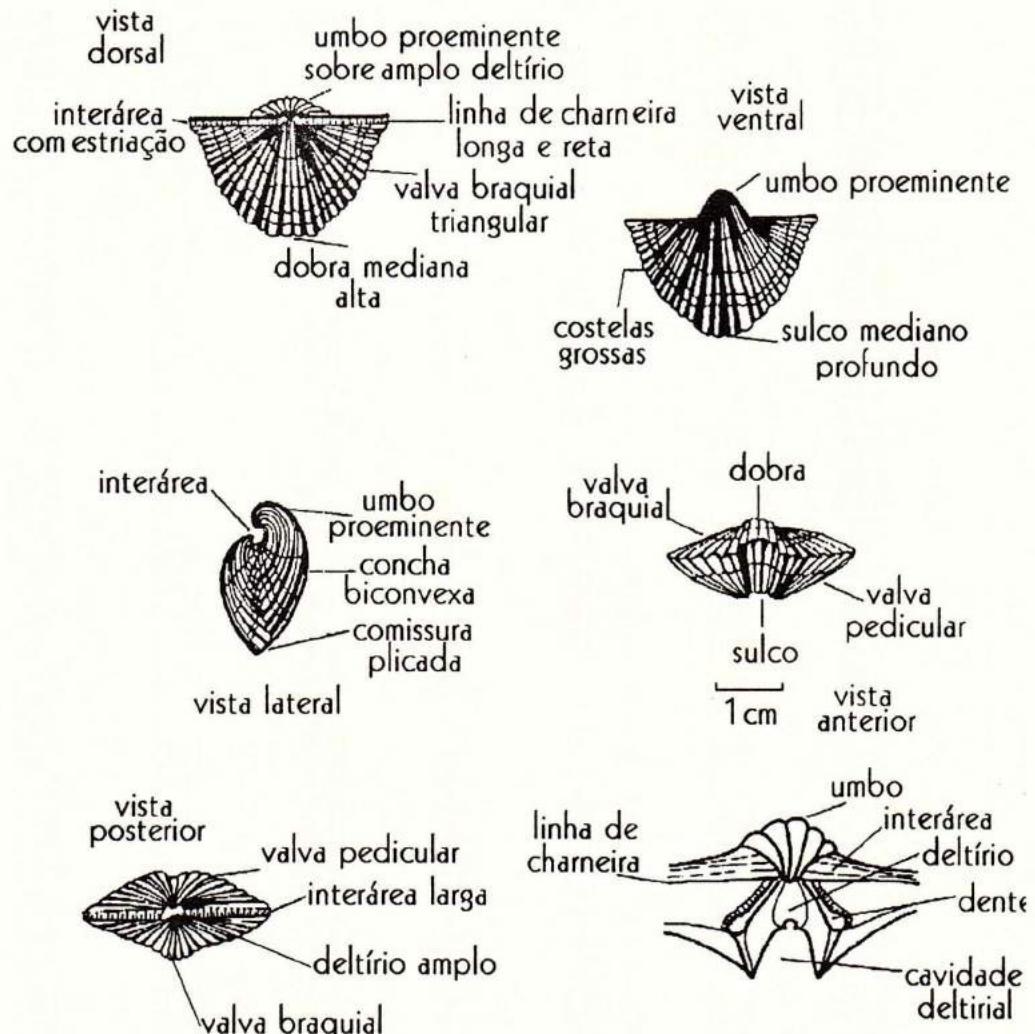


Figura 5.7. Morfologia externa de Rhynchonellida (Nield e Tucker, 1985).

Sabendo-se que os Rhynchonellida têm concha calcária, qual seria o tipo de fossilização do exemplar examinado? RECRISTALIZAÇÃO

Parte 5) Estude o exemplar fornecido e com o auxílio da Fig. 5.8 faça um esquema mostrando os elementos morfológicos reconhecíveis.

ORDEM SPIRIFERIDA
Spirifer sp. (Carb. Inf., Wales)



Punctospirifer kentuckyensis
(Carb. Sup., Oklahoma)

Figura 5.8. Morfologia externa de Spiriferida (Nield e Tucker, 1985).

Sabendo-se que os Spiriferida têm concha calcária, qual seria o tipo de fossilização do exemplar examinado? _____

Parte 6) Com o auxílio da Fig. 5.9, estude os dois exemplares ^{de Terebratulida} fornecidos e faça, abaixo, um esquema representando as feições morfológicas distinguíveis.

Nota: O um exemplar fornecido permite o reconhecimento de **feições morfológicas internas**.

ORDEM TEREBRATULIDA

Magellania flavescens

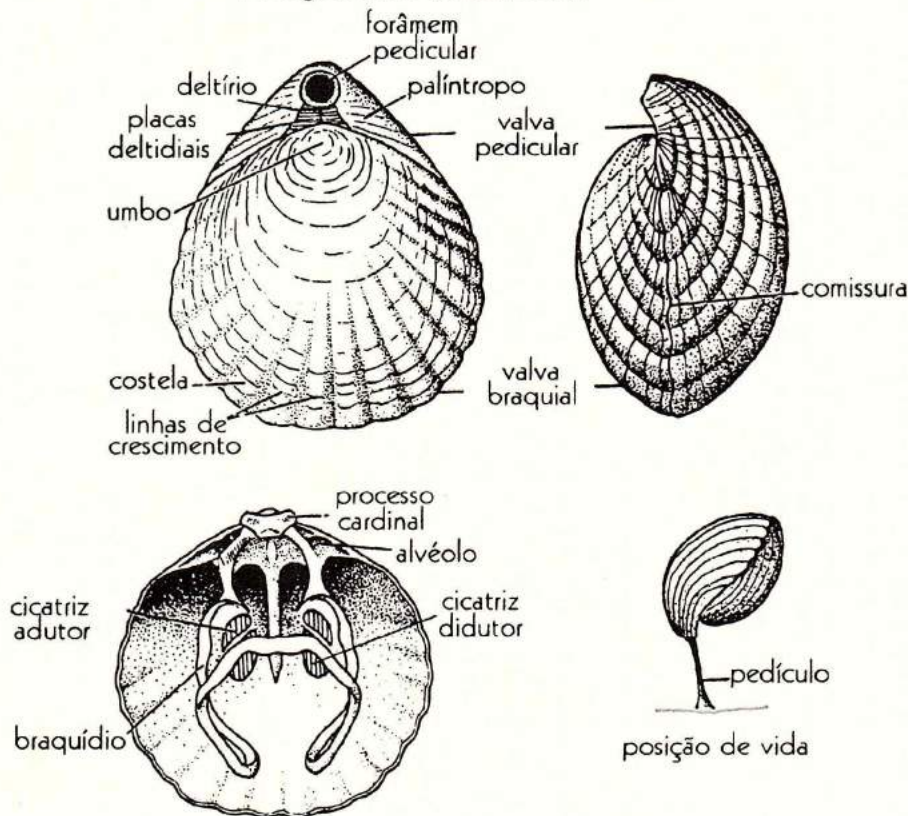


Figura 5.9. Morfologia interna e externa de Terebratulida. Recente (Clarkson, 1993).

Sabendo-se que os Terebratulida têm concha calcária, qual seria o tipo de fossilização do exemplar examinado? RECONSTITUIÇÃO

Parte 7) Morfologia funcional

Com a ajuda do diagrama de Fürsich e Hurst (Fig. 5.10), determine a energia do ambiente onde os fósseis abaixo viveram. Repare que o diagrama propõe os ambientes de vida e características morfológicas de acordo com a morfologia dos braquiópodes (Figs. 5.4 - 8) antes da interpretação morfofuncional. Verifique também se os organismos possuíam adaptações para viver em substrato mole. Identifique as ordens e veja se são coincidentes com o diagrama.

Lembre-se que algumas interpretações dependerão de assuntos tratados na aula teórica sobre braquiópodes. Para interpretações relacionadas à energia e tipo de substrato, em alguns dos exemplares, consulte o diagrama de Fürsich e Hurst (1974), criado para formas do Siluriano (Fig. 5.10).

| Espécie | Ordem | Energia do Meio | Adaptação para substrato mole |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| <i>Rafinesquina alternata</i> | | | |
| <i>Schizophoria iowaensis</i> | | | |
| <i>Pugnax pugnax</i> | | | |
| <i>Spirifer iheringi</i> | <i>Spirifer</i> | | |
| <i>Cyrtina hamiltonas</i> | | | |

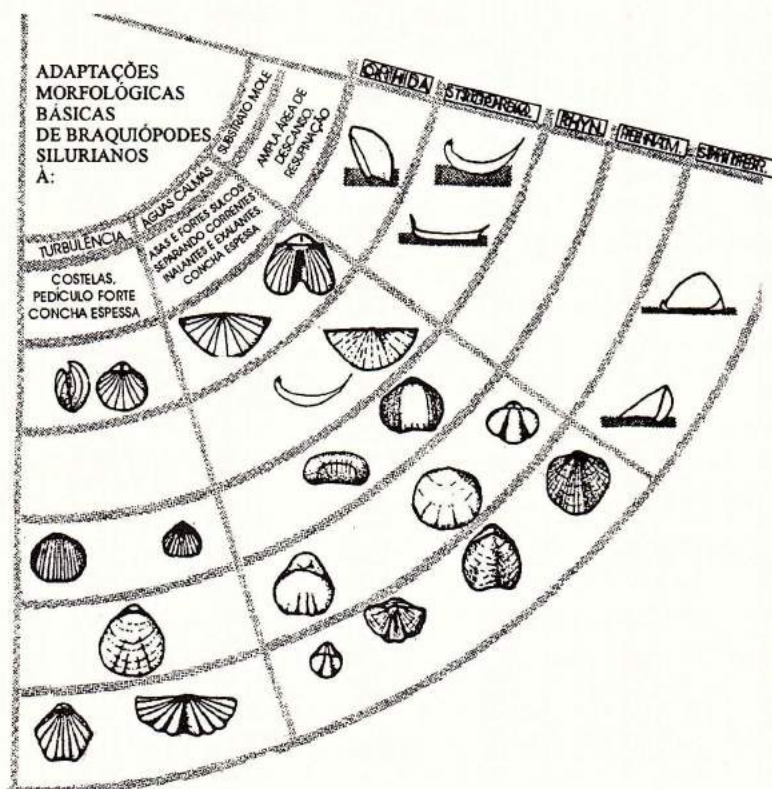


Figura 5.10. Relações entre morfologia e ambiente de vida em alguns braquiópodes do Siluriano (Fürsich e Hurst, 1974).

Parte 8) Muitos fósseis de braquiópodes apresentam-se incrustados por briozoários, serpulídeos (anelídeos), algas e mesmo por outros braquiópodes, que podem ser formas juvenis ou adultos de espécies menores. Se a incrustação ocorreu na parte interna da concha, o braquiópode estava morto quando incrustado, mas se a incrustação ocupar a superfície externa da concha, o braquiópode poderia estar vivo ou, se morto, com as valvas articuladas.

Estão expostos na bancada duas amostras de braquiópodes fósseis (Ordem Strophomenida) da Formação Itaituba, Carbonífero da Bacia do Amazonas, que foram incrustados por braquiópodes e briozoários. a) Através de um exame rápida e **muito cuidadoso (pois, além de frágeis, estes fósseis são muito preciosos)**, determine se estes exemplares estavam vivos ou mortos na época da incrustação? _____

b) Qual valva foi incrustada, em cada caso? _____

c) A convexidade estava voltada para cima ou para baixo, durante a incrustação de cada um dos espécimes? _____

d) O que isto significa, com relação à taxa de sedimentação no local? _____

460/ e) Ainda que os exemplares tenham sido preservados sem o "enxame" de espinhos, característico desta ordem durante o Carbonífero, a valva fina e frágil foi preservada quase que integralmente, sugerindo um ambiente de energia não muito alta. Esta interpretação concorda com a análise paleoecológica proposta na aula teórica? Explique. _____

640/ f) Examine os exemplares do Strophomenida *Rafinesquina alternata*, do Ordoviciano da América do Norte. Repare que um outro braquiópode *Crania scabiosa* incrusta apenas as valvas dorsais. Com a ajuda da Fig. 5.11, responda: a que Classe e Ordem pertence o gênero *Crania* e qual a sua distribuição geológica? _____

g) Qual a provável razão para que apenas a valva dorsal de *Rafinesquina* seja incrustada? _____

Parte 9) Fig. 5.11 que mostra a diversidade dos braquiópodes no tempo geológico. Identifique as épocas principais de expansão deste filo:

a) Quando ocorreram os principais eventos de extinção? _____

640/ b) Como se comparam as épocas diversificação e extinção com as dos corais e dos briozoários vistas nas aulas anteriores? _____

c) De modo geral, as crises afetaram as ordens de maneira uniforme ou há diferentes períodos de crise para cada grupo? Compare dois casos. _____

d) Quanto ao número de ordens qual classe está melhor representada no registro fóssil? _____

e) Qual a provável razão para este sucesso? _____

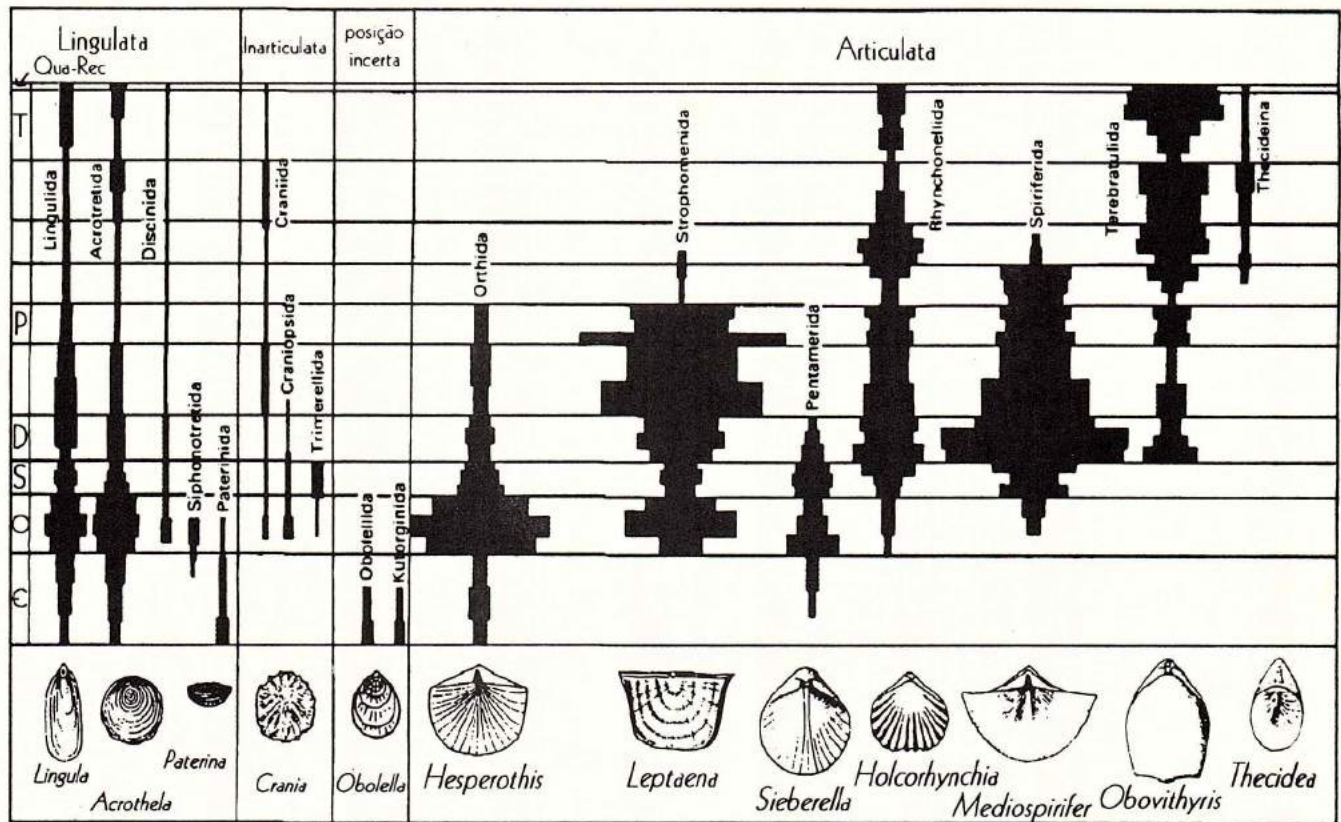


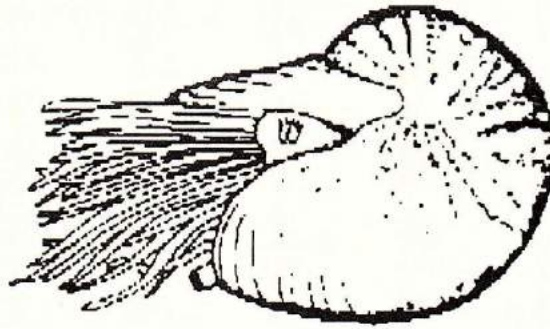
Figura 5.11. Distribuição geológica dos braquiópodes (Clarkson, 1993).

Realize após o término de todas as caixas.

Parte 10) Resuma as características das diversas ordens analisadas de acordo com seu estudo.

| Ordens/Feições | Lingulida | Orthida | Strophomenida |
|-----------------------------|-----------|---------|---------------|
| Composição | | | |
| Linha de chameira | | | |
| Umbo | | | |
| Comissura | | | |
| Ornamentação | | | |
| Sulco e Dobra | | | |
| Concavidade/ Convexidade | | | |
| Distribuição | | | |
| Observações | | | |

| Ordens/Feições | Rhynchonellida | Spiriferida | Terebratulida |
|-----------------------------|----------------|-------------|---------------|
| Composição | | | |
| Linha de chameira | | | |
| Umbo | | | |
| Comissura | | | |
| Ornamentação | | | |
| Sulco e Dobra | | | |
| Concavidade/ Convexidade | | | |
| Distribuição | | | |
| Observações | | | |



6. Moluscos fósseis

Introdução

O Filo Mollusca é o segundo maior grupo de animais, em número de espécies, depois dos artrópodos sendo conhecidas 80.000 espécies viventes e 30.000 espécies fósseis. A grande variedade de formas e hábitos de vida desenvolvidos pelas diferentes classes deixou uma riquíssima representação no registro fóssil, já desde o início do Eon Fanerozóico, em sedimentos marinhos, principalmente, e de maneira menos abundante em rochas sedimentares de ambientes continentais de água doce e mesmo os francamente terrestres.

A grande variedade de formas deveu-se, principalmente, aos diferentes hábitos alimentares desenvolvidos. Os bivalves, representados principalmente por formas detritívoras e filtradoras da infauna rasa durante a Era Paleozóica, já constituíam, no Mesozóico, a fauna conchífera dominante nos ambientes marinhos devido ao desenvolvimento de sífonos, tornando-se filtradores da infauna profunda. Os monoplacóforos e gastrópodes adquiriram um aparelho raspador, a rádula, que possibilitou o surgimento de formas herbívoras, carnívoras e mesmo necrófagas. Os cefalópodes, também dotados de rádula, adquiriram mandíbulas fortes, tornando-se predadores vorazes, além de excelentes nadadores. Durante o Mesozóico, experimentaram grande diversificação, mas foram quase completamente extintos durante a crise biológica do limite Cretáceo-Terciário, sendo hoje representados por apenas poucos gêneros viventes.

Os moluscos fósseis são organismos especialmente importantes do ponto de vista paleoecológico, uma vez que a maioria dos grupos têm representantes viventes, o que permite a utilização do princípio do atualismo na interpretação de sua morfologia funcional. As diferentes formas e hábitos de vida proporcionam dados importantes na reconstituição paleoambiental.

Este exercício tem por objetivo o estudo dos principais aspectos morfológicos dos gastrópodes, bivalves e cefalópodes fósseis, e a interpretação do hábito e do ambiente de vida dos moluscos.

Classificação parcial dos táxons e distribuição geológica (modificado de Clarkson, 1994). Táxons em negrito serão examinados em sala de aula.

Filo Mollusca

Classe Monoplacophora (Cambriano-Recente)

Classe Amphineura (Cambriano superior-Recente)

Classe Scaphopoda (Ordoviciano-Recente)

Classe Bivalvia (Cambriano-Recente)

Classe Rostroconchia (Cambriano superior-Permiano)

Classe Gastropoda (Cambriano-Recente)

Classe Cephalopoda (Cambriano superior-Recente)

Subclasse Nautiloidea (Cambriano superior-Recente)

Subclasse Ammonoidea (Devoniano inferior-Cretáceo superior)

Subclasse Coleoidea (?Carbonífero-Recente)

Exercícios:

Parte 1) Gastrópodes. Figura 6.1 vai ajudá-lo a identificar as principais feições de partes duras normalmente utilizadas na descrição de gastrópodes fósseis. Esquematize, abaixo, os exemplares da caixa e aponte, segundo as feições identificadas, as diferenças morfológicas mais notáveis entre os espécimes.

a) Segundo Fig. 6.1, descreva a forma dos exemplares da caixa. _____

b) Qual o tipo de fossilização dos exemplares? _____

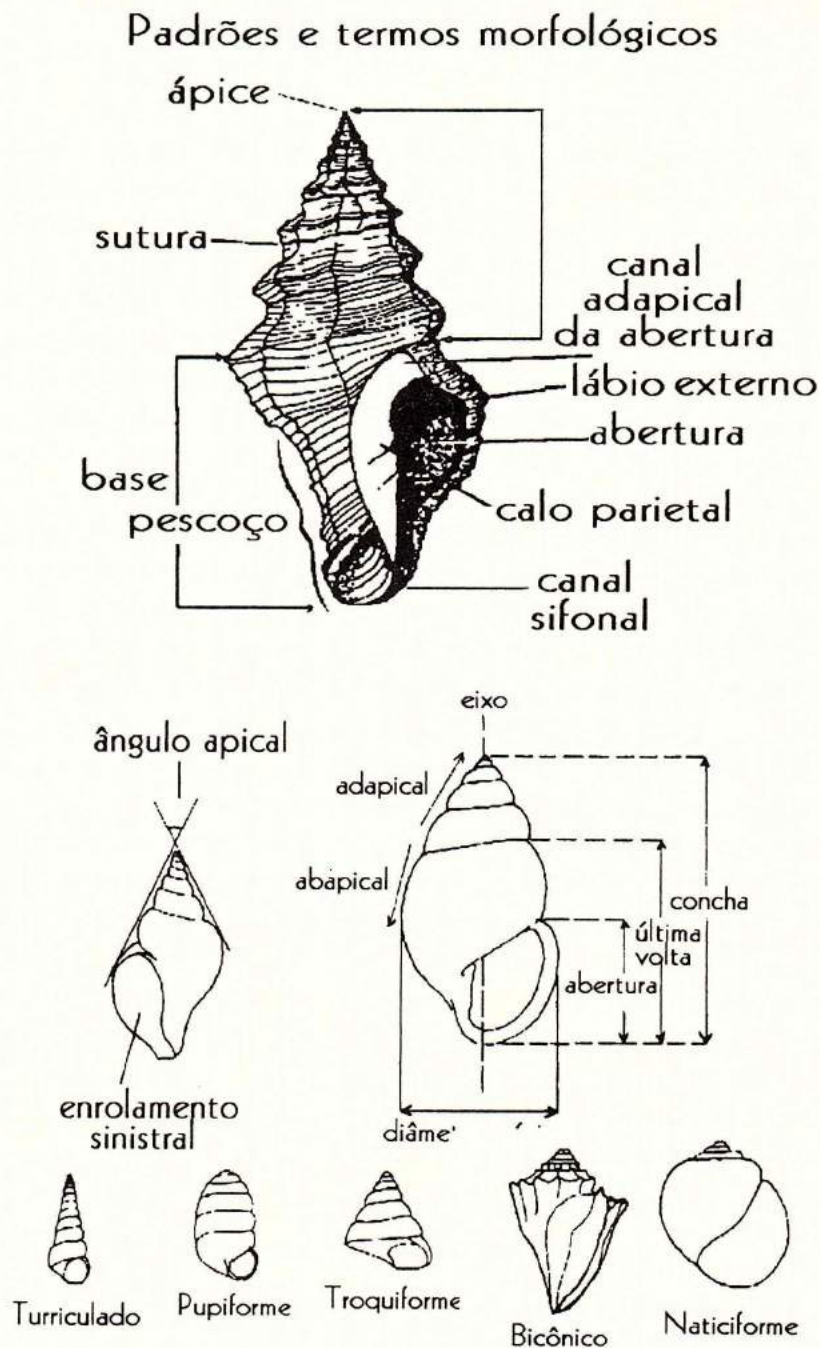


Figura 6.1. Morfologia dos gastrópodes (Nield e Tucker, 1985).

Parte 2) Cefalópodes nautilóides. Cefalópodes de concha reta estão entre os mais primitivos da classe. a) Examine o exemplar mostrado (trata-se de um fragmento), esquematize-o ao lado e identifique, segundo a Fig. 6.2, as feições morfológicas preservadas.

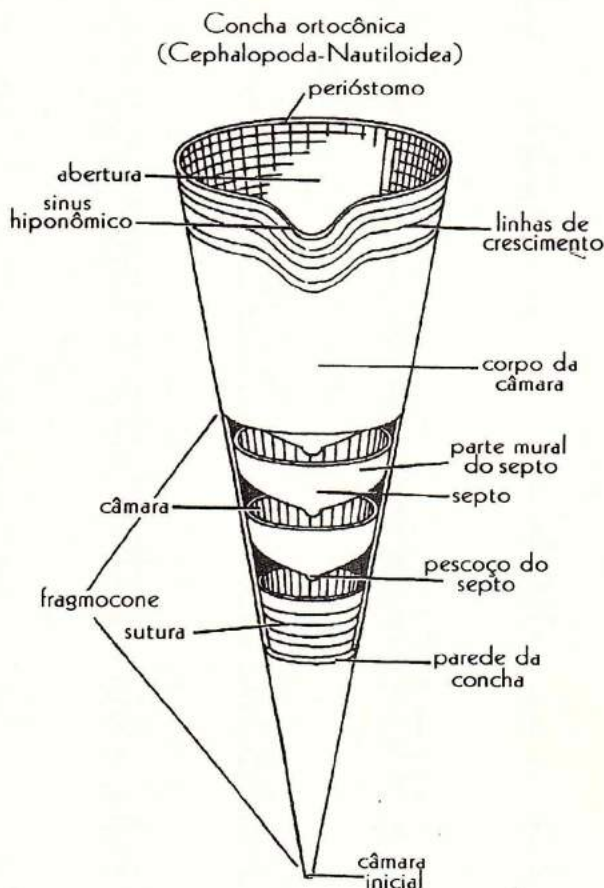


Figura 6.2. Morfologia dos nautilóides de concha reta (Boardman et al., 1987).

b) Qual o processo de fossilização do espécime de concha reta? _____

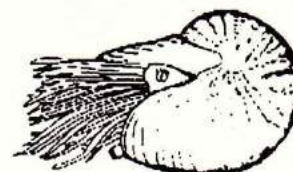
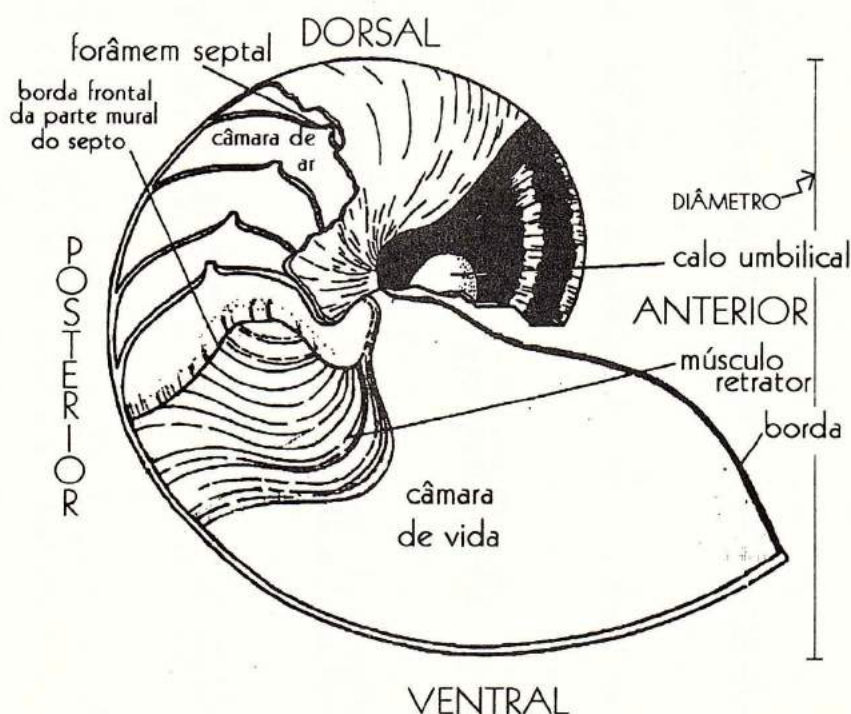


Figura 6.3. *Nautilus* (R). Morfologia dos nautilóides de concha enrolada (Boardman et al., 1987).

c) Qual o tipo de fossilização do espécime de concha enrolada? _____

Parte 3) Cefalópodes amonóides. A maioria dos amonóides estão preservados como moldes internos. As linhas onduladas e/ou crenuladas que aparecem sobre os moldes (linhas de sutura) correspondem a interseção dos septos com a parede da concha. Com a ajuda da Fig. 6.4, reconheça os tipos de sutura e esquematize uma delas no espaço abaixo. Qual a idade dos espécimes? _____

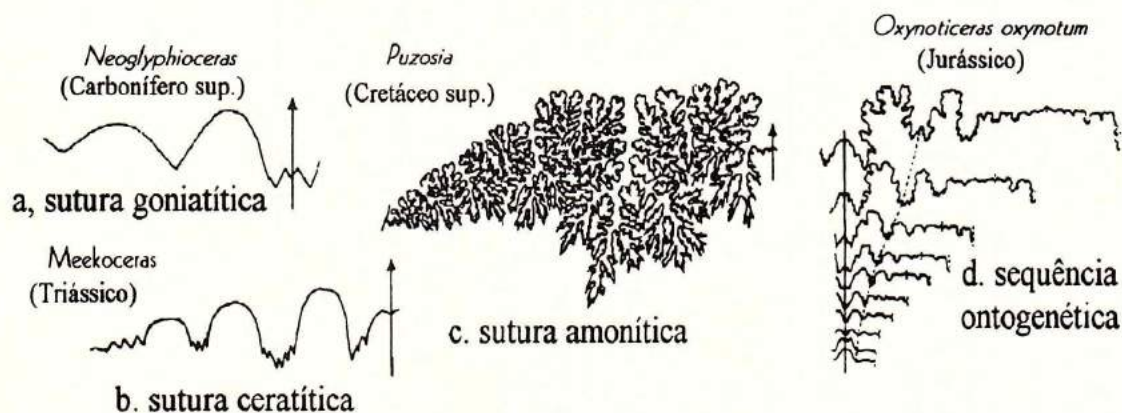


Figura 6.4. Tipos de suturas em amonóides (a-c). Sequência de desenvolvimento ontogenético da sutura de um amonóide (d) (Clarkson, 1993).

Parte 4) Bivalves. Lembre-se que a simetria da concha dos braquiópodes é condicionada pela fusão das abas do manto na região posterior da concha. Por sua vez, nos moluscos bivalves, a fusão é na região dorsal, o que resulta na secreção de uma concha com simetria distinta da dos braquiópodes. a) Usando a Fig. 6.5, esquematize o exemplar mostrado, identificando todas as feições que estiverem preservadas.

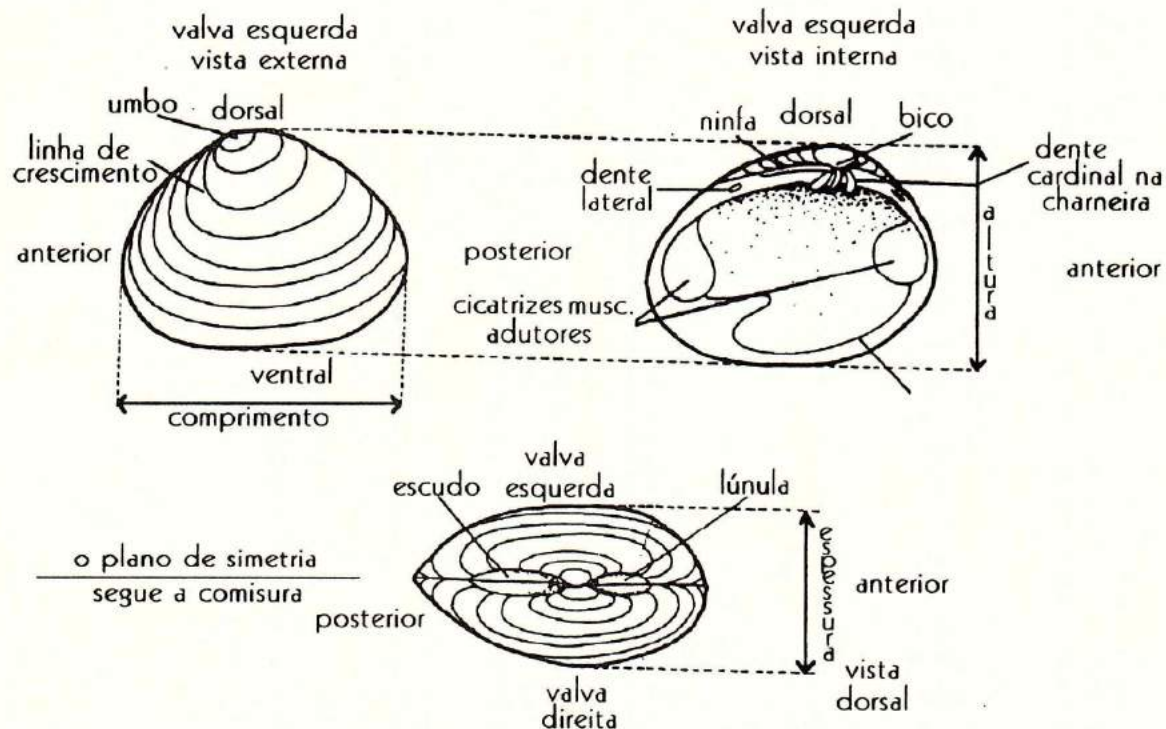


Figura 6.5. Morfologia interna e externa de concha de molusco bivalve (Nield e Tucker, 1985).

b) Qual das valvas (direita ou esquerda) está representada? _____

Parte 5) Examine agora os exemplares de moluscos bivalve (*Trigonia* sp.) e um braquiópode (*Neospirifer* sp.) respectivamente. Esquematize-os em vista dorsal e indique os planos de simetria das conchas.

Trigonia sp.

Neospirifer sp.

Parte 6) Examine a Fig. 6.6 e responda as questões.

a) Quais são os principais períodos de irradiação adaptativa do grupo? _____

b) Quais são os principais períodos de crise? _____

c) Identifique a sobreposição de períodos de irradiação e crise entre os diferentes grupos? _____

d) Compare a distribuição geológica dos cefalópodes com a dos outros grupos já estudados. Identifique um período de grande irradiação e um evento de crise que tenha afetado todos os filos já estudados. _____

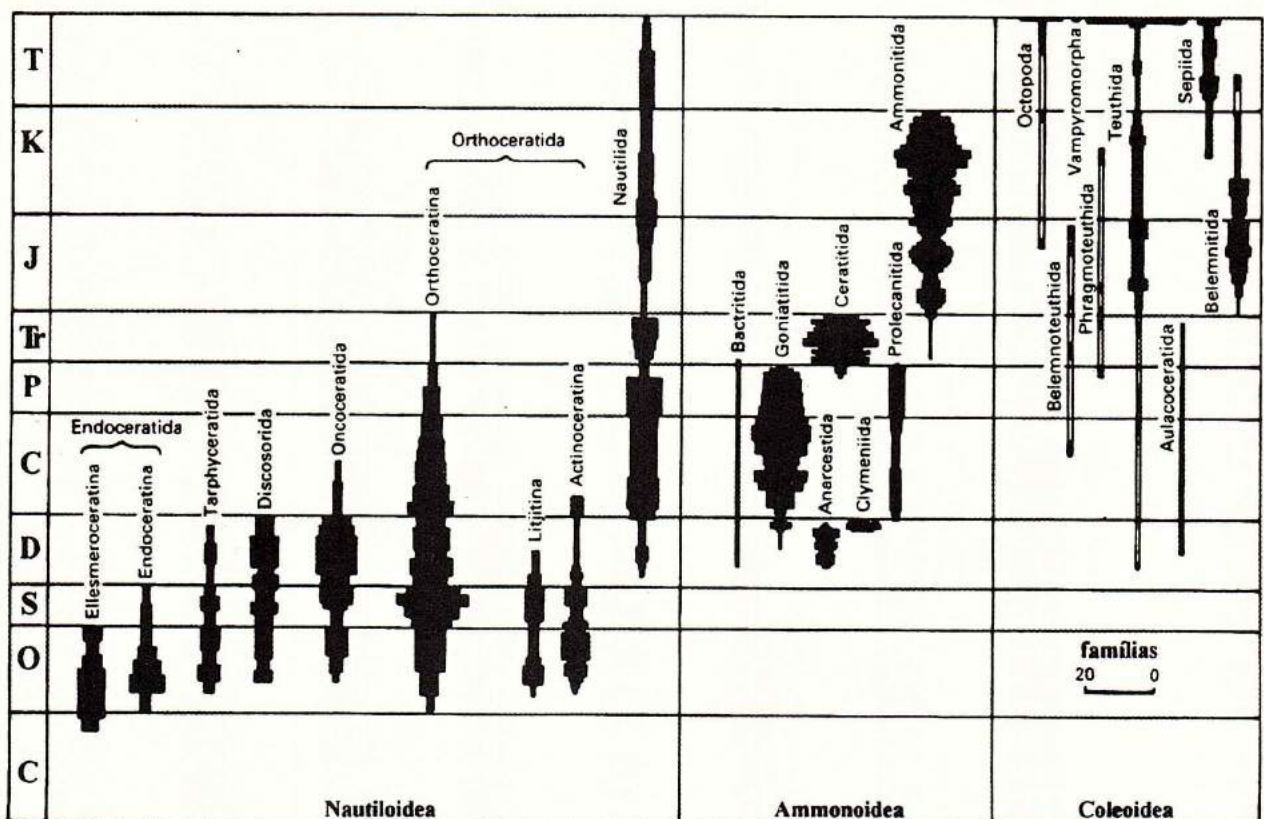


Figura 6.7. Distribuição geológica e abundâncias das três subclasses de cefalópodes (Clarkson, 1993).

Parte 7) Examine a reconstituição paleoecológica da Fig. 6.7. A metade superior do bloco representa uma comunidade viva e a metade inferior uma assembléia fóssil derivada desta comunidade.

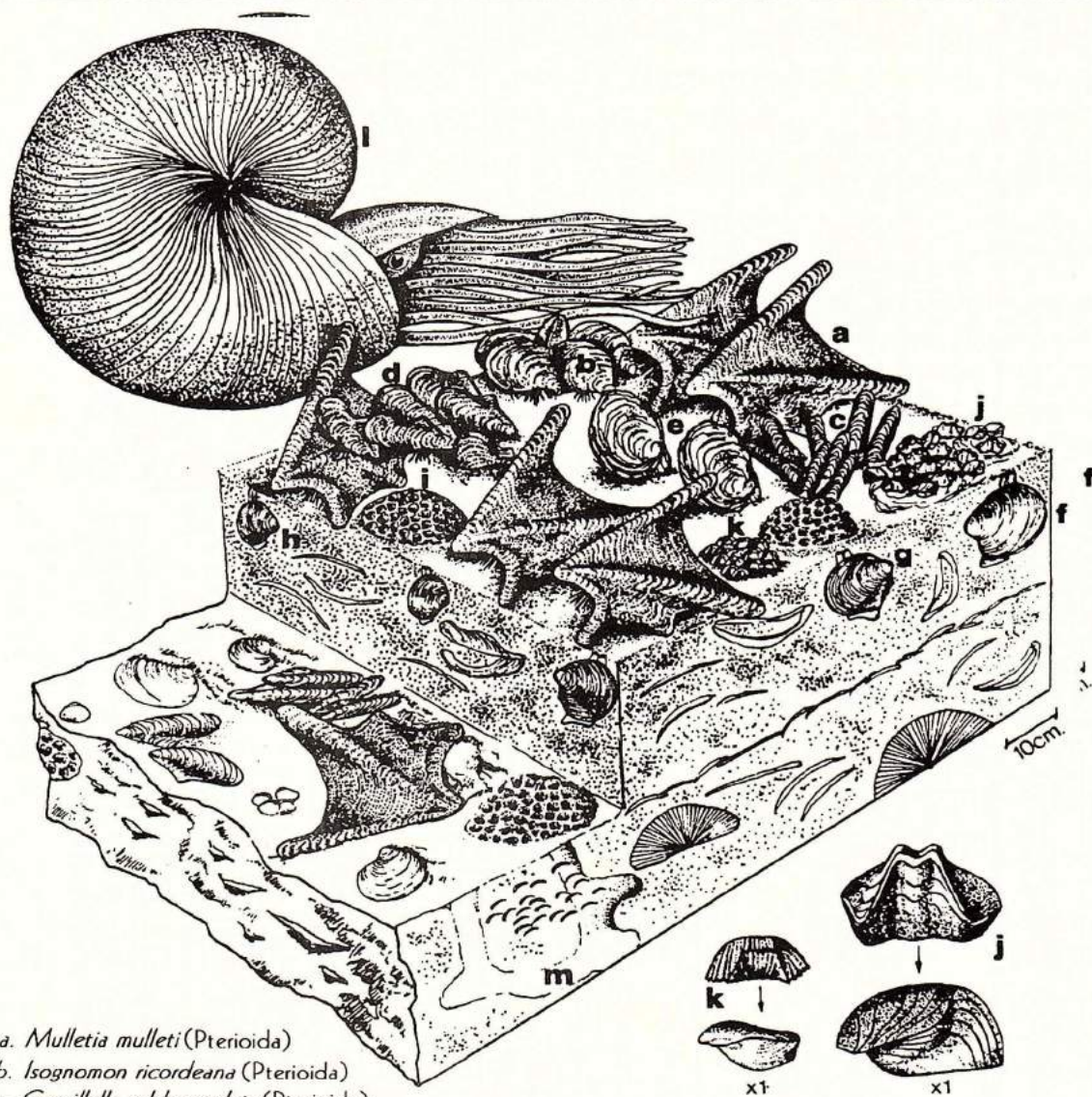
a) Quantas classes de moluscos você reconhece no diagrama? _____ Quais são elas?

b) Quais os hábitos de vida distintos dos moluscos? Identifique os exemplos com letras

c) Que outros filos de invertebrado você reconhece? _____

d) Qual o habitat de vida desses organismos? _____

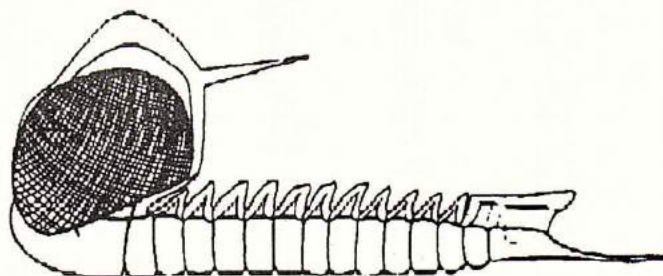
e) Que tipos de fósseis podem ser identificados na região inferior do bloco -3)? _____



- a. *Mulletia mulleti* (Pterioida)
- b. *Isognomon ricordeana* (Pterioida)
- c. *Gervillia sublanceolata* (Pterioida)
- d. *G. alaeformis* (Pterioida)
- e. *Aetostreon latissima* (Pterioida-ostra)
- f. *Sphaera corrugata* (Veneroida)
- g. *Protocardia sphaeroidea* (Veneroida)

- h. *Venilicardia protensa* (Veneroida)
- i. *Holocystis elegans* (Scleractinia)
- j. *Sellithyris sella* (Terebratulida)
- k. *Sulcirhynchia hythensis* (Rhynchonellida)
- l. *Cymatoceras radiatum* (Nautiloidea)
- m. *Thalassinoides* (Crustacea)

Figura 6.8. Reconstituição paleoecológica de uma comunidade jurássica de substrato marinho lamoso (McKerrow, 1978).



7. Artrópodes fósseis

Introdução

As feições mais características dos artrópodes são a presença de um **exoesqueleto** rígido constituído de quitina (substância orgânica resistente), muitas vezes mineralizado por calcita; e **apêndices pareados** usados para diferentes funções: comer, andar, nadar etc. De fato, os artrópodes tomam o seu nome da presença desses apêndices articulados, que podem tornar-se especializados e variar em número, arranjo e morfologia.

Os artrópodes são, sem dúvida, os mais bem sucedidos e diversificados de todos os invertebrados. O seu exoesqueleto garante-lhes um grande potencial para fossilização, principalmente se for mineralizado. A presença de uma **base rígida** para **fixação** dos músculos faz com que muitos artrópodes tenham locomoção rápida e eficiente. A posse de mandíbulas especializadas constitui uma outra grande vantagem para o grupo. Há basicamente duas idéias: a **monofilética** (origem a partir de um único ancestral), e a **polifilética** proposta por Manton (1973-1977). Segundo esta hipótese, a **artropodização** (aparecimento de animais com características dos artrópodes) ocorreu pelo menos três vezes, resultando em três ou mais diferentes filós. Pesquisas recentes envolvendo análise cladística de caracteres morfológicos e genéticos, entretanto, apontam para monofiletismo.

Para conveniência, usaremos aqui a classificação de Manton.

Filo Uniramia (Cambriano – Recente) Sem apêndices birramosos

Classe Onychophora (Cambriano – Recente)

Ex: *Peripatus* (Rec.), *Aysheaia* (Cambriano)

Classe Myriapoda (Carbonífero – Recente)

Ex: Miriápodes, Centopéias

Classe Hexapoda (Devoniano – Recente)

Ex: Insetos

Filo Crustácea (Cambriano – Recente) Apêndices birramosos

Ex: caranguejos, ostracodes, conchostráceos

Filo Chelicerata (Cambriano – Recente) Corpo dividido em duas partes: prossoma e epistossoma; presença de um par de queliceras

Classe Merostomata (Cambriano – Recente)

Ex. xifosuros (Camb.-Rec.), *Limulus* (Rec.), euripterídeos (escorpiões d'água, Ord. – Perm.)

Classe Arachnida (Sil. – Rec.)

Exs.: aranhas, escorpiões

?Filo ou Classe Trilobita (Cambriano -Permiano) Somente fósseis

Ordem Redlichiida (Camb. inf.-médio)

Ordem Agnostida (Cambriano inferior-Ordoviciano superior)

Ordem Naraoiida (Camb. inf. -Ord.)

Ordem Corynexochida (Camb. inf. -Dev. méd.)

Ordem Lichida (Camb. méd.-Dev. méd.)

Ordem Phacopida (Ordoviciano inferior-Devoniano superior)

Ordem Ptychopariida (Camb. inf. -Dev. sup.)

Ordem Asaphida (Camb. sup.-S.)

Ordem Proetida (Ord. -C sup)

Filo Trilobita

Constituem o grupo de artrópodes mais primitivos representados desde o Cambriano até o final do Permiano. Foram inteiramente marinhos. São conhecidos mais de 1500 gêneros e milhares de espécies, principalmente em rochas cambrianas e ordovicianas. O nome Trilobita deriva da divisão longitudinal dos segmentos do corpo por meio de dois sulcos longitudinais. Assim sendo, cada segmento do tórax e pigídio consta de um **lobo axial** e dois **lobos pleurais**. A parte dorsal da carapaça, de espessura maior, é mais freqüentemente conservada. A membrana ventral, mais fina, é mais raramente fossilizada. A cutícula (carapaça) dos trilobitas consiste predominantemente de calcita magnesiana sob a forma de agulhas microcristalinas dispostas perpendicularmente à superfície, imersas em uma substância orgânica não conhecida. Quitina não foi ainda identificada nos trilobites.

O corpo dos trilobitas (carapaça dorsal) é subdividido transversalmente em (Fig. 3):

- a) céfalo: placa única formada pela fusão de segmentos, consistindo de três partes: glabela, suturas faciais, apêndices: 1 par de antenas e 2 pares de apêndices locomotores birramosos, olhos compostos.
- b) Tórax segmentado: constituído de segmentos, ou somitos torácicos articulados entre si., apêndices pareados birramosos: 1 par por segmento, pigídio: placa única, formada pela fusão de segmentos finais, apêndices birramosos

✦ O hábito de vida dos trilobites variou de bentônico a nectônico (há várias espécies interpretados como pelágicas). No fundo do mar, o animal deslocava-se à procura de comida, mantendo-se tanto sobre o substrato, como enterrando-se nele.

Muitas marcas deixadas pelos trilobitas sobre os sedimentos ocorrem como fósseis (icnofósseis), dando-nos indicações sobre o seu comportamento. A forma mais conhecida é chamada Cruziãna. Corresponde a marcas deixadas pela locomoção de trilobitas, onde se distinguem, claramente, os traços deixados no sedimento pelas pernas.

Como é comum entre os artrópodes, os trilobites sofriam mudas (ecdise) o que permitiu a reconstituição da sequência ontogenética de várias espécies dos estágios de crescimento (protaspis, meraspis e holaspis).

Os trilobites surgiram no Cambriano, e tiveram seu apogeu, diminuindo gradativamente em abundância e diversidade até o Permiano, quando desapareceram. São conhecidos trilobites em várias formações marinhas brasileiras do Devoniano e Carbonífero, nas bacias do Paraná, Parnaíba e Amazonas.

O cladograma da Fig. 7.1, apresenta uma hipótese de parentesco entre os artrópodes e alguns grupos de invertebrados.

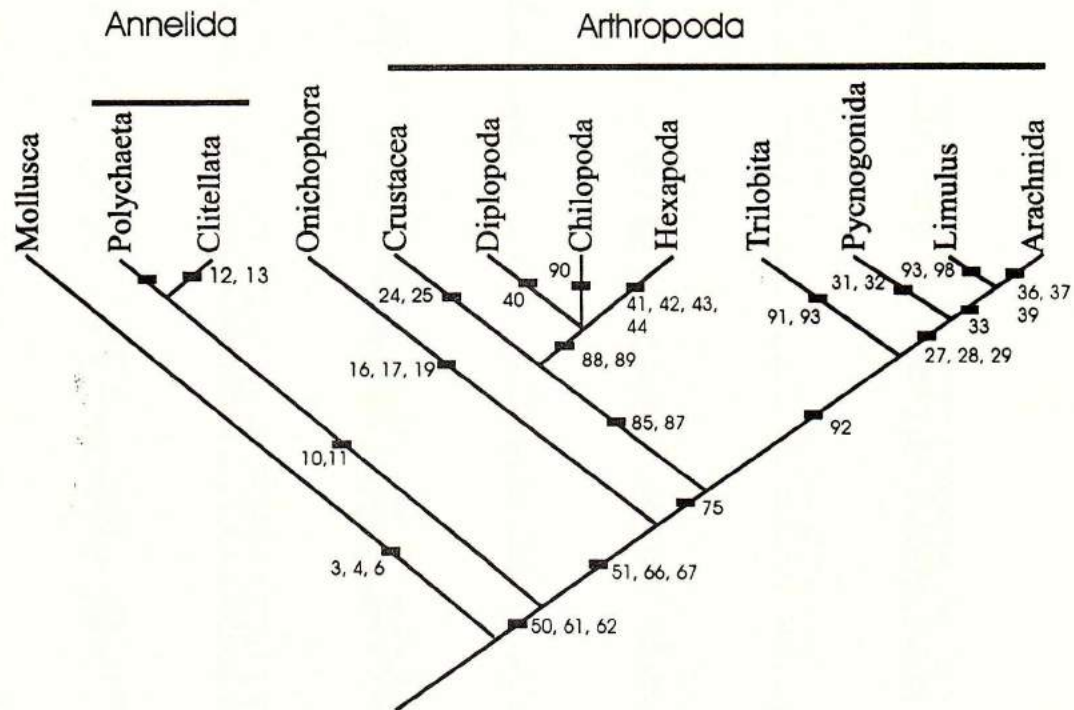


Figura 7.1. Cladograma derivado da análise de 100 caracteres mostrando uma relação hipotética entre diversos grupos de invertebrados. As barras e números indicam as posições de alguns caracteres morfológicos listados por Wheeler et al. (1993). Os caracteres 91 (presença de exoesqueleto dorsal duro e ventral mole) e 93 (presença de extremidade anterior alargada), dentre outros não representados, diferenciam os trilobites.

Exercícios:

Parte 1) Com a ajuda da Fig. 7.2, estude a morfologia dos exemplares fornecidos. Tente reconhecer as feições morfológicas indicadas. Esquematize o exemplar estudado.

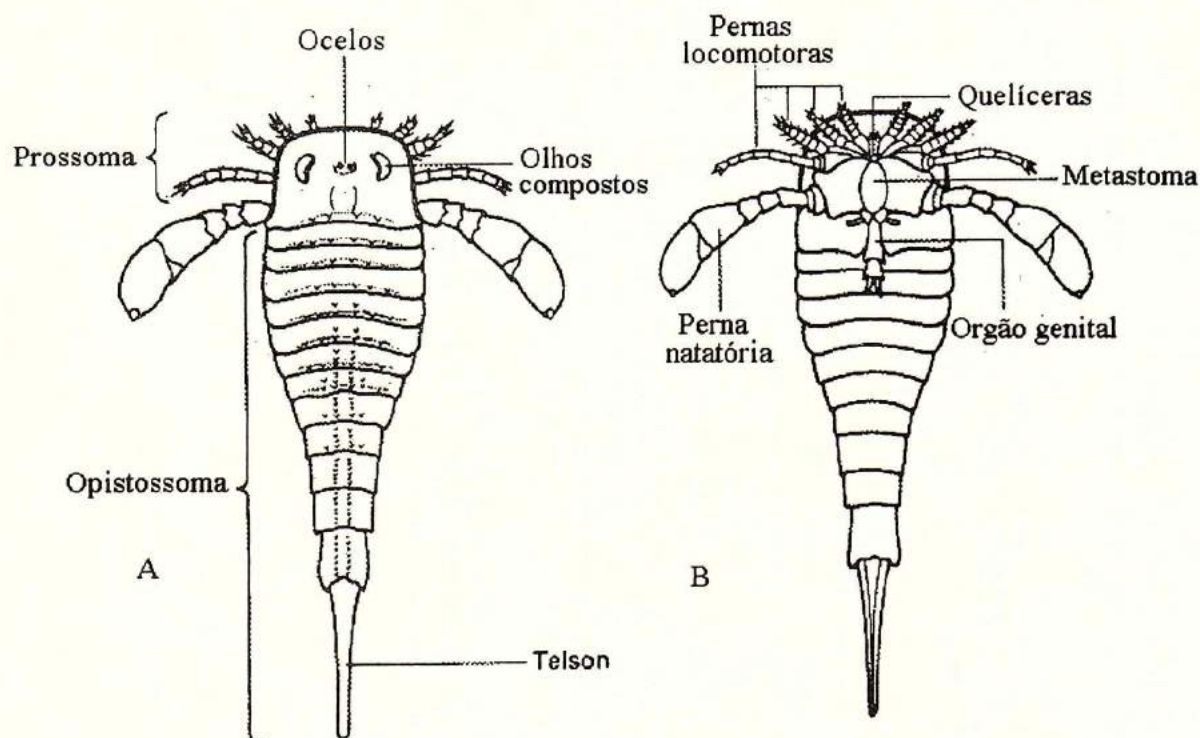


Figura 7.2. *Baltoeurypterus tetragonophthalmus*. Subclasse Eurypterida. Morfologia externa dorsal (A) e ventral (B) (Clarkson, 1993).

a) Várias feições morfológicas mostradas pelo espécime, interpretadas atualisticamente, sugerem o provável hábito de vida do organismo. Procure identificar essas feições e apresente uma interpretação morfofuncional. _____

Parte 2) Examine a réplica do trilobite (Ordem Phacopida). Esquematize-a, em vista dorsal, indicando as feições morfológicas visíveis (céfalo, tórax, pigídio etc.). Use a Fig. 7.3 como guia.

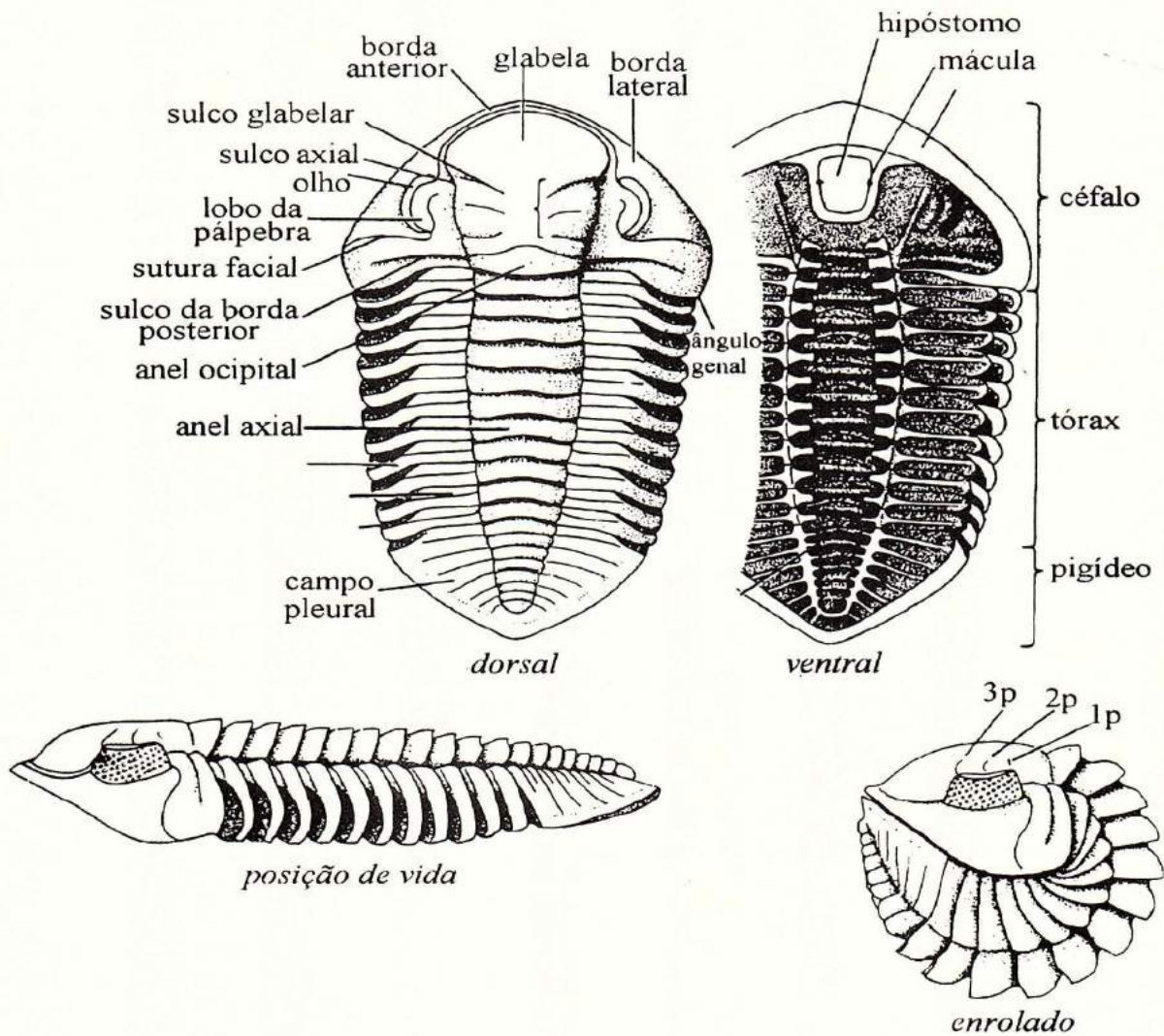
Morfologia de *Acaste downingiae*, Siluriano, Inglaterra

Figura 7.3. Morfologia geral de Trilobita (Phacopida) representado por *Acaste downingiae* (Siluriano) (Clarkson, 1993).

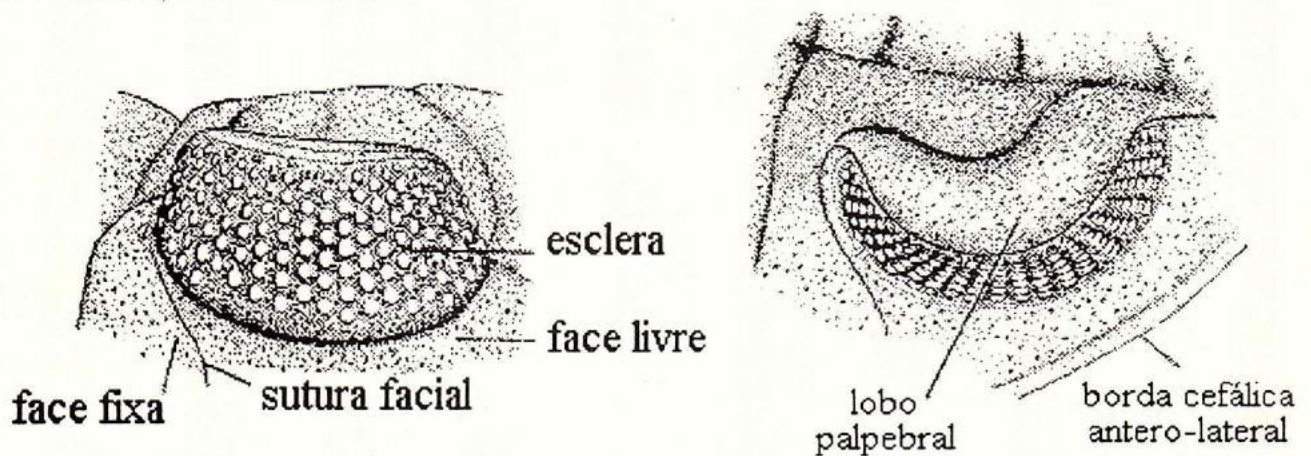


Figura 7.4. Olho de trilobite: *Acaste downingiae*. Vista lateral e dorsal (Clarkson, 1993).

a) Estude os olhos do exemplar da caixa e compare-os com a Fig. 7.4. Tente agora determinar no seu esquema, o campo de visão do organismo quando vivo. Delimite com linhas e pinte com lápis no esquema, o provável campo de visão do organismos. Descreva sucintamente o campo de visão (frontal, lateral etc.).

b) Existe algum aspecto da morfologia que prejudicaria um maior campo de visão? Descreva: _____

c) Com base na morfologia do esqueleto, qual seria o provável hábito de vida deste organismo? _____

d) E do exemplar da Ordem Agnostida? _____

Parte 3) Examine atentamente a Fig. 7.5. Trata-se de marcas encontradas em sedimentos e atribuídas à atividade de trilobites. Veja as descrições abaixo e localize o esquema equivalente a cada uma delas.

a. Pistas produzidas por trilobite "arador".

b. Marcas de descanso das coxas e marcas de tração deixadas pelos apêndices, logo que o trilobite deixou a área.

c. Trilobite em uma escavação rasa.

d. Terminologia empregada no estudo das marcas.

f. Reconstituição (vista em transparência, por baixo) mostrando como as marcas de deslocamento lateral são impressas nos sedimentos.

a) Como você acha que as marcas do tipo *Cruziana* se formaram? _____

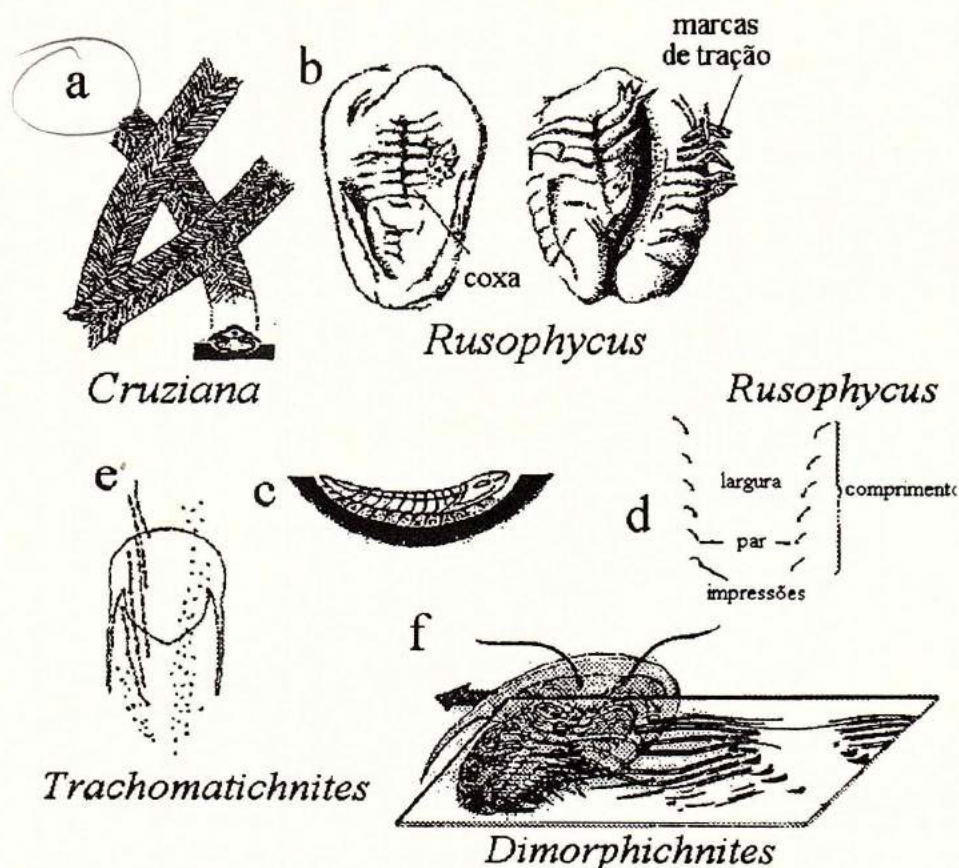


Figura 7.5. Marcas de deslocamento (icnofósseis) atribuídas a trilobites e seus respectivos nomes (Clarkson, 1993).

3

Parte 4) O exemplar é um molde natural de um traço atribuído a trilobite coletado de sedimentos silurianos da Bolívia. a) Descreva sucintamente. _____

A qual dos tipos na Fig. 7.5 pertence? _____

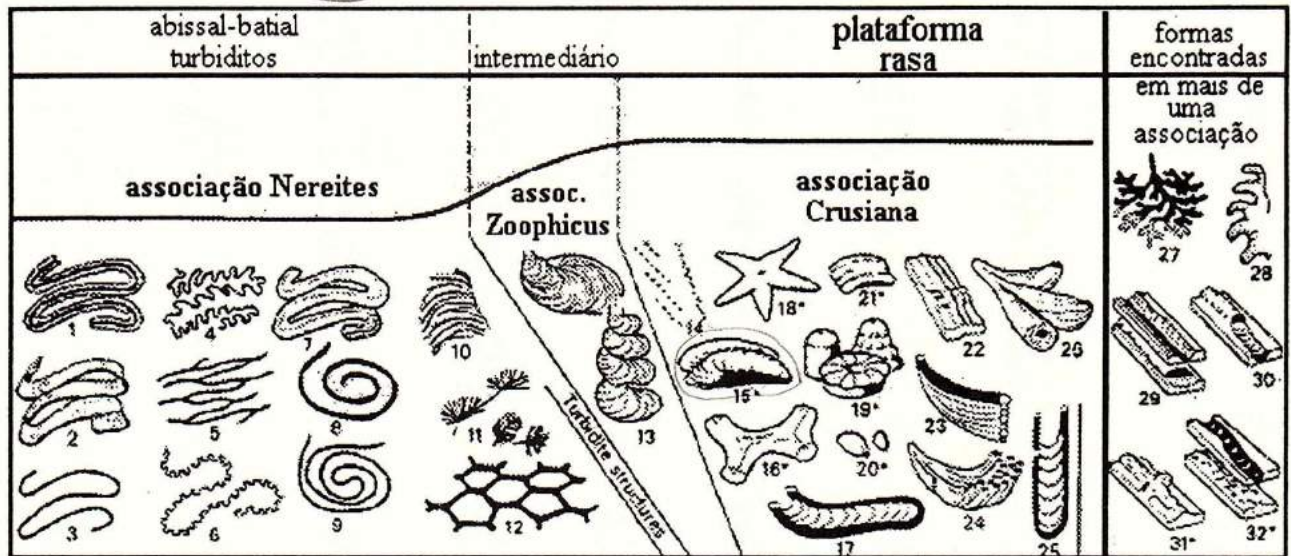


Figura 7.6. Distribuição ambiental de vários tipos de icnofósseis.

b) Examine na Fig. 7.6. Qual a região onde este tipo de icnofóssil é normalmente encontrado? _____

Parte 5) Examine a Fig. 7.7 e responda:

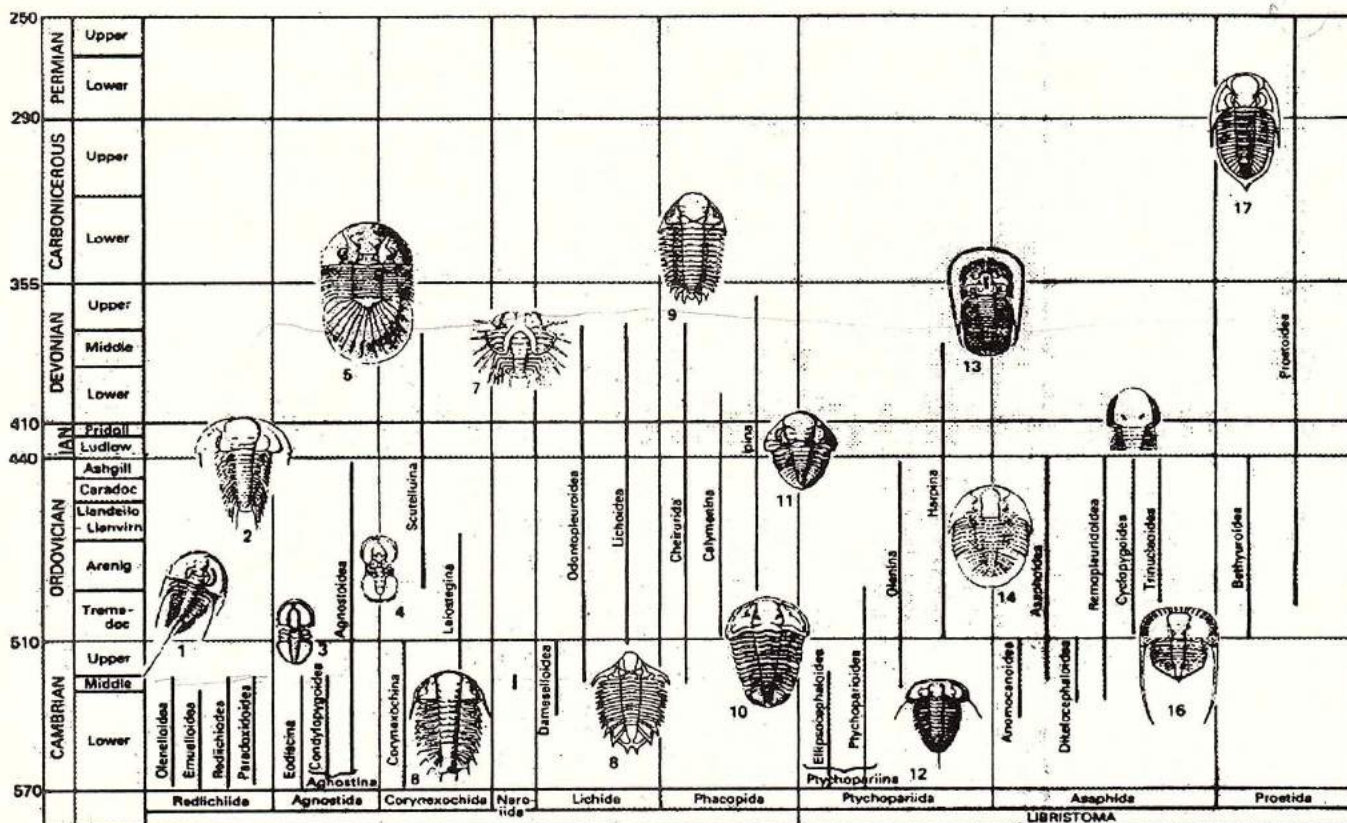


Figura 7.7. Distribuição geológica das ordens e subordens de trilobites (Clarkson, 1993).

- a) Em que período ocorre o maior número de ordens e subordens dos trilobites (maior diversificação). _____
- b) Qual o intervalo de tempo em que ocorre o maior surgimento de novos taxons? _____
- c) Identifique três épocas de crise na história dos trilobites. Atente para as subdivisões dos períodos.
1. _____ 2. _____ 3. _____

Distribuição geológica de algumas supeclases de artrópodes

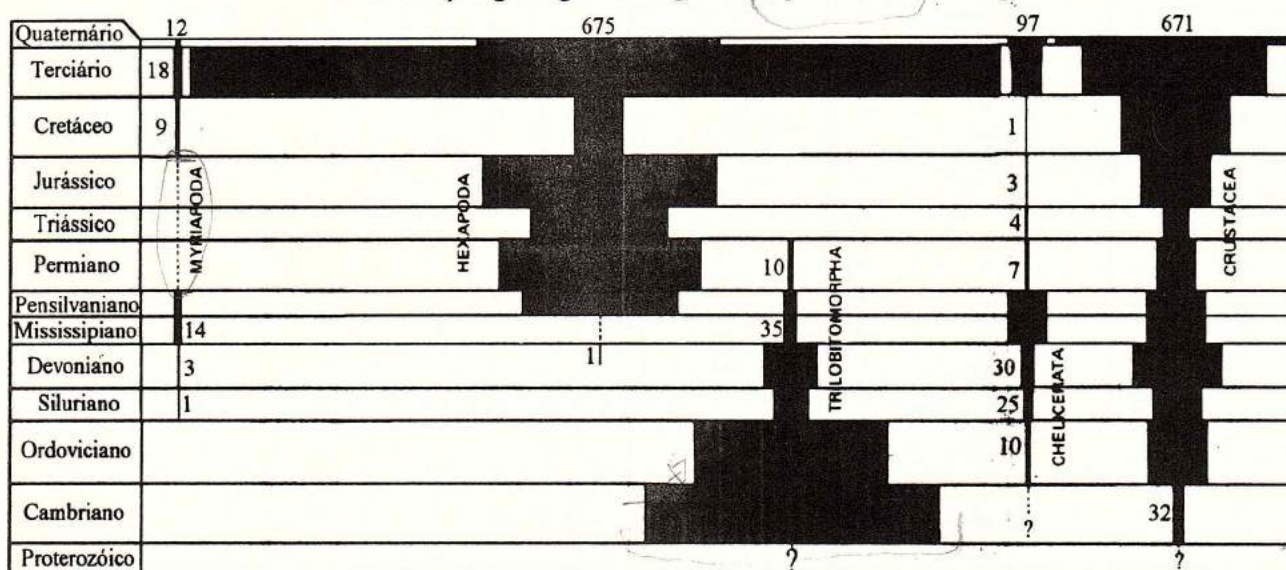
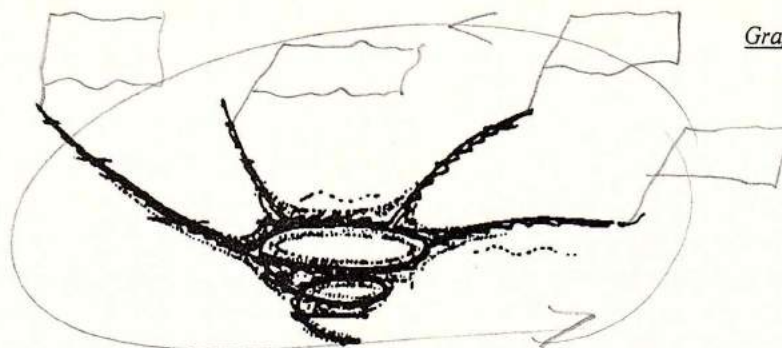


Figura 7.8. Distribuição geológica de alguns grupos dos (superclasses) artrópodes (Clarkson, 1993).

d) O exame Fig. 7.8, indica alguma diferença entre os períodos de diversificação e crise mostrados e os que identificou na Fig. 7, com relação aos trilobites? Repare que o nível taxonômico abordado em cada um dos diagramas é distinto. _____

e) Identifique os períodos de crise biológica afetando cada uma das principais superclasses de artrópodes _____



8. Graptozoários

Introdução

O Filo Hemichordata inclui as classes Enteropneusta (*Balanoglossus*), Pterobranchia (*Rhabdopleura*), ambas formas marinhas com representantes viventes, e a Classe Graptolithina (graptozoários), extinta, também marinhos. Os hemicordados foram considerados, no passado, como um grupo filogeneticamente próximo aos cordados devido a presença de uma estrutura alongada, tubular, conhecida como estolão, análoga à coluna vertebral dos vertebrados. Hoje em dia, sabe-se que esta estrutura está, na verdade, relacionada ao trato digestivo nas formas viventes de Enteropneusta e Pterobranchia.

Representantes da Classe Graptolithina ocorrem desde o Cambriano até o Carbonífero Superior (Pensilvaniano) principalmente em folhelhos negros, rochas de granulometria fina, ricas em matéria orgânica, invariavelmente, como compressões de finas películas carbonosas. Também ocorrem, porém com menor frequência, em rochas carbonáticas e em sílex, que podem fornecer exemplares tridimensionais muito bem preservados (Fig. 8.1).

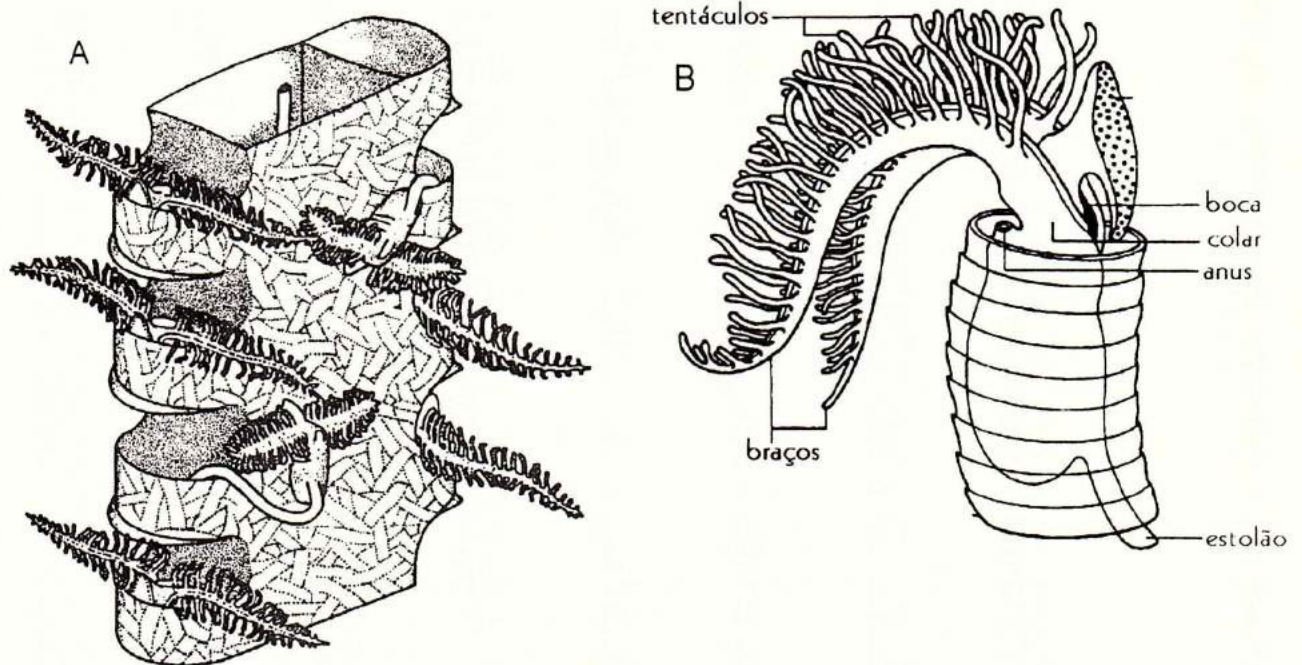
As relações de parentesco dos graptozoários tem sido motivo de discussão entre os cientistas há mais de dois séculos. Estudos da anatomia e composição da periderme de graptozoários e formas viventes de pterobranquiados (*Rhabdopleura*) apoiam o agrupamento de graptozoários e pterobranquiados no Filo Hemichordata. A Fig. 2 apresenta uma reconstituição de um graptozoário e uma forma vivente de Pterobranchia.

Seis ordens estão agrupadas na Classe Graptolithina, mas só as duas principais serão estudadas neste exercício: as Ordens Dendroidea e Graptoloidea. Os Dendroidea eram aparentemente fixos, com **rabdossoma** formado por muitos ramos interligados. Os Graptoloidea foram formas planctônicas, que assumiram morfologia variada, possivelmente ligada a capacidade de "flutuação" no plâncton.

Tendo em vista sua variedade morfológica e hábito planctônico, os Graptoloidea têm grande utilidade como fósseis-guia na delimitação de zonas bioestratigráficas, principalmente no Ordoviciano e Siluriano, de todo o mundo. No Brasil, fósseis de graptozoários são raros, sendo conhecidos apenas da Formação Trombetas (Siluriano) da Bacia do Amazonas.



Figura 8.1. Rhabdossoma bisseriado de um Graptozoário planctônico extraído de sílex (Boardman *et*



al., 1987).

Figura 8.2. A, reconstituição do rhabdossoma e partes moles do graptozoário *Climacograptus*; B, *Rhabdopleura*, um Pterobranchia vivente.

Classificação parcial dos graptozoários (Boardman *et al.*, 1987). Em negrito as ordens que serão examinadas neste exercício.

Filo Hemichordata

Classe Enteropneusta

Classe Pterobranchia

Classe Graptolithina

Ordem Dendroidea (Cambriano Médio - Carbonífero)

Ordem Camaroidea (Cambriano Superior – Ordoviciano Inferior)

Ordem Crustoidea (Ordoviciano Médio – Siuriano Superior)

Ordem Stolonoidea (Cambriano Superior – Ordoviciano (?))

Ordem Tuboidea (Cambriano Superior – Siluriano)

Ordem Graptoloidea (Ordoviciano Inferior - Devoniano Inferior)

Exercícios:

Parte 1) Examine os exemplares disponíveis e identifique as feições morfológicas de cada um de acordo com quadro abaixo.






| | | | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Escandente | Unisserial (uma fileira de tecas) | eg. <i>Monograptus</i> |  |
| | Bisserial (duas fileiras de tecas) | eg. <i>Diplograptus</i> |  |
| | Quadrisserial (quatro fileiras de tecas) | eg. <i>Phyllograptus</i> |  |
| Não-escandente (i.e. pendente a reclinada) | Birramosa (duas estipes) | eg. <i>Didymograptus</i> |  |
| | Quadrirramosa (quatro estipes) | eg. <i>Tetragraptus</i> |  |

Figura 8.3. Nomenclatura dos rabdosomas de Graptolithina.

Parte 2) Observe o tipo de fossilização e a litologia das amostras na caixa. O que você pode concluir sobre as condições paleoambientais no sítio de deposição e o processo de fossilização destes fósseis? _____

Parte 3) Através da análise da concentração fossilífera da Fig. 4, que idade você atribuiria a ela?. Você acha que os organismos viviam neste ambiente. Justifique sua resposta. (Consulte os exercícios anteriores sobre os braquiópodes, trilobites e moluscos.)

Comunidade de plataforma profunda

- a. *Agnostus* (Trilobita)
- b. *Dictyonema flabelliforme* (Dendroidea)
- c. *Broeggeria* (Inarticulata)
- d. *Euloma* (Trilobita)
- e. *Asaphellus* (Trilobita)
- f. *Platypeltoides* (Trilobita)
- g. *Hyalolithes* (Calypptomatidida)
- h. belerofontídeo (Monoplacophora)
- i. *Shumardia* (Trilobita)

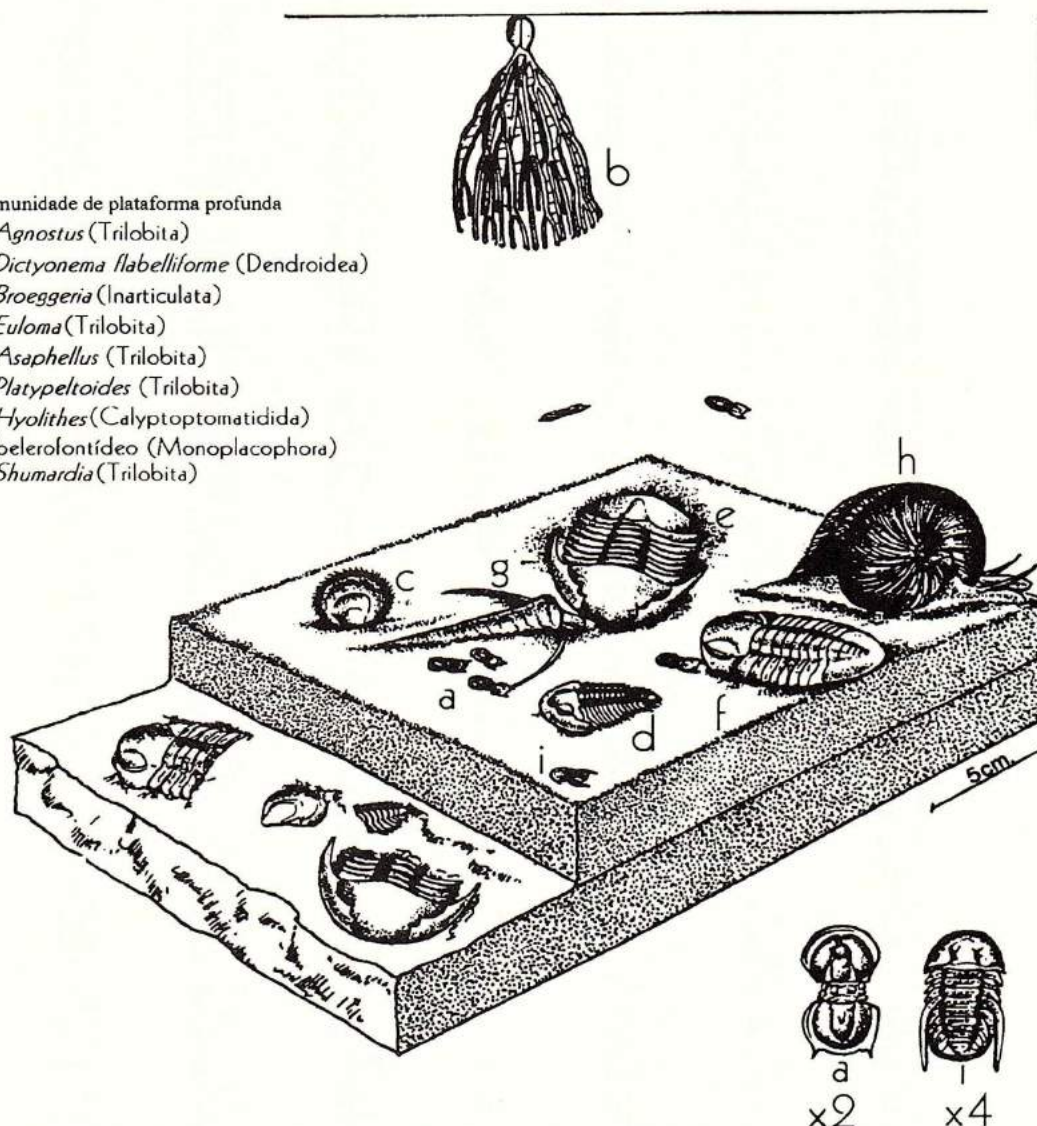
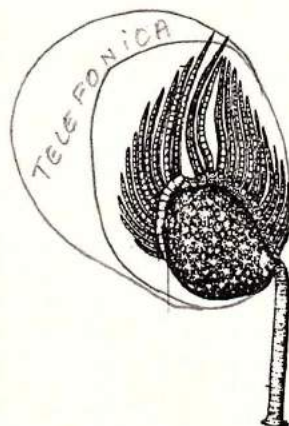


Figura 8.4. Comunidade de plataforma profunda, Inglaterra (McKerrow, 1978).

Parte 4) Descreva a assembléia em vida (diversidade, hábitos de vida etc; parte superior do diagrama); e a concentração das conchas, citando as assinaturas tafonômicas (de fundo, episódicas etc.) evidentes na parte inferior do diagrama).



9. Invertebrados de simetria pentâmera: os equinodermos

Introdução

Os equinodermos, que incluem as estrelas-do-mar, ouriços, pepinos e lírios-do-mar, constituem um grupo complexo de invertebrados, comuns nos ambientes marinhos atuais e antigos. Os equinodermos caracterizam-se, basicamente, pela presença de um endoesqueleto formado por **placas** ou **ossículos calcários**, normalmente organizado segundo uma **simetria pentâmera**, na fase adulta. Além do esqueleto, que é de origem endodérmica, sendo, portanto, interno, a presença de um sistema hidrovacular e de espinhos, na superfície do esqueleto, constituem feições características dos equinodermos. A morfologia do esqueleto na fase adulta é o elemento básico da classificação dos equinodermos fósseis, atualmente subdivididos em cinco subfilos.

Esses invertebrados ocupam, atualmente, vários nichos ecológicos bentônicos marinhos incluindo formas da **epifauna** (maioria) e **infauna**. As adaptações morfológicas demonstradas pelos equinodermos atuais permitem e servem de base para a análise da **morfologia funcional** e interpretação dos hábitos de vida de formas fósseis.

Os equinodermos constituem um filo diferenciado, cujas afinidades filogenéticas são de difícil interpretação. Similaridades larvais e embriológicas aproximam-nos dos hemicordados e cordados. As grandes diferenças dos estágios adulto, entretanto, indicam que a separação entre equinodermes e outros metazoários celomados ocorreu precocemente, possivelmente no final do Pré-Cambriano.

O filo tem uma longa história geológica, que se iniciou, provavelmente, no Pré-Cambriano (*Tribrachidium*, da Fauna de Ediacara, do Neoproterozóico, pode ser um equinodermo). Várias classes do filo surgiram já diferenciadas no Cambriano. Diversificaram-se muito durante o Paleozóico, sendo quase extintos no fim do Permiano. Muitos grupos de equinodermos estranhos, surgidos no Paleozóico, representam diferentes experiências de ocupação do ambiente marinho bentônico.

Classificação parcial e distribuição geológica dos equinodermos (modificado de Boardman et al. 1987). Nota: taxons em negrito serão examinados em sala de aula.

Filo Echinodermata

Subfilo Crinozoa

Classe Crinoidea (Cambriano médio-Recente)

Subfilo Blastozoa

Classe Blastoidea (Ordoviciano médio?, Siluriano médio-Permiano superior)

Subfilo Asterozoa

Classe Asteroidea (Ordoviciano inferior -Holoceno)

Classe Ophiuroidea (Ordoviciano inferior -Holoceno)

Subfilo Echinozoa

Classe Echinoidea (Ordoviciano superior-Holoceno)

Classe Holothuroidea (Cambriano médio?, Ordoviciano médio-Holoceno)

O cladograma (Fig. 9.1) representa uma hipótese de relacionamento filogenético dos equinodermos com outros grupos de organismos.

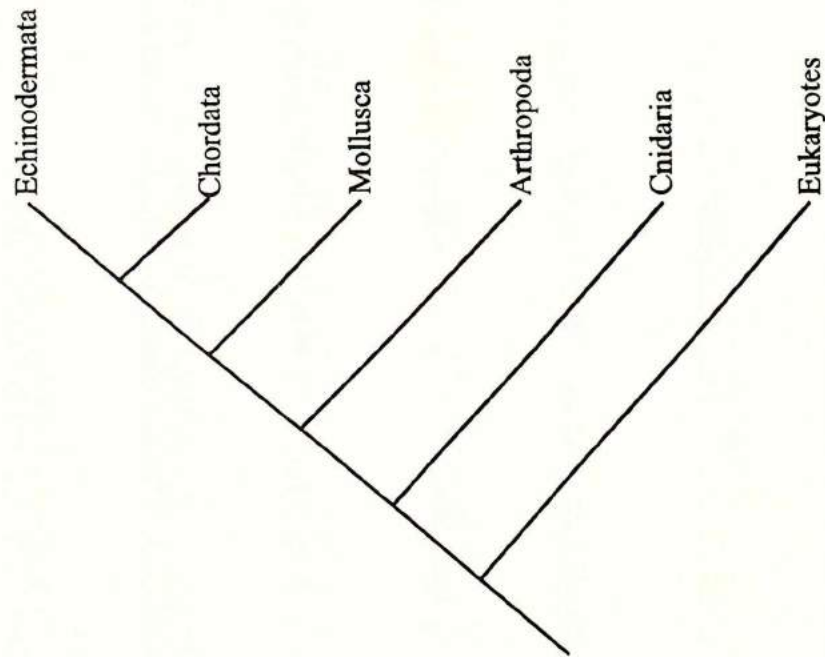


Figura 9.1. Hipótese de relação de parentesco dos equinodermos com outros grupos de invertebrados.

Exercícios:

Parte 1) Morfologia geral dos crinóides.

a) Esquematize o espécime da Classe Crinoidea (crinóide), no espaço ao lado da Fig. 9.2, identificando as principais partes esqueléticas.

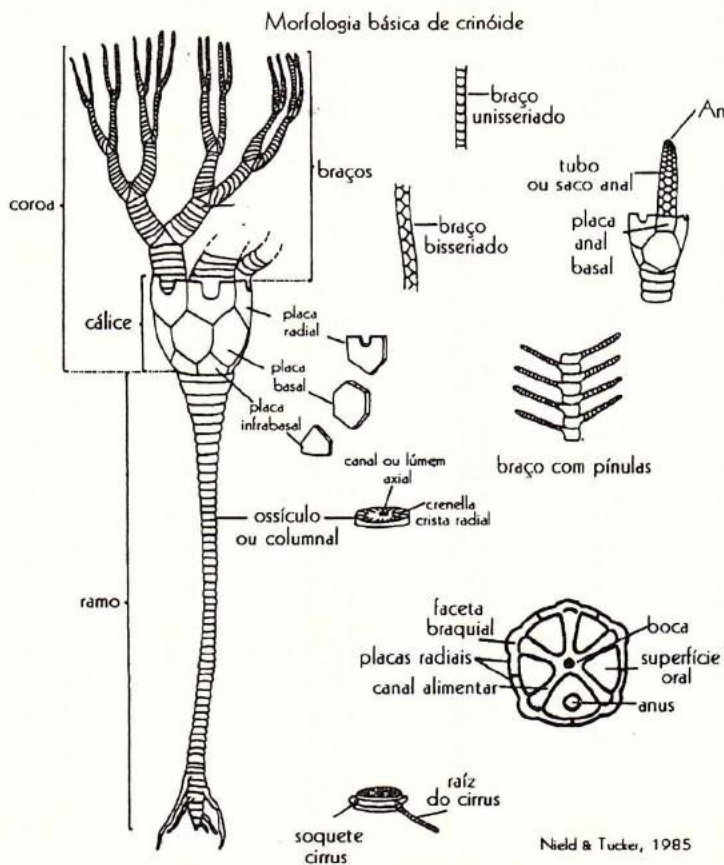


Figura 9.2. Morfologia básica de um crinóide (Nield e Tucker, 1985).

- a) Qual o hábito de vida deste espécime? _____
- b) Que(ais) elemento(s) você usou para essa interpretação? _____
- c) Teste, com muito cuidado, a composição do esqueleto do espécime, usando HCl diluído. Qual foi o resultado? Qual o tipo de fossilização do espécime? _____

Parte 2) Morfologia geral dos blastóides. Observe o exemplar do blastóide do gênero *Pentremites* (Carbonífero). Esquematize-o no espaço ao lado da Fig. 9.3, identificando os principais elementos morfológicos observáveis.

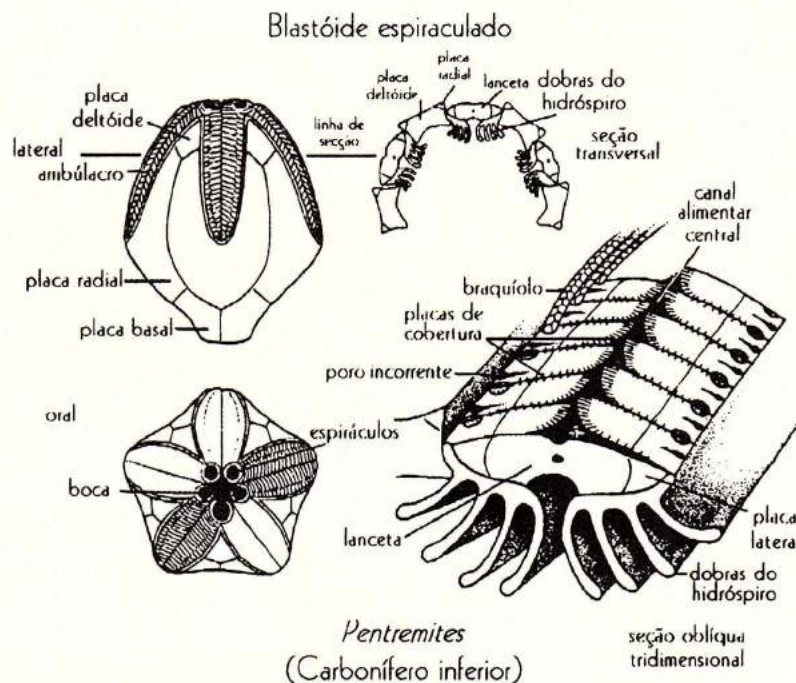


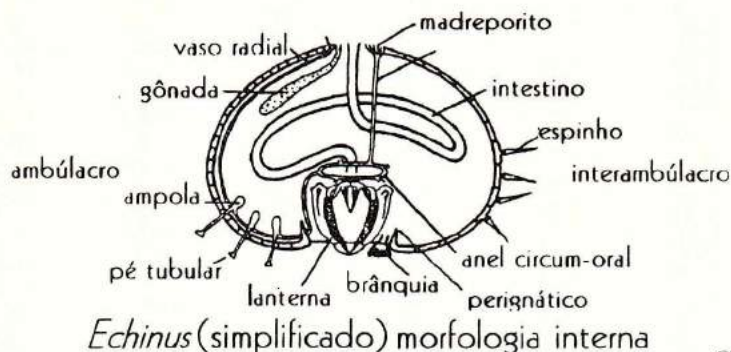
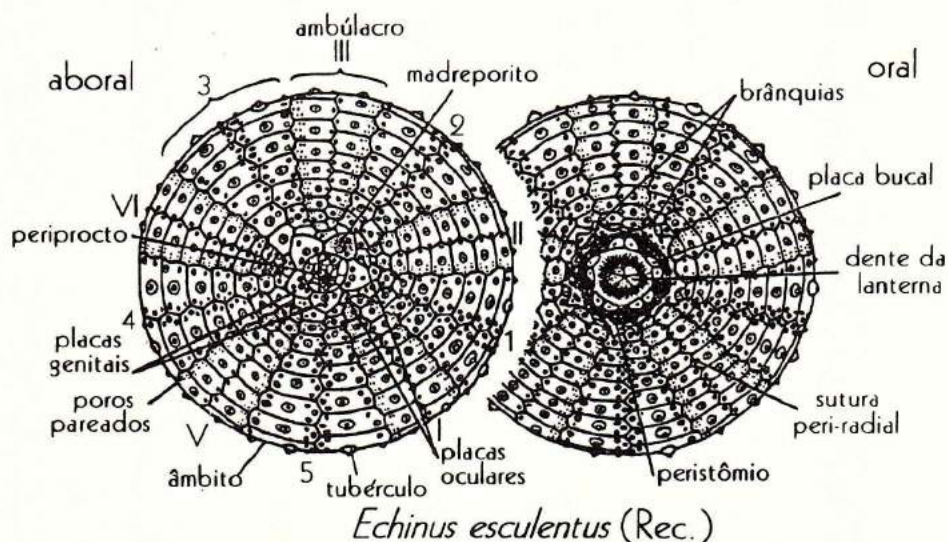
Figura 9.3. Blastóide espiraculado (Carbonífero inferior), *Pentremites* (Clarkson, 1993).

a) Que parte do esqueleto está presente? _____ Qual era o hábito de vida deste espécime? _____ Como sabe? _____

b) Teste o exemplar com HCl diluído e, com base no resultado, identifique o processo de fossilização. Qual foi o resultado? _____ Qual o tipo de fossilização? _____

Parte 3) Morfologia geral dos equinóides. Os espécimes representam formas de equinóides regulares fósseis. Compare-os com a Fig. 9.4, esquematize-os identificando os principais elementos morfológicos.

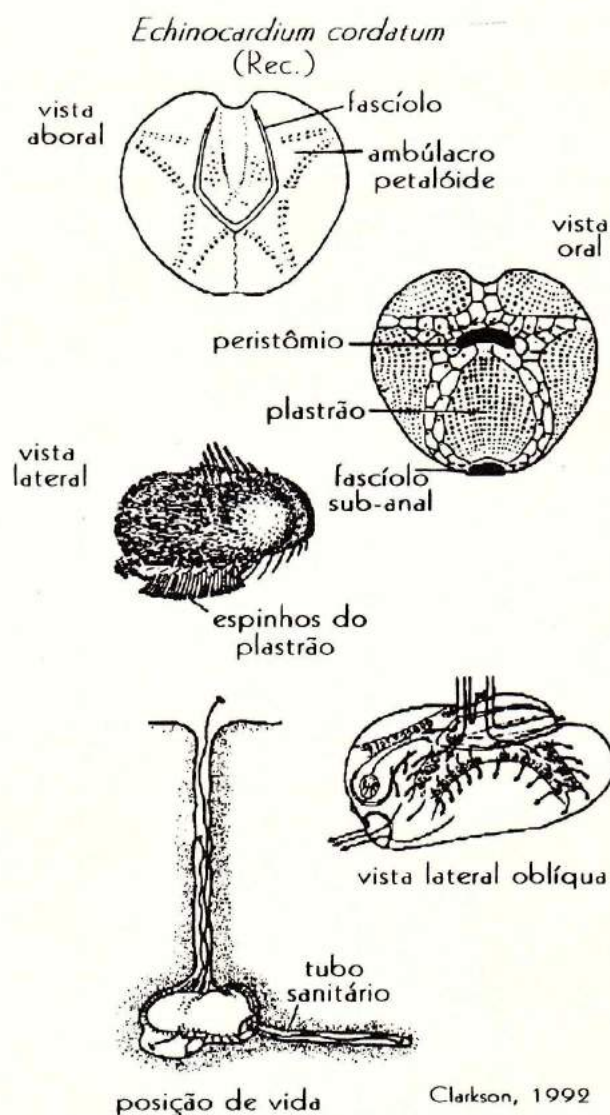
- a) Qual é o tipo de fossilização do exemplar? _____
- b) Que características fundamentais dos equinóides regulares estão visíveis nos espécimes? _____



Clarkson, 1999

Figura 9.4. Equinóide regular, *Echinus esculentus* (Recente). Observar que o ânus (periprocto) e boca (peristômio) estão no centro da testa mas em lados diretamente opostos (Clarkson, 1993).

- c) O espécime corresponde a um equinóide irregular. Esquematize-o e, com o auxílio da Fig. 5, identifique as feições morfológicas visíveis. Qual o tipo e fossilização? _____
- Que características diagnósticas de equinóide irregular são visíveis? _____



Clarkson, 1992

Figura 9.5. Equinóide irregular, *Echinocardium cordatum* (Recente) (Clarkson, 1993). Observar as diferenças na forma da testa e na posição do peristômio e periprocto em relação aos equinóides regulares.

Parte 4) Comparação dos equinóides. Caracterize os espécimes de equinóides examinados de acordo com a seguinte lista de feições (as que estiverem visíveis):

| Característica | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------------------------------|---|---|---|
| Achatamento da testa (pouco/muito) | | | |
| Alongamento da testa (pouco/muito) | | | |
| Comprimento dos espinhos (proporcional às inserções) | | | |
| Deslocamento posterior do ânus | | | |
| Deslocamento anterior do peristômio | | | |
| Ambulacros petalóides | | | |
| Presença de sulcos alimentares | | | |

Parte 5) Paleoecologia dos equinodermos

Várias das feições morfológicas dos ouriços atuais indicam suas adaptações a diferentes hábitos de vida, podendo, portanto, ser utilizadas para a interpretação do modo de vida das formas fósseis. Num intervalo de poucos milhões de anos, em torno de dez mudanças morfológicas ocorreram nas carapaças.

a) Com base nos exemplos na Fig. 9.6, identifique cinco destas mudanças.

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

b) Quais foram as vantagens proporcionadas por essas mudanças? _____

c) Com base na Fig. 6 e nas características determinadas anteriormente, procure interpretar o hábito de vida dos espécimes 1, 2 e 3. Qual a sua provável posição em relação ao substrato? _____

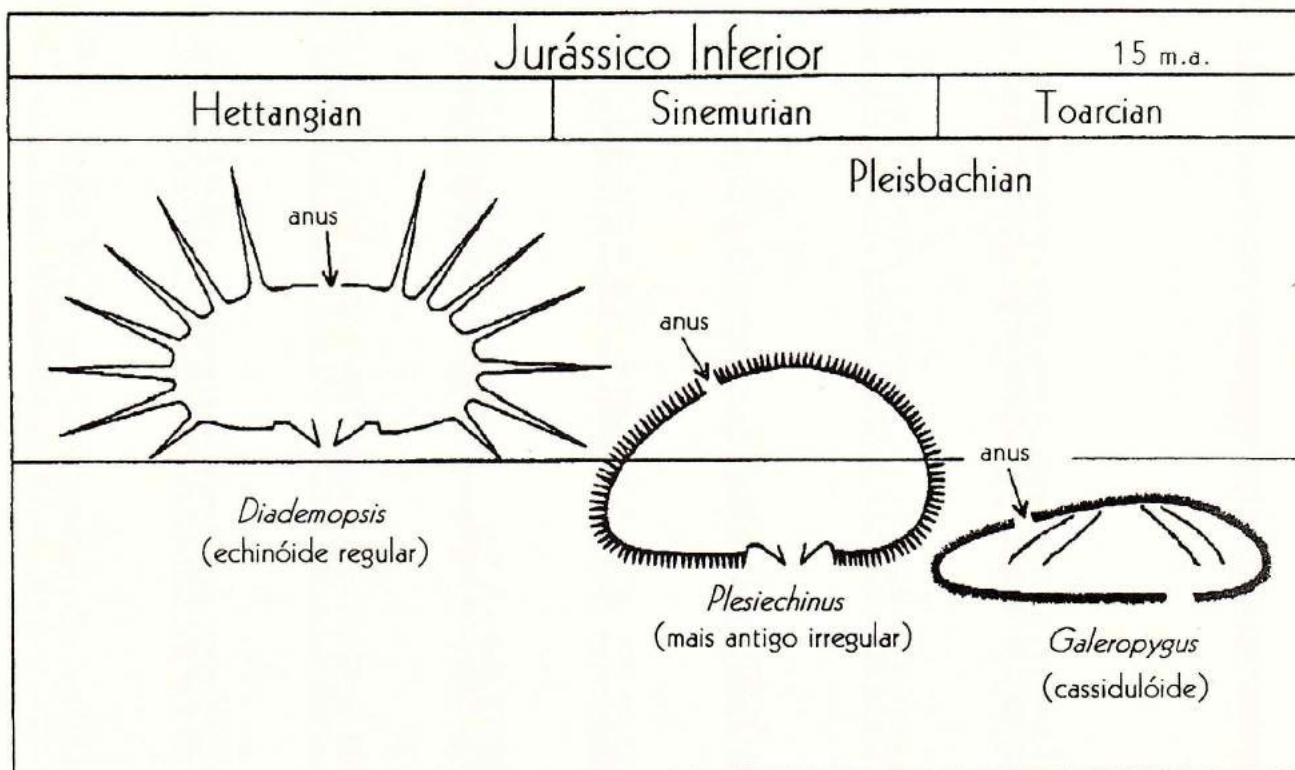


Figura 9.6. Evolução dos equinóides irregulares mostrando as mudanças que capacitaram os equinóides a viver enterrados no substrato (Boardman *et al.*, 1987).

Parte 6) Examine cuidadosamente a tabela de distribuição geológica (Fig. 9.7) dos equinodermos e responda:

a) Qual foi o período de maior diversificação dos equinodermos? _____

b) Quais foram os principais períodos de crise biológica que afetaram os equinodermos? _____

c) Que grupos foram mais afetados nessas crises? _____

- d) Qual foi o grupo de equinodermos mais importante durante o Paleozóico? _____
- e) Compare a história geológica dos equinodermos providos de coluna (os chamados "pelmatozoários", que incluem os crinóides e blastóides) com a dos "eleuterozoários", desprovidos de coluna. _____

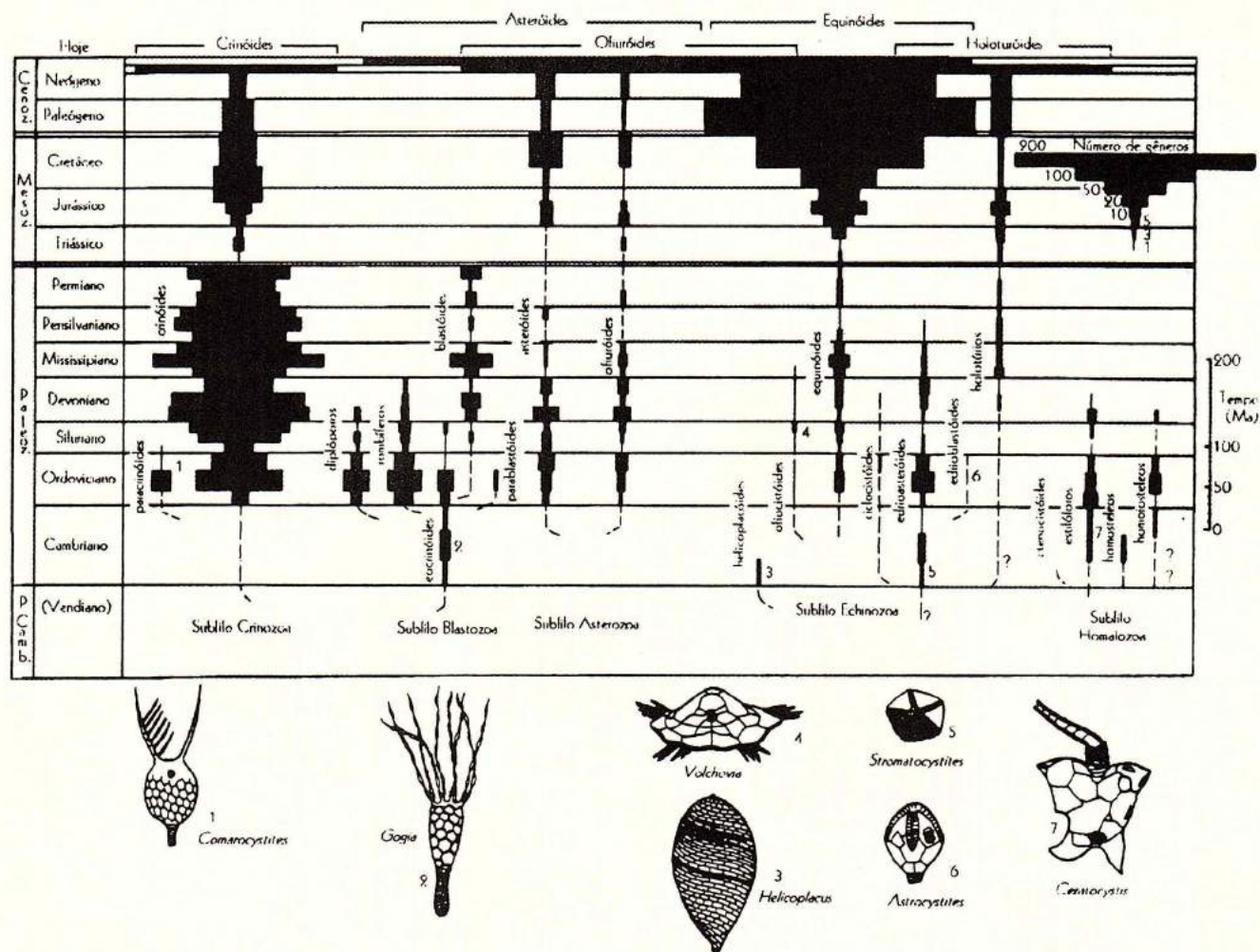


Figura 9.7. Distribuição geológica de vários grupos de equinodermos (Clarkson, 1993).

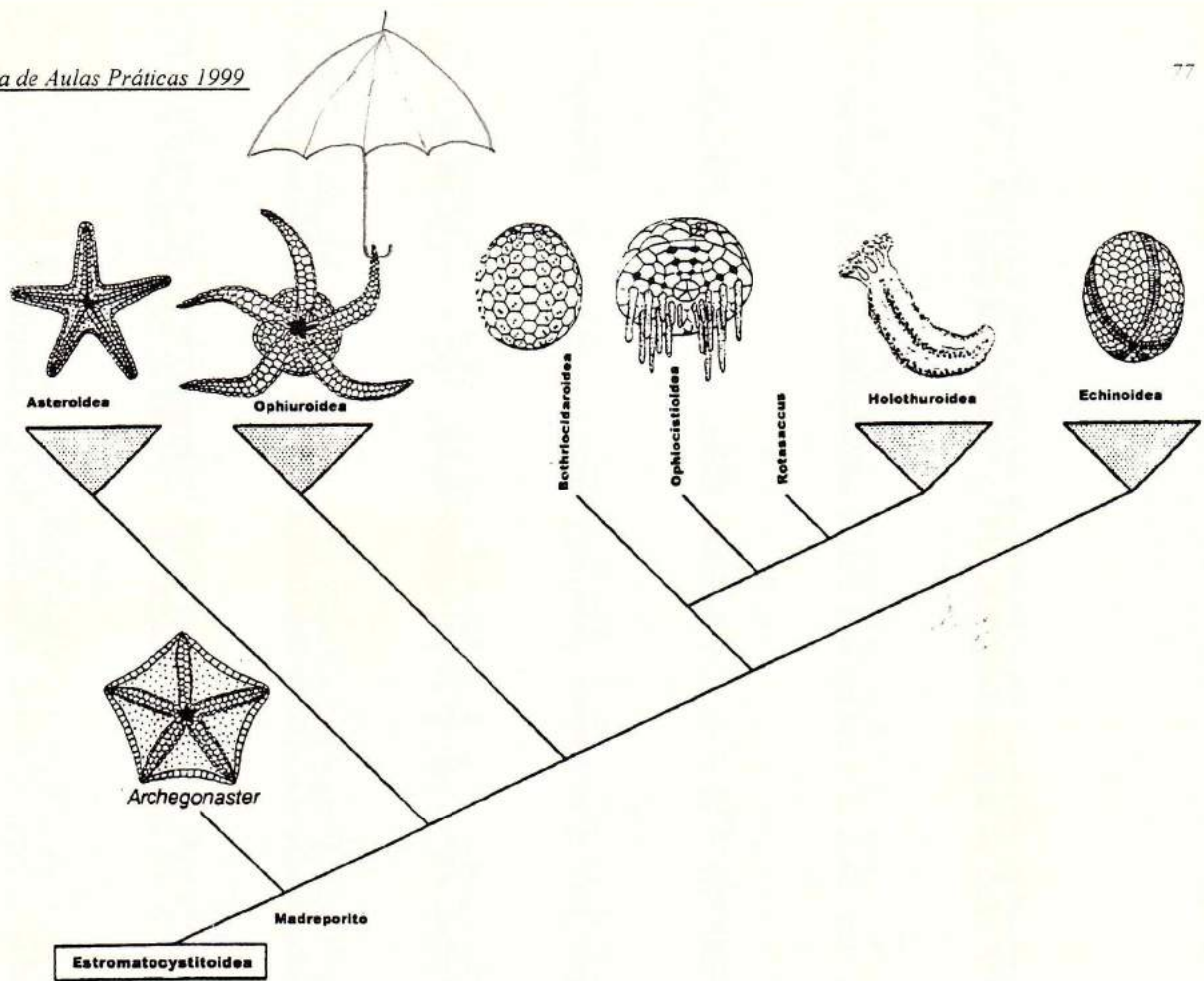
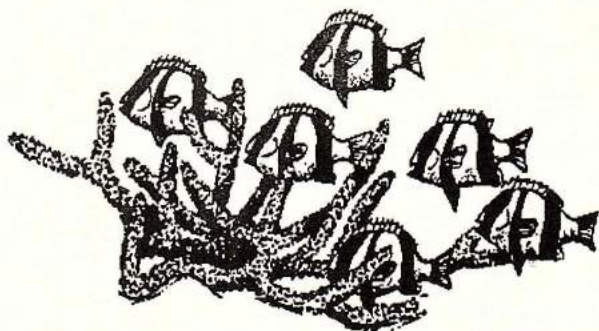


Figura 9.8. Cladograma mostrando a provável relação filogenética entre os equinodermos.



10. Ostracodermos e peixes fósseis da Bacia do Araripe

Introdução:

(10.1)

agnatos - sem mand.
mand = mand
nadadeiras pareadas

Os vertebrados constituem o subfilo mais importante do filo Chordata (cordados). Dentre os Cordados, o mais antigo representante no registro paleontológico é *Pikaia*, da famosa fauna marinha mesocambriana de Burgess (Canadá). Contudo, suas afinidades são muito mais próximas ao gênero moderno *Amphioxus*, do subfilo Cephalochordata, do que aos cordados propriamente ditos. Portanto, os mais antigos fósseis reconhecidos como de cordados são minúsculas escamas, do Cambriano superior, que evidenciam os primeiros peixes primitivos.

Fósseis de peixes começam a se tornar mais abundantes a partir do Ordoviciano, inicialmente formas sem mandíbulas, os agnatos (superclasse Agnatha, Fig^{10.2}), e especialmente a partir do Siluriano, com o surgimento dos peixes com mandíbulas. O período Devoniano costuma ser chamado de "Idade dos Peixes", não pela quantidade de fósseis de peixes, nem pela origem dos grupos principais (que já tinham surgido no período anterior), mas sim, pela rápida diversificação dos peixes com mandíbulas e a coexistência destes com os agnatos.

Reconhecemos, portanto, dois grandes grupos de peixes, os sem mandíbulas, mais primitivos - os agnatos - e os com mandíbulas que, juntamente com os tetrápodes, fazem parte da Superclasse Gnathostomata. Embora os poucos sobreviventes modernos dos agnatos (p.ex., a lampréia) tenham esqueletos cartilaginosos, a vasta maioria de agnatos fósseis eram peixes caracterizados por um exoesqueleto de placas ósseas, daí a origem do nome informal dado a eles de "ostracodermos" ("pele de concha").

Os peixes mais modernos, os com mandíbulas, também diferem dos agnatos por possuírem nadadeiras pareadas. Essas duas inovações evolutivas, mandíbulas e nadadeiras, resultaram no imenso sucesso de que os peixes gozam até hoje. Os peixes podem ser subdivididos naqueles de esqueleto cartilaginoso e naqueles de esqueleto ósseo. O primeiro inclui os tubarões e raias modernos (Classe Chondrichthyes) mais a única classe de peixes que se extinguiu, os placodermes (Classe Placodermi). Estes foram os mais primitivos dos peixes com mandíbula, parecidos com os tubarões, mas com placas ósseas protegendo a cabeça. O outro grupo compreende a classe dos peixes ósseos modernos, os osteíctes, dentro do qual se distinguem duas linhagens fundamentais: 1) a dos peixes de nadadeiras com estrutura óssea em "raios", incluindo entre outros, o grupo dos paleoniscídeos, sucedido no Paleozóico e caracterizados por escamas rômbricas grossas, e o grupo dos teleósteos, com escamas finas, surgido no Jurássico e dominante no Cenozóico; e 2) a linhagem dos peixes de nadadeiras com estrutura óssea bem desenvolvida (os sarcopterígeos), que incluem os ancestrais dos anfíbios e do resto dos tetrápodes.

No presente exercício, você terá a oportunidade de examinar peixes fósseis de um lugar clássico da Paleontologia mundial, a Chapada do Araripe, no Nordeste brasileiro. Estes peixes do Cretáceo Inferior, com aproximadamente 110 milhões de anos de idade (Fig^{10.3}), são testemunhos da época quando os teleósteos começaram a tomar conta dos ambientes aquáticos da Terra. Você poderá encontrar junto com eles, no entanto, peixes fósseis de escamas grossas, representantes da linhagem mais primitiva dos peixes ósseos. Também já se conhece dessa região celacantídeos, do grupo dos sarcopterígeos, relacionados aos ancestrais dos tetrápodes.

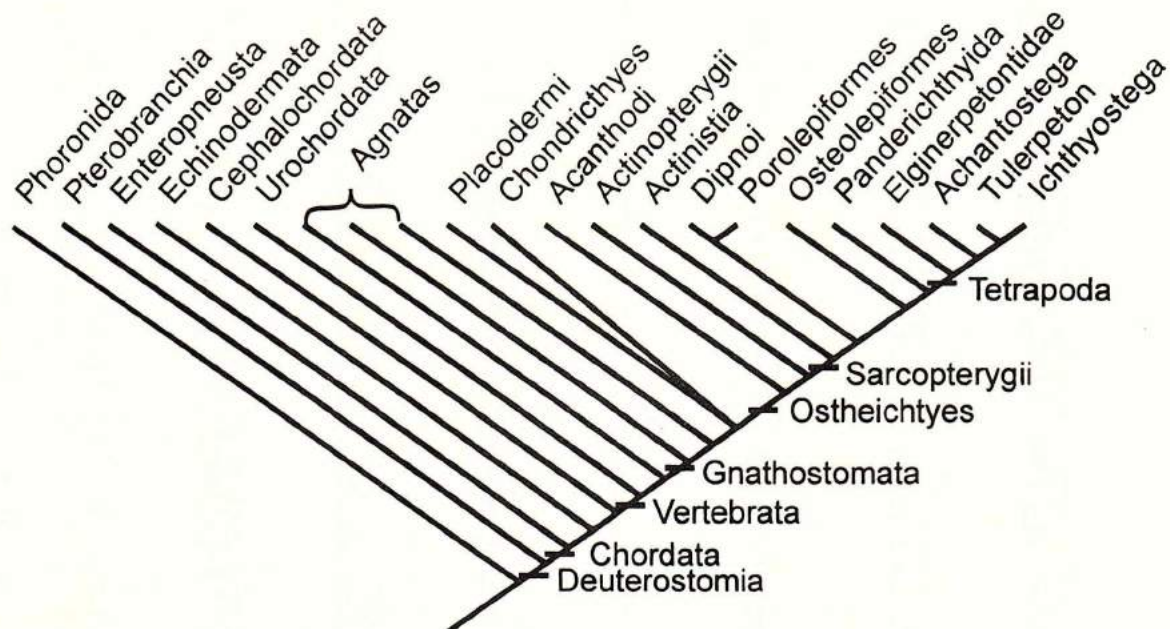


Figura 10.1. Cladograma mostrando as relações filogenéticas dos cordados.

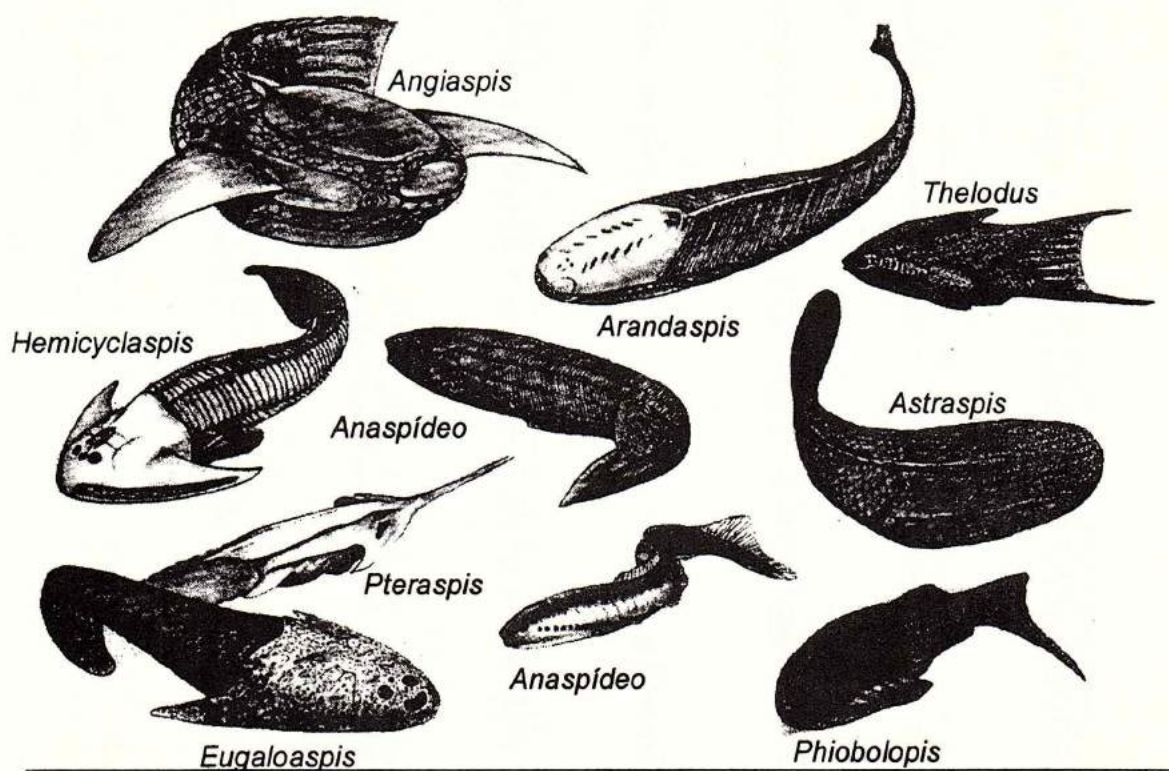


Figura. 10.2. Os ostracodermos desenvolveram uma grande variedade de formas e tamanhos durante os seus 100 milhões de anos na Terra. As aproximadamente 600 espécies de ostracodermos podem ser classificadas em nove ou dez grupos maiores, aqui representados.



Figura 10. 3. Correlação aproximada da Formação Santana (Maisey, 1991).

Os fósseis ocorrem em folhelhos, camadas finas de carbonatos e concreções carbonáticas expostas na Chapada do Araripe, um planalto do Nordeste do Brasil, nos estados do Ceará (onde estão os sítios paleontológicos mais ricos), Pernambuco e Piauí (Fig. 10.4).

A fauna associada é extremamente diversificada e além de inúmeras espécies de peixes ocorrem répteis (crocodilos, tartarugas, dinossauros e pterossauros). Dentre os invertebrados, são encontrados pelecípodes, gastrópodes, equinodermos e inúmeras ordens de insetos (Diptera, Himenoptera, Coleoptera etc.). Uma pena, representando a única evidência de ave no Mesozóico brasileiro, é proveniente dessas rochas. Dentre os vegetais, são encontrados fragmentos de angiospermas e coníferas.

Exercícios: Ostracodermos

Parte 1)

a. Observe os modelos dos peixes primitivos e liste as principais diferenças entre eles.

padrão e distribuição de escamas, nadadeiras, formato da cabeça, formato do corpo

b. Que diferenças de hábitos de vida e/ou alimentares estas diferenças morfológicas sugerem?

tamanho da cabeça, forma da boca, posição da boca, hábitos alimentares (cabeça e boca maiores → carnívoros)

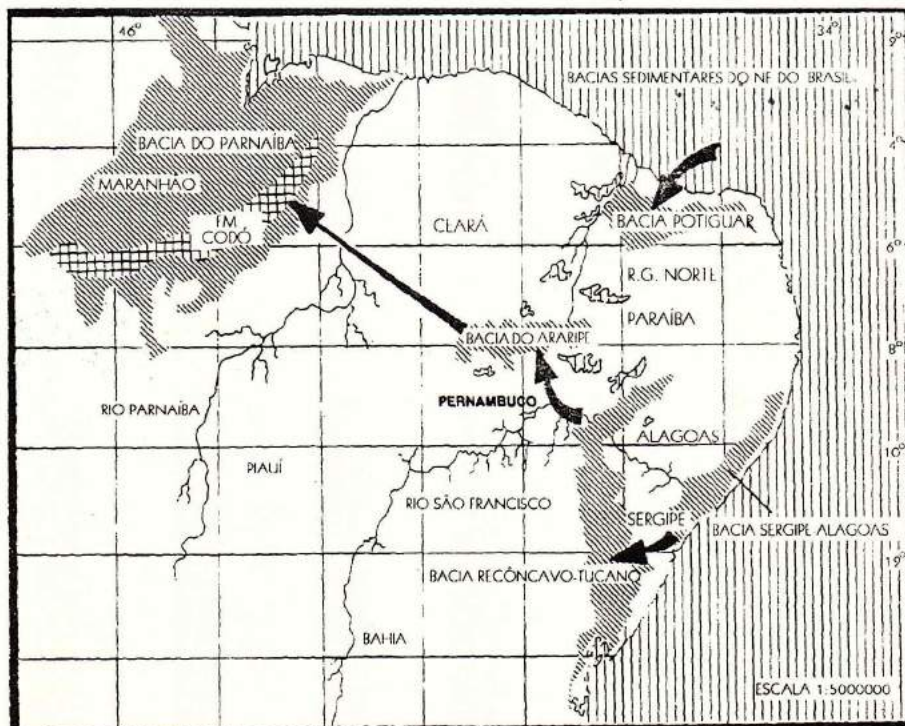
Parte 2) Peixes fósseis da bacia do Araripe

Dentre as três assembléias (conjuntos de fósseis) distinguidas nesta formação (Santana, Jardim e Missão Velha), a mais diversificada é a primeira, interpretada como de águas rasas, claras e oxigenadas (Fig. 10.5). As concreções fossilíferas disponíveis incluem exemplares de peixes dos gêneros: *Ararapeleidotes*, *Vinctifer*, *Rhacolepis*, "*Lepidolepis*" e *Tharrhitis*.

Cx1 a) Examine um exemplar de pelo menos dois destes gêneros e indique, com cores, nos desenhos
Cx2 apropriados, as feições morfológicas evidentes. Sublinhe na diagnose, as feições ressaltadas em negrito
Cx3 que você consegue identificar no exemplar examinado. (Não se esqueça de indicar o número da
Cx4 amostra.)

Note que as diagnoses apresentadas foram baseadas em espécies-tipo, hoje depositadas em diferentes instituições pelo mundo. Os exemplares examinados podem ou não apresentar todas as feições descritas. Assim, identifique o que for possível.

Outra dificuldade que surgirá é o desconhecimento da nomenclatura (ver lista mais adiante). Tente concentrar-se nas feições fundamentais, tais como, escamas, ossos da cabeça, características e posição relativa das nadadeiras. Outras feições que identificar podem ser discutidas com os professores e monitores.



Comunicações possíveis (setas) no Cretáceo Inferior entre as bacias do Parnaíba, Santana, Recôncavo e Sergipe-Alagoas

Figura 10. 4. Possíveis comunicações (setas) entre as bacias do Parnaíba, Santana, Recôncavo e Sergipe-Alagoas (Maisey, 1991).

b) Tente inferir as condições paleoambientais e os processos tafonômicos que levaram à preservação de um dos espécimes. Como você imagina que um peixe destes poderá ser preservado inteiro e quase tridimensionalmente?

ambiente de sedimentação calmo, azúlis, baixa energia de ambiente, pequena carga de sedimentação e conservação

Parte 3) Cadeia alimentar: Examine atentamente a Fig. 10.5 e tente estabelecer, ainda que grosseiramente, por meio de setas, a possível teia alimentar dos vertebrados da assembléia Santana.

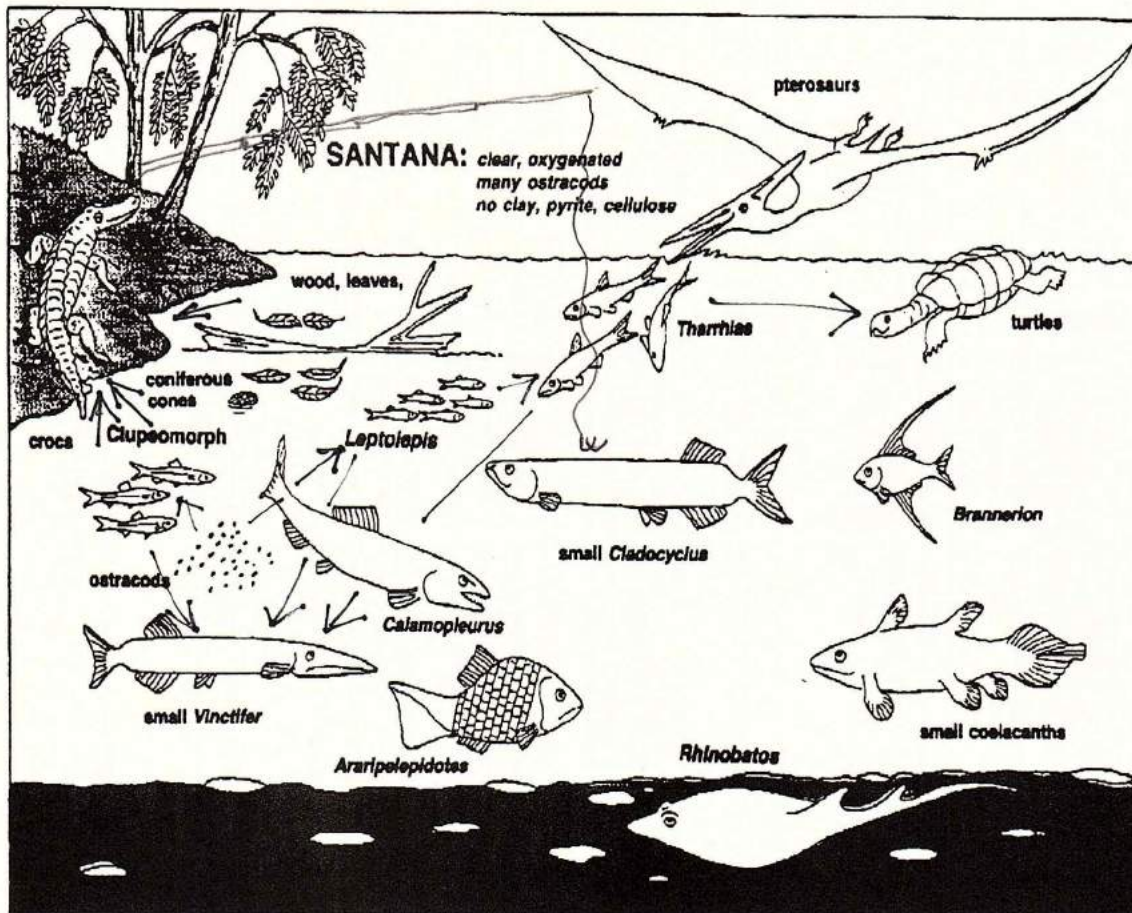
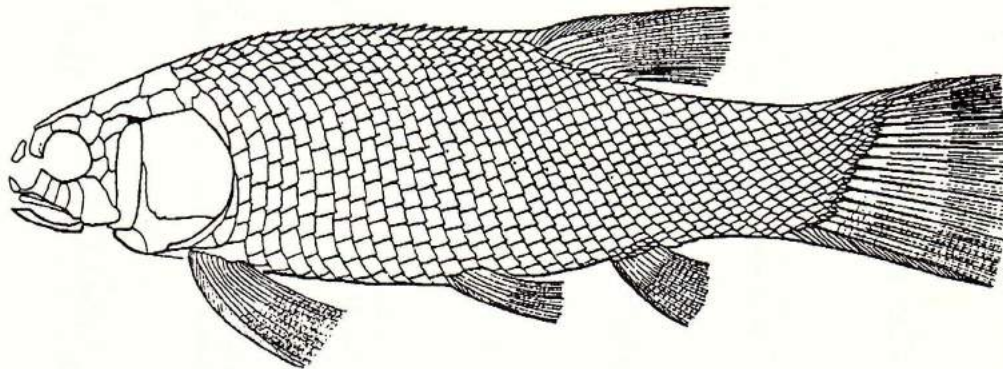
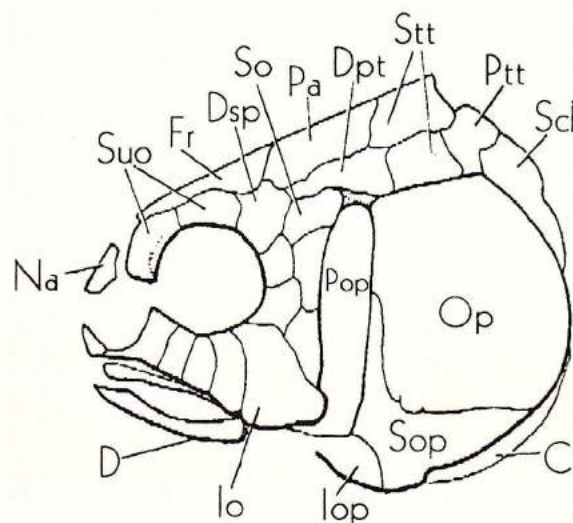


Figura 10. 5. Reconstituição da assembléia Santana (Maisey, 1991).

Classe Osteichthyes
 Subclasse Actinopterygii
 Infraclasse Neopterygii
Araripelepidotes Silva Santos, 1985



A



B

Figura 10.6. *Araripelepidotes* sp., feições morfológicas. Reconstituição, exceto partes do focinho e mandíbulas (A); reconstituição do crânio em vista lateral (B) (Maisey, 1991).

Diagnose do gênero: Peixe semionotídeo com infraorbitais mais anteriores subdivididos, **quinto infraorbital grande, estendido até o pré-opérculo**; Três ossos suborbitais entre o dermopterótico e o quinto infraorbital; dermopterótico separado do frontal pelo dermoesfenótico; **pré-opérculo quase vertical**; junta mandibular localizada atrás do nível da órbita; **mandíbula inferior alongada**, processo coronóide ausente; dentário, maxila e pterigóides, aparentemente edentelosos; escamas dorsais conspícuas e acuminadas- escamas franjadas da fulcra bem desenvolvidas em todas as nadadeiras.

Espécie-tipo: *Lepidotes temnurus* Agassiz, 1841

Diagnose da espécie: *Araripelepidotes* medindo de 17-45 cm; 50-52 fileiras de escamas (medidas ao longo das séries de linhas laterais); 21 fileiras de escamas até a inserção das nadadeiras dorsal e anal; 8 fileiras até inserção da pélvis; parte mais alta do corpo com 18-20 escamas por fileira; margens das nadadeiras com séries franjadas completas, dorsal com 15-16, anal com 11-12, peitoral com 10-13, ventral com 12-13, margem ventral da caudal com 15-16, margem ventral com 18-20; sete infraorbitais e 3 suborbitais; interopérculo curto e triangular, contato com o pré-opérculo mais curto que com o subopérculo; dois pares de supratemporais; **margem inferior do opérculo ornamentada.**

Procedência: Assembléia Santana.

Subdivisão Teleostei

Família Aspidorhynchidae Nicholson e Lydekker, 1889

Vinctifer Jordan, 1919

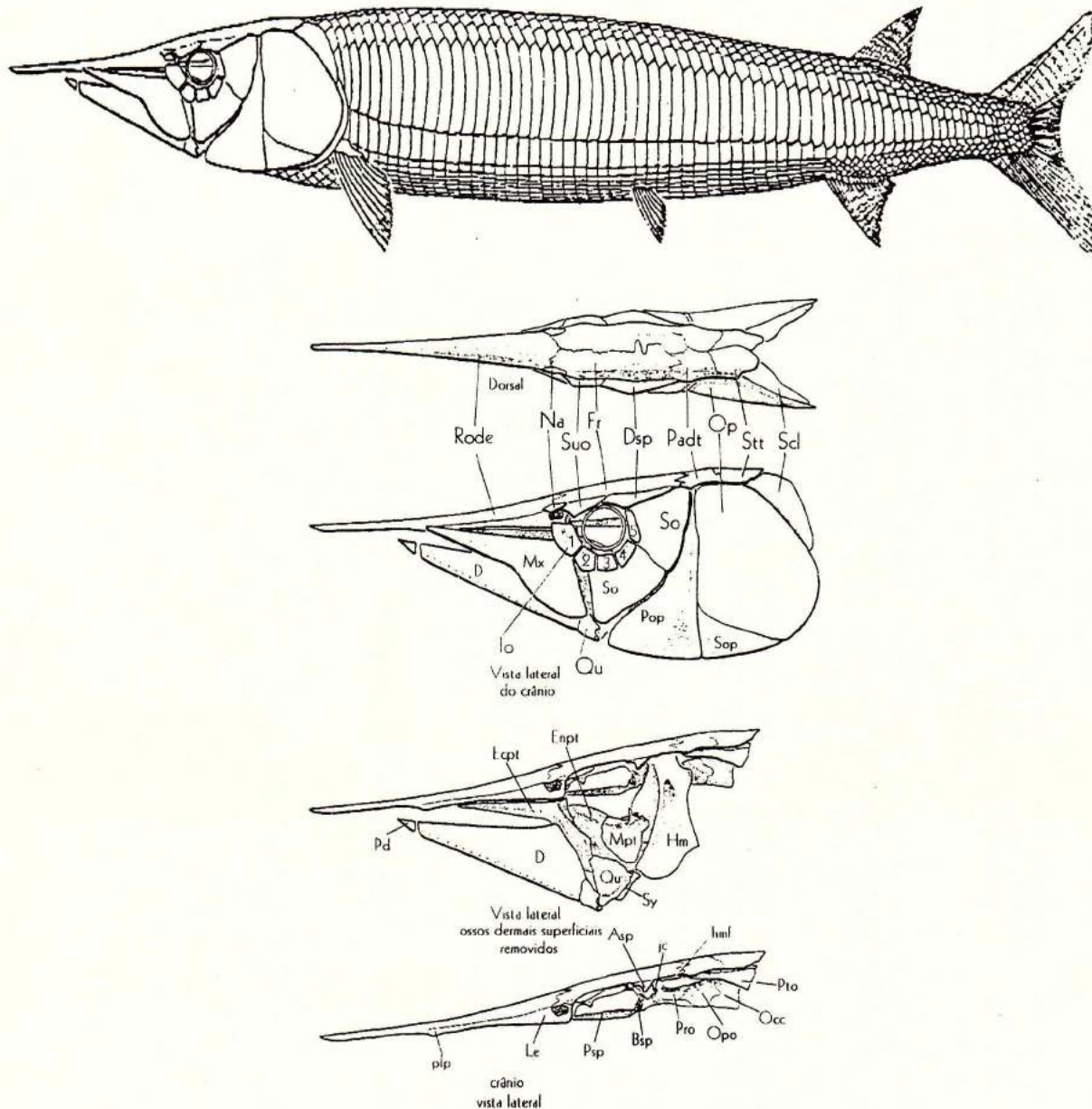


Figura 10.7. Reconstituição do esqueleto de *Vinctifer comptoni* (Maisey, 1991),

Diagnose da espécie: Aspidorrinquídeo alcançando comprimento de 60 cm ou mais; predentário curto, parte anterior do focinho edentelosa, e dermoesfenótico não alcançando o pré-opérculo; diferindo de *Aspidorhynchus* por possuir escamas com ganoína e escamas de linha lateral profundas, como em *Belonostomus*; diferindo de todos os outros aspidorrinquídeos pela falta da supramaxila e por ter uma maxila em forma de clava com uma margem póstero-dorsal inclinada, mandíbula inferior triangular profunda; assemelha-se a *Belonostomus helgolandicus* na dentição constituída por numerosos dentes muito finos e na extensão posterior do dermopterótico-parietal; aprox. 67-70 fileiras de escamas, com escamas do flanco regular; 25 fileiras de escamas até V; 41 até A; 48 até D; P8-9; V7-8; D14; A16; C30-33.

Procedência: Assembléias Santana e Missão Velha.

Corte Elopomorpha

Incertae sedis

Família Pachyrrhizodontidae

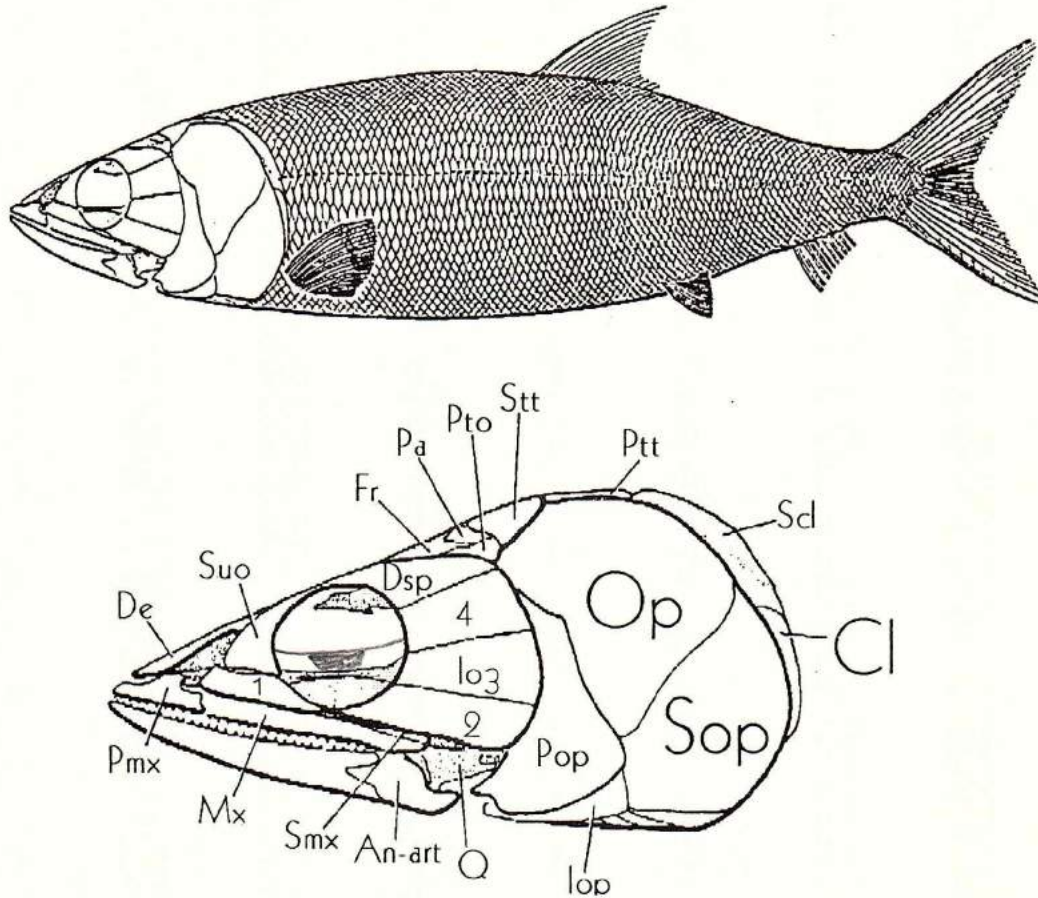
Rhacolepis Agassiz, 1841

Figura 10.8. Reconstrução do esqueleto de *Rhacolepis buccalis* (Maisey, 1991).

Diagnose do gênero: Peixe paquirrizodontídeo no qual o teto do crânio não apresenta uma nitida depressão no nível do autoesfenótico, dermoetemóide com projeções fossa, "dilatator" sem um teto completo, pterófico reduzido a um espinho curto; exoocipitais encontrando-se acima do forame magno. elementos endocondrais da região ótica unidos por suturas interdigitadas, fenestras ausentes entre o autoesfenótico e o pterótico, face lateral do proótico com uma crista bem desenvolvida se estendendo desde a abertura posterior do canal jugular ao forame arterial orbital; vômer com dois dentes recurvados; ectopterigóide com um processo dorsal curto e **fileira única de dentes pontiagudos**; ceratoial anterior fenestrado; infraorbitais posteriores sobrepondo o **pré-opérculo**; pré-opérculo com um membro vertical truncado, produzindo um processo em forma de espinho ântero-ventralmente; **opérculo com uma margem ventral oblíqua, interopérculo longo e profundo**; margem posterior do cleitero escavando a margem oposta da nadadeira; espaço no corpo para acomodar a nadadeira peitoral; **escamas pequenas, ovóides**, marcadas por *circuli* nos campos ventral e dorsal, campo posterior com cristas finas radiadas, foco central; **escamas se estendendo sobre a base das nadadeiras caudal dorsal e anal**, cloaca circundada por aproximadamente 16 escamas modificadas, 9-10 escamas maiores ao longo da linha média dorsal do pedúnculo caudal.

Família Pachyrhizodontidae

Espécie-tipo: *Rhacolepis buccalis* Agassiz.

Diagnose da espécie: *Rhacolepis* alcançando 250 mm de comprimento total; cabeça igual a 22 por cento do tamanho padrão, profundidade máxima do tronco igual a 25-26 por cento do comprimento padrão; raios das nadadeiras contam: P17-19; V11-13; D17; A10; aproximadamente 57-59 vértebras pleurais, das quais 20 são caudais; nadadeiras pares curtas, nadadeira pélvica originando-se atrás do nível da nadadeira dorsal, nadadeira anal mais próxima da caudal que da pélvica, imediatamente atrás do anel de escamas modificadas da cloaca; infraorbitais duas vezes mais largo que profundo; diâmetro da órbita igual a 20 por cento do comprimento da cabeça; prémaxila igual a 21 por cento do comprimento da mandíbula superior, com, aproximadamente, 10 dentes marginais; maxila com aproximadamente 35 dentes; dentário com aproximadamente 35 dentes; canal sensorial pré-opercular com 9-10 ramos ventrais; aproximadamente 90 escamas da linha lateral, aproximadamente 33 escamas em séries transversas da nadadeira anterior à dorsal; escamas mais profundas que longas, profundamente sobrepostas.

Procedência: Assembléias Jardim e Missão Velha.

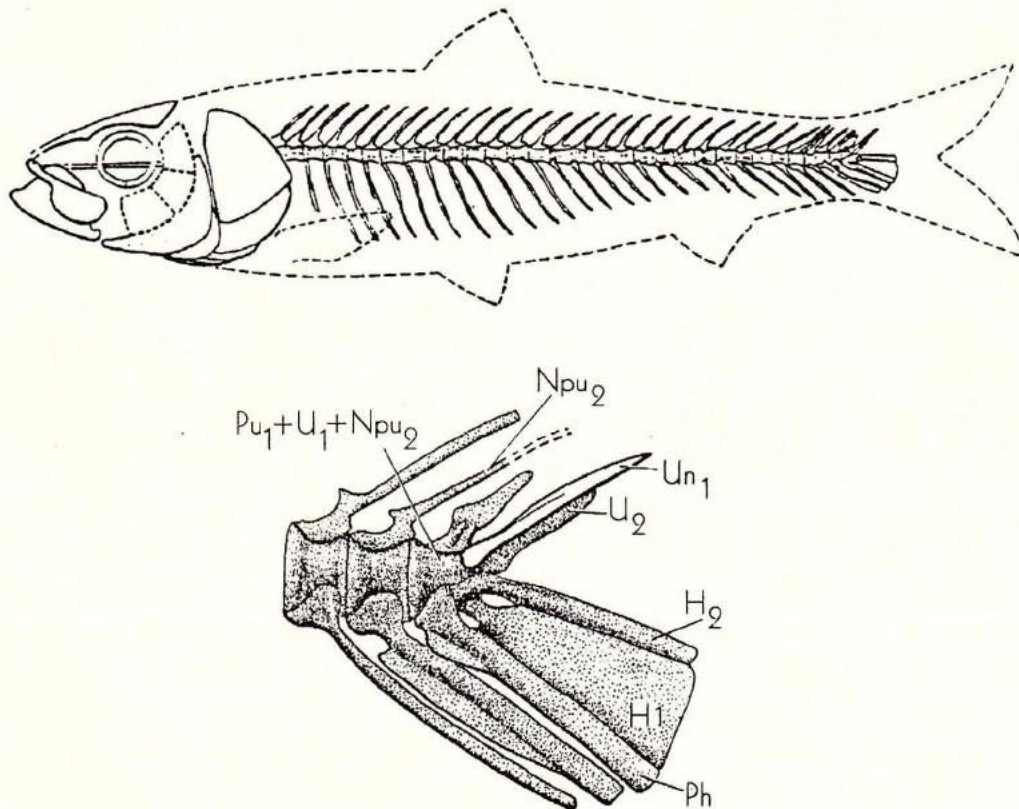


Figura 10. 9. Reconstituição do esqueleto de *Lepidolepis diasii* (Maisey, 1991).

Diagnose: Peixe pequeno, tamanho padrão de aproximadamente 45 mm; comprimento do corpo 3,3 vezes o da cabeça; altura da cabeça 0,6 mm, boca não muito inclinada; articulação mandibular sob o extremo anterior da órbita; dentário aparentemente edenteloso, com processo coronóide alto e largo; diâmetro orbital menor que a distância pré-orbital, tendo 4,5 vezes o comprimento da cabeça; anel esclerótico ossificado; opérculo trapezoidal, com algumas estrias na borda inferior; pré-opérculo grande, swúcu~; canal pré-opercular emitindo borda pósteroinferior estriada; altura máxima do corpo 0,2 do comprimento total; origem da nadadeira dorsal logo atrás da pélvis; nadadeira anal localizada posteriormente, próxima à base da nadadeira caudal; nadadeira caudal homocerca com quatro ou cinco vértebras; dez vértebras caudais; escamas ciclóides relativamente grandes; P14; V9; D10-II; A7.

Procedência: Aparentemente restritos à Assembléia Santana.

Família Pachyrrhizodontidae

***Tharrhias* Jordan e Branner, 1908**

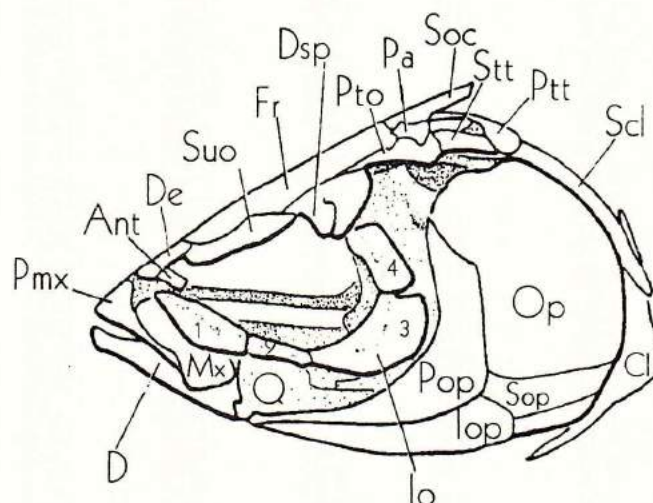
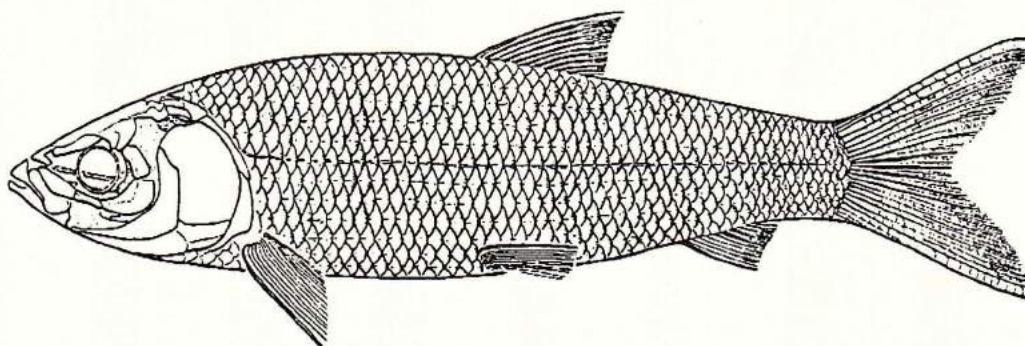


Figura 10.10. Reconstrução do esqueleto de *Tharrhias araripis* (Maisey, 1991).

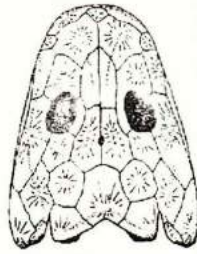
Diagnose: Peixe gononinchiforme **medindo até 700 mm (comumente menor que 300 mm)**; primeiras duas costelas pleurais aumentadas; uma boca terminal; **dentes na mandíbula**, palato e aparato hidrobranquial ausentes, dermoetemóide sem comissura rostral; **mandíbulas curtas**, margem anterior da órbita não estendida posteriormente; faceta articular da mandíbula voltada posteriormente, formada inteiramente pelo articuloangular ossificado; retroarticular separado; côndilo do quadrado projetado anteriormente; supramaxila ausente; processo quadratojugal do quadrado produzido posteriormente, com o comprimento basal duas vezes mais alto que a margem anterior; porção **deinial** do palatino ausente; paraesfenóide mais largo sob a região eúnóide que sob o basioccipital, dividido anteriormente e posteriormente, com o processo lateral basipterigóide (como espinho achatado) logo atrás da órbita; etimóide lateral com suporte posterior descendente lateralmente ao paraesfenóide; supra pré-opercular, separado, presente como um fino tubo (uma lâmina posterior fina mal preservada); **opercular mais alto que longo**; orbitoesfenóide e basiesfenóide ausentes; extraescapular lateral (= supratemporal) presente; extraescapular mediano perdido ou fundido ao parietal; comissura supratemporal no parietal, sem ramo anterior conectando ao canal supraorbital; parietais não tão estreitos ântero-posteriormente como em *Chanos*; vértebras de 47-52; primeiros quatro arcos neurais expandidos anteriormente, arcos neurais autógenos antes da origem da nadadeira dorsal, os restantes fundidos aos centrais; esqueleto caudal com duas centrais urais, duas epurais, três uroneurais, seis hiporais (todas autógenas).

Linha lateral de escamas de 48-50, escamas a partir da origem dorsal à linha lateral 6, **escamas a partir da origem da nadadeira pélvica à linha lateral 6; nadadeira dorsal com 13 raios**, os primeiros três não ramificados e em excesso, **anel 12 (os primeiros três como na dorsal), peitoral 13-15, ventral 10, caudal 19 (9 inferiores, 10 superiores).**

Espécie tipo: *Tharrhias araripis* Jordan e Branner, 1908

Abreviações usadas no texto e nas ilustrações:

| | | |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| A: nadadeira anal | H: Hiporal (numerado sequencialmente) | Ppm: post-parietal mediano |
| adf: fontanela anterior dorsal | Hfi: hypohiral | prc: canal pré-orbital |
| Ames: mesetímóide anterior | Hm: hiomandíbula | preon: "prossessus conectens" |
| An: angular | hmf: faceta hiomandibular | prf: fontanela pré-cerebral |
| An-art: angular-articular | hm VH: forame do nervo hiomandibular | Pro: pró-ótico |
| antpr: processo antático | Hsp: espinho etnal | prob: ponte pró-ótica |
| Ao: anormal | Ic: intercalar | Psp: paraesfenóide |
| Aoc: cartilagem anormal | Ih: interhial | Pt: pterigóide |
| apal: faceta articular para o palatino | In: int | ptf: fossa pós-temporal |
| Art: articular | Io: infraorbital | ptfc: abertura posterior das jugulares pares |
| Asp: autoesfenótico | Iop: interopercular | Pto: pterótico |
| Au: autopalatino | jc: canal jugular | Ptsp: pteroesfenóide |
| Boc: basioccipital | jg: sulco jugular | Ptt: pós-temporal |
| bpt: processo basiopterigóide | Lac: lacrimal | Flu: centro pteurai |
| Bsp: basiesfenóide | lcom: comissura lateral | Q: quadrato |
| C: nadadeira caudal | Le: etimóide lateral | Qj: quadrato jugal |
| Cha: ceratoial anterior | Lj: lacrimojugal | R: rostral |
| Chp: ceratoial posterior | Lr: rostro lateral | Rart: retroarticular |
| Cl: cleitro | Mes: mesoetimóide | Ro: ossículos do rostro |
| Cla: clavícula | Mpt: metapterigóide | Rode: rostrodermotinóide |
| Cor: coracóide | Msp: mesogóide | Sca: escapular |
| D: nadadeira dorsal | Mx: mwdla | Scl: supracleitro |
| D: dentário - | Na: nasal | Smx: supramaxila |
| De-: dermoetimóide | Npu: arco neural pleural | Stnxa: supramaxila anterior |
| df: - fossa dilatado | Nsp: espinho neural | Smxp: supramaxila posterior |
| Dpt: dermopteróico | oc: côndilo occipital | So: suborbital |
| Dpt dl: lâmina descendente dermopterótica | occ: centro occipital | Sop: subopercular |
| Dpto: dermopterótico | Op: opercular | Spic: canal espiracular |
| Dsoc: dermosupraoccipital | Opo: opistótico | Spl: esplenial |
| Dsp: dermoesfenótico | Orsp: orbitoesfenóide | Spop: supraopercular |
| Ecl: extracleitro | P: nadadeira peitoral | Sq: esquamosal |
| Ecpt: ectopterigóide | Pa: parietal | Sst: supratemporal (=lateral extraescapular, veja Ppl) |
| Ect: ectetemóide | Padpt: dermopterótico-parietal | suf: fossa subtemporal |
| end f- fossa endolinfática | Pal: palatino | Suo: supraorbital |
| Ep: eporal | Part: pré-articular | Sy: simplético |
| Epo: epioctipal | Pb: osso pélvico (=basiopterigio) | Tec- tectal |
| Exo: exoccipital | Pd: predentário | tf-: forame temporal |
| fb: fossa bridgei | Pe: pré-etimóide | U: centro ural |
| fepsa: forame para artéria pseudobranquial eferente | perf- fenestra perilinfática | Ud: uroneural |
| fica: forame para artéria carótida interna | pf: fontanela posterior | V: nadadeira ventral |
| foa: forame para artéria orbital | Ph: parihiporal | Vo: vômer |
| foc: forame para canal ótico | Pitf-: fossa ptuitária | Il: forame para nervo ótico |
| fp: fossa pré-epiótica | Pmes: "meseumóide posterior" | IH: forame para nervo oculomotor |
| Fr: frontal | Pmx: pré-maxila | VI: forame para nervo abduceno |
| frde: lâmina descendente frontal | Pop: pré-opercular | VH: forame para nervo facial |
| G: guiar | pp: penículo parietal | IX: forame para nervo glossofaríngeal |
| | Ppl: post-parietal lateral (extraescapular latem) | X: forame para nervo vago |



11. Os primeiros Tetrápodes

Os primeiros tetrápodes ("quatro pés") surgiram no Devoniano nos pântanos e córregos do antigo continente Laurússia (junção da América do Norte, Groelândia e Europa), que ocupava, na época, uma posição latitudinal tropical e que começava a verdecer com as primeiras florestas de plantas vasculares primitivas a surgir nos continentes e abundar em formas cada vez mais variadas de artrópodes terrestres e outros invertebrados. Neste cenário, aparecem as primeiras evidências seguras dos anfíbios, o grupo basal dos tetrápodes, principalmente em rochas do Devoniano superior da Groelândia (*Ichthyostega*, *Acanthostega*), mas também da Rússia (*Tulerpeton*) e da Austrália. Supostas pegadas de anfíbios são descritos do Devoniano inferior da Austrália e, importantemente, da Formação Ponta Grossa, do Devoniano médio a superior do Estado do Paraná aqui no Brasil (Figs. 11.3, 5, 7). Neste exercício você analisará uma réplica deste fóssil extraordinário e avaliará as evidências a favor e contra esta hipótese.

Os anfíbios certamente evoluíram a partir dos peixes sarcopterígeos (Fig. 11.2) caracterizados por nadadeiras lobadas com forte estrutura óssea, como se pode ver comparando *Eusthenopteron* e *Ichthyostega* na Figura 11.1. Além desta característica, diversos membros dos sarcopterígeos eram dotados de pulmões, outra importantíssima feição aproveitada na transição do hábito aquático para hábito terrestre.

Tanto os animais como as plantas enfrentaram os mesmos problemas fisiológicos sérios nessa transição:

- a) suporte físico do corpo fora da água;
- b) ressecção dos tecidos;
- c) reprodução fora da água (ressecção dos ovos);
- d) obtenção de sustento;
- e) locomoção (nos tetrápodes).

Por muitos anos, o par de fósseis devonianos - o peixe *Eusthenopteron* e o anfíbio primitivo *Ichthyostega* - serviram de base para a seguinte explicação da origem dos anfíbios. Peixes como *Eusthenopteron* teriam habitado córregos e rios do interior da Laurússia. Com a crescente aridização da região, muitos dos corpos de água menores se dessecaram mas não antes que alguns peixes desse tipo, capazes de respirar ar, pudessem se locomover desajeitadamente sobre suas nadadeiras lobadas até outros corpos de água. No caminho podem ter comido pequenas plantas vasculares primitivas e, eventualmente, um artrópode ou outro. Com o tempo, teriam surgido animais cada vez mais adaptados ao meio terrestre, compartilhando seu tempo entre a terra firme e a água, animais como *Ichthyostega*, por exemplo.

Recentemente, no entanto, encontraram-se numerosos esqueletos de *Acanthostega* (Fig. 11.1), um verdadeiro tetrápode tão antigo quanto *Ichthyostega* mas com uma estrutura esquelética tão fraca que não poderia se sustentar em pé fora da água. Surge, então, a questão fundamental: Onde e como surgiu tetrapodia? A arquitetura esquelética da *Ichthyostega* sugere uma história bastante diferente de *Ichthyostega*, mas é possível que ambas tenham pelo menos razão parcial. *Acanthostega* parece ter se adaptado à vida em córregos e lagos abarrotados de troncos e caídos das primeiras plantas arborescentes. Provavelmente vivia de tocaiar suas presas, passando a maior parte semi-escondido na lama para, em seguida, sair rapidamente, passando por cima e em torno do entulho vegetal à sua frente, e abocanhar um peixe que se aventurasse perto demais de sua toca. Num cenário desses, é fácil imaginar a vantagem que nadadeiras transformadas em membros teriam para superar os obstáculos subaquáticos de seu habitat. Permanece a questão: afinal, qual foi a

pressão seletiva fundamental que levou à tetrapodia? A necessidade de passar por obstáculos dentro da água ou de procurar novos corpos aquosos durante a seca? Agora, só falta entender o porque dos oito dígitos nas suas mãos. de *Acanthostega*.

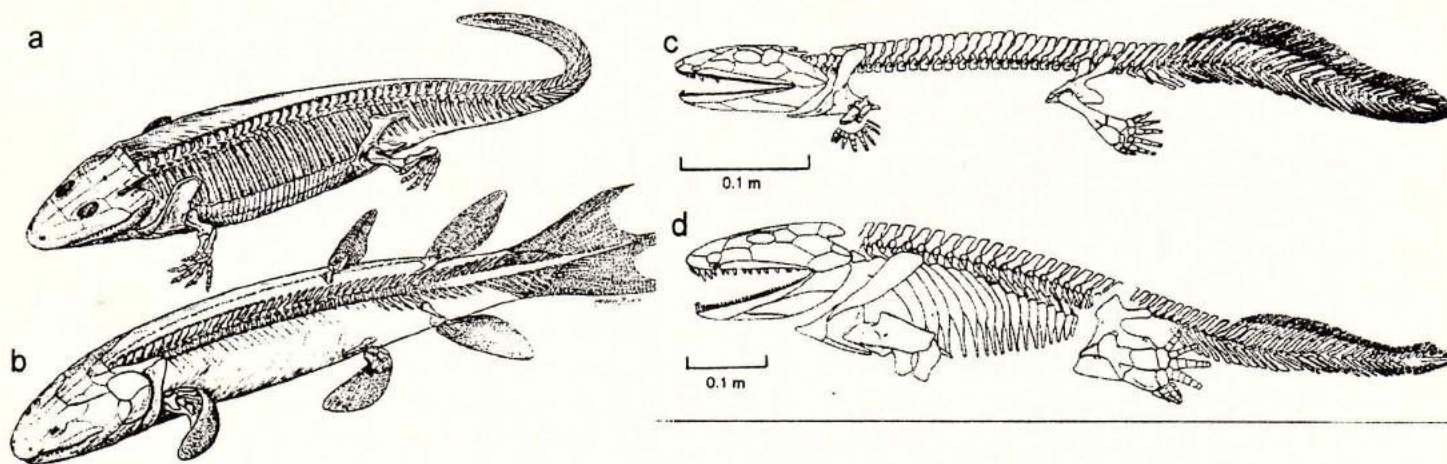


Figura 11.1. ^b *Eusthenopteron*, peixe sarcopterígeo; ^a *Ichthyostega* (McAlester, 1969); ^c *Ichthyostega*; ^d *Acanthostega* (Benton, 1997).

Exercícios:

Parte 1)

a) Examine Figura 11.1 e cite três semelhanças e diferenças entre *Eusthenopteron* e *Ichthyostega*. _____

1 - CORPO ACHATADO

1 - MEMBROS P/ TERRA

2 - CAUDA P/ NATAÇÃO

2 - " " ÁGUA

3 - CRÂNIO REDUNDANTE DO

3 - CAUDA

b) Que diferenças entre *Ichthyostega* e *Acanthostega* suportam a afirmação que o primeiro podia se sustentar e locomover em terra firme e o segundo não? COSTELAS; MEMBROS ROBUSTOS

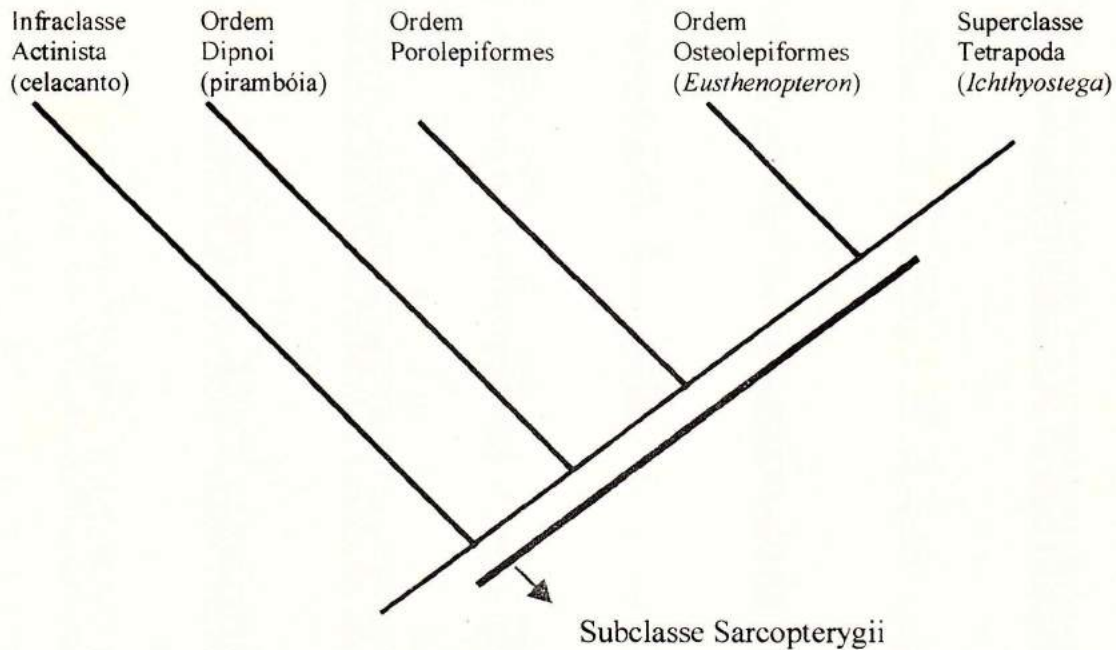


Figura 11.2. Relações cladísticas dos peixes sarcopterígeos e os tetrápodes. O celacanto moderno, *Latimeria*, não é tão próximo ao ancestral dos tetrápodes quanto o peixe pulmonado brasileiro conhecido como a pirambóia. Observe que a subclasse de peixes sarcopterygii é um táxon parafilético; para ser considerado um táxon monofilético, teria de compreender todos os tetrápodes também pois estes também possuem todos os caracteres que definem os sarcopterygii (Benton, 1997).

Examine a réplica do icnofóssil *Notopus petri* e o esquema da figura 11.3.

Cx 5



Figura 11.3. Esquema do icnofóssil *Notopus petri* (segundo Rocek e Rage, 1994).

A amostra original provém de folhelhos da Formação Ponta grossa (Devoniano inferior a médio), que você teve a oportunidade de conhecer nas aulas de campo em Jaguariaíva, Estado do Paraná (Fig. 11.4).

| CRONO | SSE | LITOESTRATIGRAFIA | NNW |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PERMIANO | P A L E O M O | TERESINA/RIO DO RASTO FMs IRATI FM RIO BONITO FM ITARARE GP AQUIDAUANA FM | |
| CARBONÍFERO | | | |
| DEVONIANO | | PONTA GROSSA FM | |
| SILURIANO | | FURNAS FM VILA MARIA FM | |
| ORDOVICIANO | | RIO IVAÍ FM | |

Figura 11.4. Quadro cronoestratigráfico da Bacia do Paraná (Zalan, 1989).

Leonardi (1983) interpretou este fóssil como a marca do membro anterior de um tetrápode anfíbio (Fig 11.5).

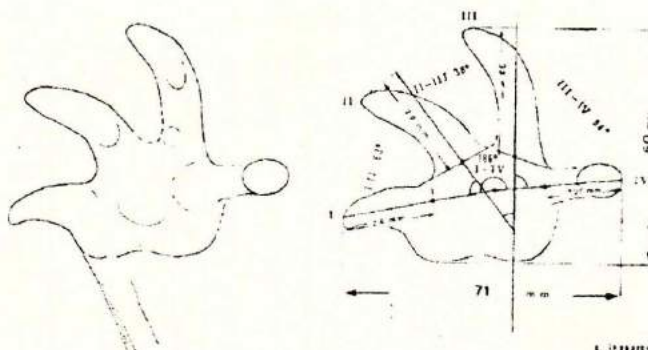


Figura 11.5. Interpretação do icnofóssil (*Notopus petri*) como a impressão de uma pegada de um tetrápode, segundo Leonardi (1983).

Por outro lado, Rocek e Rage (1994) interpretaram este icnofóssil como uma marca deixada por um equinodermo (estrela-do-mar), comum nestes sedimentos (Fig. 11.6).

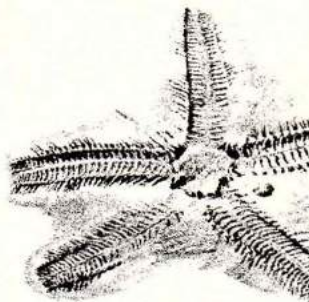


Figura 11.6. Equinodermo proveniente da Formação Ponta Grossa.

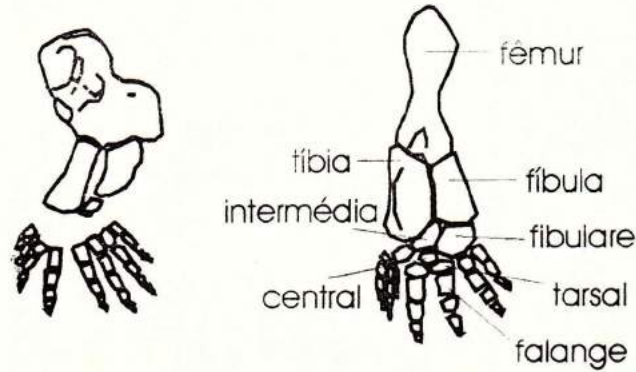


Figura 11.7. Membros anteriores de tetrápodes do Devoniano superior. Repare que o número dos dígitos nos dois exemplos é maior do que cinco (Benton, 1997).

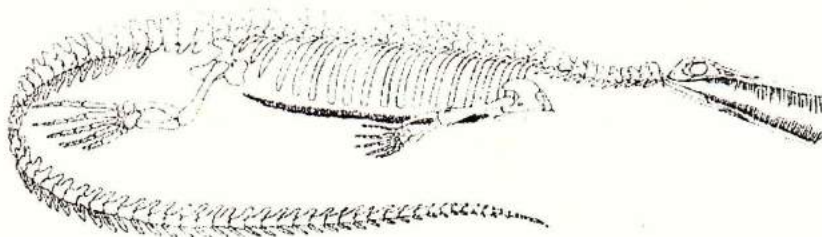
c) Examine a réplica e as figuras neste exercício e avalie estas duas hipóteses, comentando na tabela abaixo os pontos favoráveis e contrários a cada uma referentes à anatomia, tafonomia, paleoambiente, paleoecologia e história evolutiva do grupo (incluindo estratigrafia e idade).

Tabela para as respostas

| | Tetrápode | Equinodermo |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Anatomia (estrutura dos ossos) | favor = parece membros anteriores contra = 6 a 8 dígitos | favor = marca de eq. é comum em sedimento contra = — |
| Tafonomia (formação dos fósseis) | favor = contra = porta + profundidade (duas) | favor = comum em sedimento contra = não há marcas |
| Paleoambiente (ambiente na época da fossilização) | favor = ? não há contra = | favor = form. porta grossa maioria, podendo ser equinodermo |
| Paleoecologia (relação com o ambiente que vive) | favor = não há contra = animal → H ₂ O, lodo, marinho | favor = animal marinho em sedimento marinho |
| História evolutiva | favor = 1 es. fósil poeas 5 dígitos parecido contra = tetrápodos + anti-gos pernas... + dedos | favor = abundância de equinodermos nesse período |
| Estratigrafia e idade | favor = compreende a idade dos outros tetrápodos | favor = com na mesma formação equinodermos |
| Outros | | |

d) Na sua opinião qual das hipóteses é mais satisfatória? Ou nenhuma lhe satisfaz? Por que?

Equinodermos: características da formação porta grossa, não há evidência de tetrápode.

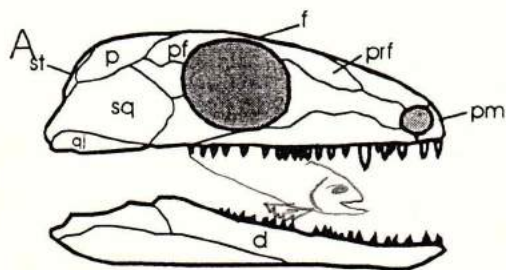


12. Mesosaurídeos Fósseis

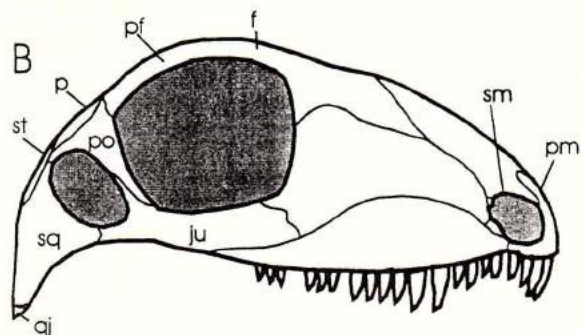
Introdução

Embora os dinossauros estejam entre os répteis mais populares e importantes, outros grupos de répteis têm uma história evolutiva igualmente interessante, não só do ponto de vista paleontológico, como também com relação às evidências que fornecem para a interpretação paleoambiental e paleogeográfica.

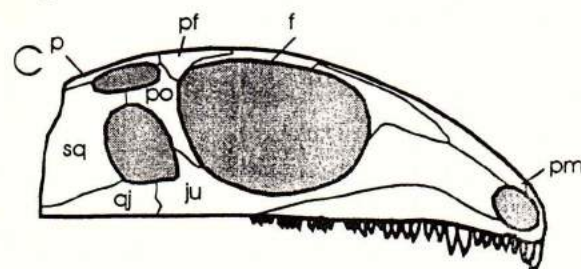
A classificação fundamental dos répteis baseia-se em características do crânio, em especial na presença e tipo dos orifícios temporais. Segundo estes critérios, os répteis podem ser subdivididos nas seguintes subclasses (Figura 12.1):



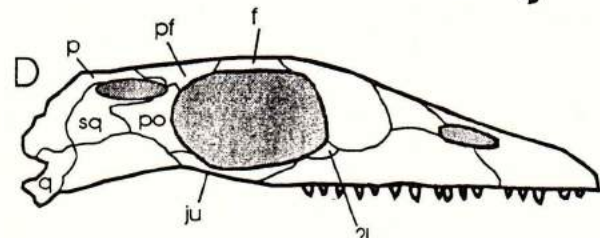
A. Subclasse Anapsida (sem orifícios): Ordem Cotylosauria (†) e Chelononia.



B. Subclasse Synapsida (com 1 orifício abaixo dos ossos esquamal e suborbital): Ordens Pelycosautia (†) Therapsida (†), e (?) Mesosauria.



C. Subclasse Diapsida (com 2 orifícios de cada lado) Ordens : Lepidosauria e Archosauria



D. Subclasse Parapsida (com orifício acima dos ossos pós-frontal e supratemporal). Ordem: Ichthyosauria (+); e Subclasse Euryapsida (com 1 orifício dos ossos esquamal e suborbital) Ordens: Protosauria (†) e Sauropterygia (†)

Figura 12.1. Crânios dos amniotas primitivos mostrando o padrão de abertura das fendas temporais que distinguem os grupos. A. Condição anápsida, ilustrada por *Paleothyris*, um protorotirídeo; B. Condição sinápsida, exemplificada pelo réptil mamiferóide *Haptodus*; C. Condição diápsida, mostrada por *Petrolacossauros*; e D. Notosauro *Neusticosaurus*, ilustrando a condição parápsida ou euriápsida. Abreviaturas: d, dentário; f, frontal; ju, jugal; l, lacrimal; n, nasal; p, parietal; pm, pré-maxila; po, pós-orbital; prf, pré-frontal; pt, pterigóide; q, quadrado; sm, septomaxila; sq, squamosal (Carroll, 1988).

A posição dos Mesosauria nesta classificação é ainda duvidosa. Romer (1966) por exemplo, considera-os anapsídeos. Isto se deve a má conservação do crânio, geralmente esmagado pela compactação da rocha, que não permite distinguir claramente a sua estrutura. A relação de parentesco entre Mesosauridae e outros grupos de répteis é mostrada na Figura 12.2.

O nome da ordem deriva do gênero *Mesosaurus* criado por Gervais em 1865 para fósseis da África austral. Outros representantes da ordem foram posteriormente identificados (*Sterosternum* Cope, 1885) e *Brazilosaurus*, no Brasil.

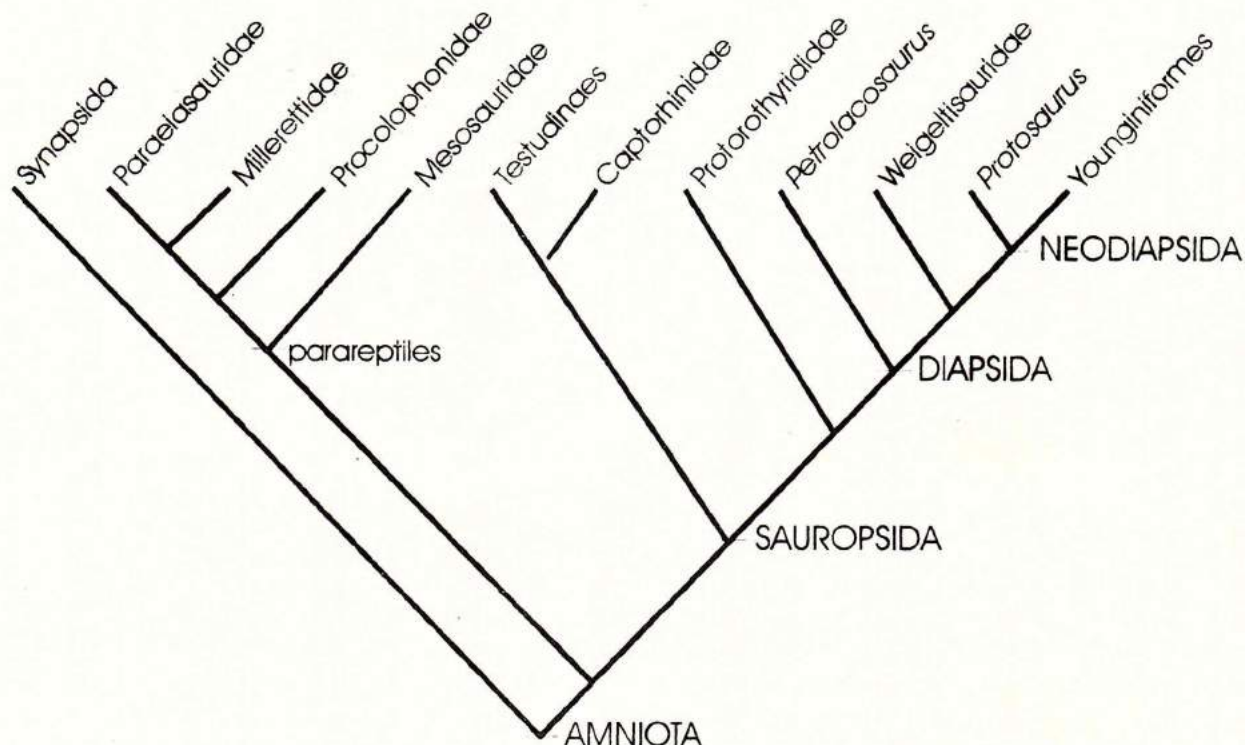


Figura 12.2. Cladograma mostrando o relacionamento da Mesosauridae com grupos maiores de répteis.

Exercícios:

Parte 1) a) Um aspecto notável dos “mesossaurídeos” é que eles representaram um grupo de répteis que precocemente retornou ao habitat aquático. Examine os exemplares mostrados e indique três características que apoiam esta interpretação. 1) dentes finos ; 2) cauda com -
-mida ; 3) ossos dos membros posteriores mais grossos
que os anteriores (dando ideia que o animal se
impulsiona)

b) Lembre-se que os répteis mais antigos datam do Carbonífero superior (cerca de 300 M. a.) e que os mesossaurídeos viveram no Permiano inferior ou superior (cerca de 245 Ma). Quanto tempo foi envolvido nesse passo evolutivo? 55 ma

Mesosaurídeos ocorrem exclusivamente na África Austral (África do Sul e Namíbia) e Sudeste da América do Sul (Brasil, Uruguai e Paraguai). (Figura 12.3).

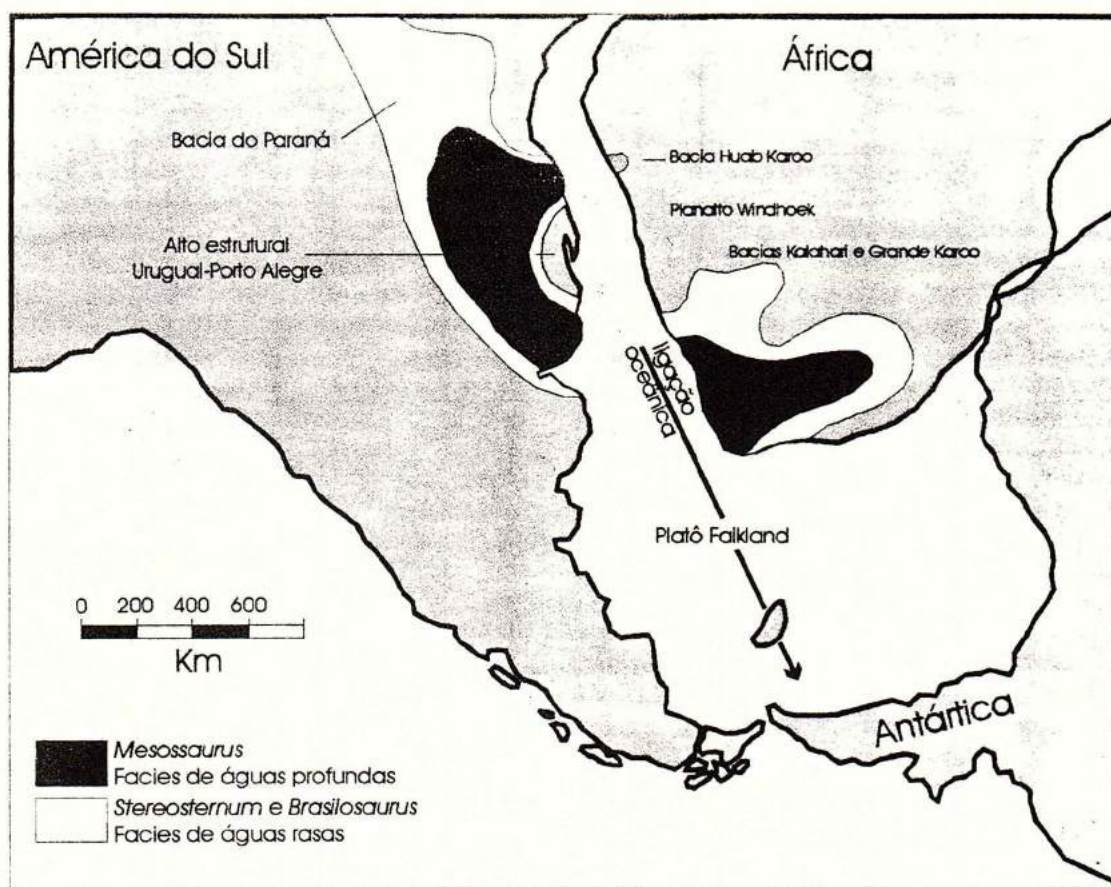


Figura 12.3. Distribuição das fácies de águas profundas contendo *Mesosaurus* e facies costeiras contendo *Stereosternum* das formações Irati e Whitehill nas bacias do Paraná e Karoo. A conexão entre bacias do Paraná e Grande Karoo se dava por meio da região de Torres, RS (Oelofsen e Araujo, 1987).

Atualmente, as seguintes espécies são reconhecidas:

África Austral

Mesosaurus tenuidens

Stereosternum tumidum

Brasil

Mesosaurus tenuidens (= *M. brasiliensis*)

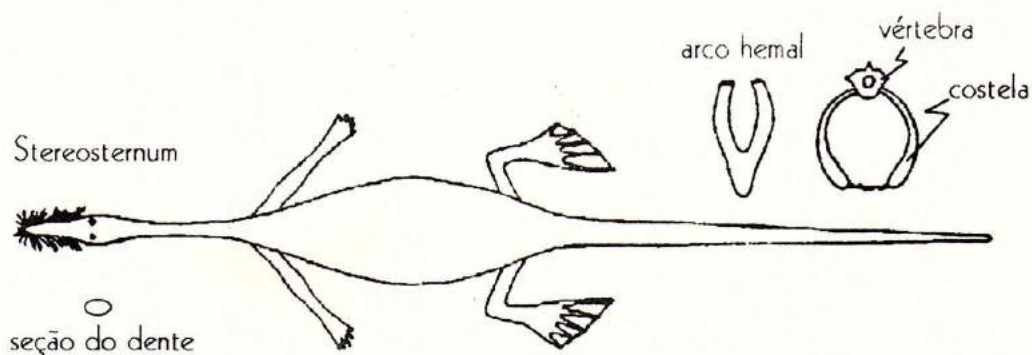
Stereosternum tumidum

Brasilosaurus sanpaulensis

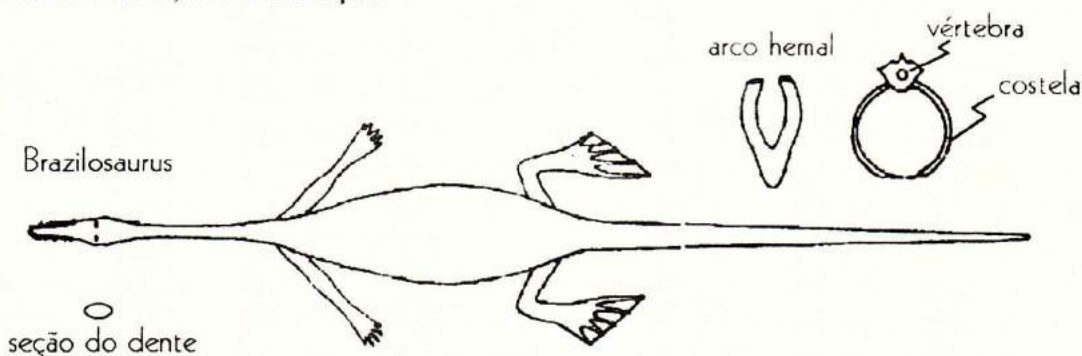
c) A distribuição dos mesossaurídeos, restrita aos dois continentes (América do Sul e África), hoje separados pelo Oceano Atlântico Sul, foi, desde há muito, utilizada pelos geólogos e paleontólogos como evidência a favor da deriva dos continentes e da existência do supercontinente Gondwana durante a era Paleozóica. Monte um argumento a favor e outro contra essa interpretação, tendo em vista o que já aprendeu sobre os mesossaurídeos.

favor: A própria deriva continental, uma vez estando Brasil e África juntos, tinham
mesmo habitat e desenvolvimento as mesmas
espécies de mesossaurídeos
contra: sendo os mesossaurídeos animais marinhos,
podiam ocorrer na Am. do Sul e África
sem estes estarem unidos geograficamente.

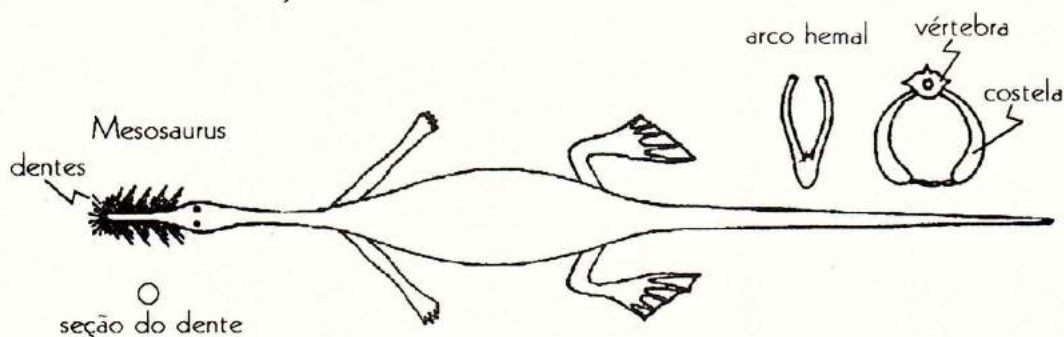
Parte 2) Identificação de Mesossaurídeos do Gondwana (Permiano) da América do Sul e África. Estude as descrições abaixo e identifique o exemplar mostrado.



Stereosternum. - Comprimento da cabeça igual ao do pescoço; costelas e arcos hemais espessados; 34 ou 35 vértebras pré-sacrais (12 cervicais, 22 ou 23 dorsais); dentes de comprimento médio, ovais em seção.



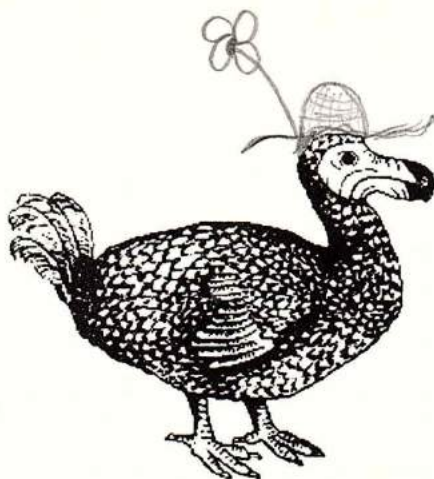
Brazilosaurus - Cabeça mais curta que o pescoço; costelas não espessados; arcos hemais espessados. 34 ou 35 vértebras pré-sacrais (15 cervicais, 19 ou 20 dorsais); dentes curtos, cônicos e ovais em seção.



Mesosaurus - Cabeça mais longa que pescoço; costelas fortemente espessadas, arcos hemais não espessados; 29 vértebras pré-sacrais (12 cervicais e 17 dorsais); dentes compridos, circulares em seção.

Descreva o exemplar segundo as opções abaixo.

- Número do exemplar _____
- a relação cabeça/pescoço _____
- natureza das costelas _____
- natureza das vértebras _____
- natureza dos dentes _____
- Compare seus dados com as figuras e identifique seu espécime: Justifique sua escolha:



13. Aves Fósseis

Introdução

As aves, juntamente com os mamíferos, compreendem a fauna moderna dominante dentre os vertebrados. Aproximadamente 9000 espécies estão presentes na totalidade dos ambientes da Terra. Em número de espécies, apenas os peixes ósseos, as sobrepujam dentre os vertebrados. Várias características são responsáveis por esse sucesso, das quais destacam-se a capacidade do voo, a homeotermia e um sistema respiratório sofisticado, único entre os cordados.

Sua história geológica é relativamente longa, iniciando-se com a aquisição de penas por organismos encontrados como fósseis na região de Solenhofen, no sul da Alemanha. Estas rochas calcárias foram depositadas em ambiente lagunar de clima subtropical do Neojurássico superior. Na verdade, estes organismos, conhecidos como *Archaeopteryx*, só são considerados como pertencentes à classe das Aves devido a presença de penas. Não fosse a presença das penas, estes esqueletos seriam considerados como dinossauros.

De um modo geral, *Archaeopteryx* é considerado pelos paleontólogos, na atualidade, como o primeiro representante das Aves.

Quatro hipóteses foram propostas para a origem da classe:

- Cavidades pneumáticas em alguns ossos, aspectos anatômicos do cérebro, etc., aproximam as aves de crocodiliomorfos primitivos (*Terrestrisuchus*). Contudo, a maioria destes caracteres são compartilhados por outros arcossauros e a homologia é duvidosa.
- Algumas formas de tecodontes possuem proporções muito próximas das aves mas nenhuma sinapomorfia compartilhada foi, até o momento, descoberta.
- A endotermia, quatro cavidades do coração, cérebro avançado e a aquisição de uma cobertura isolante constituída por queratina, e outros 25 caracteres compartilhados, aproximam as aves dos mamíferos.
- Atualmente, a hipótese mais aceita é a origem das aves a partir dos dinossauros terópodes. Dezenas de características são compartilhadas por *Archaeopteryx* e o terópode *Deinonychus* (Figs. 13.1 e 13.2).

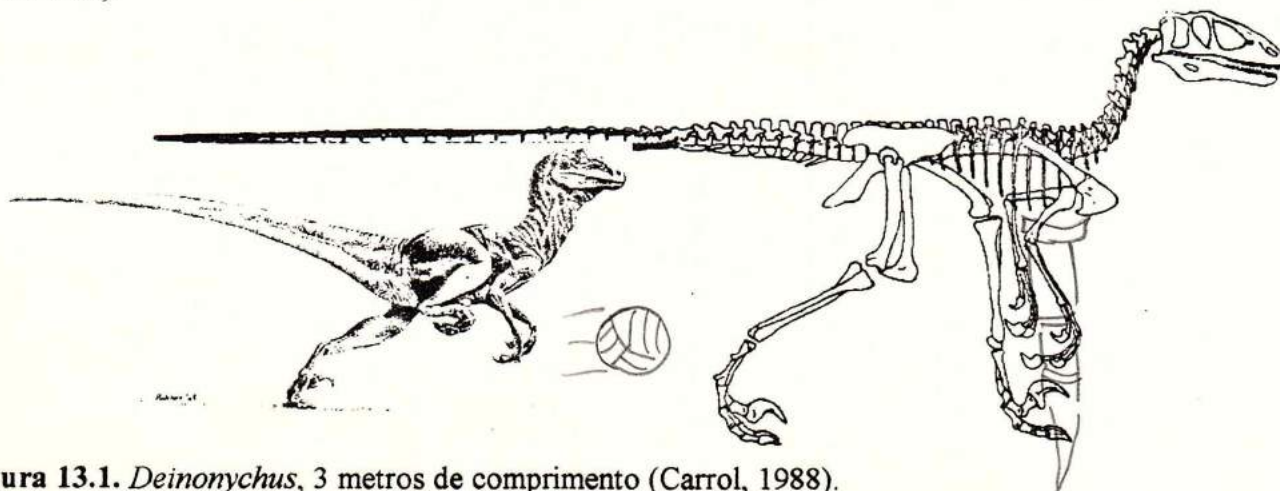


Figura 13.1. *Deinonychus*, 3 metros de comprimento (Carrol, 1988).

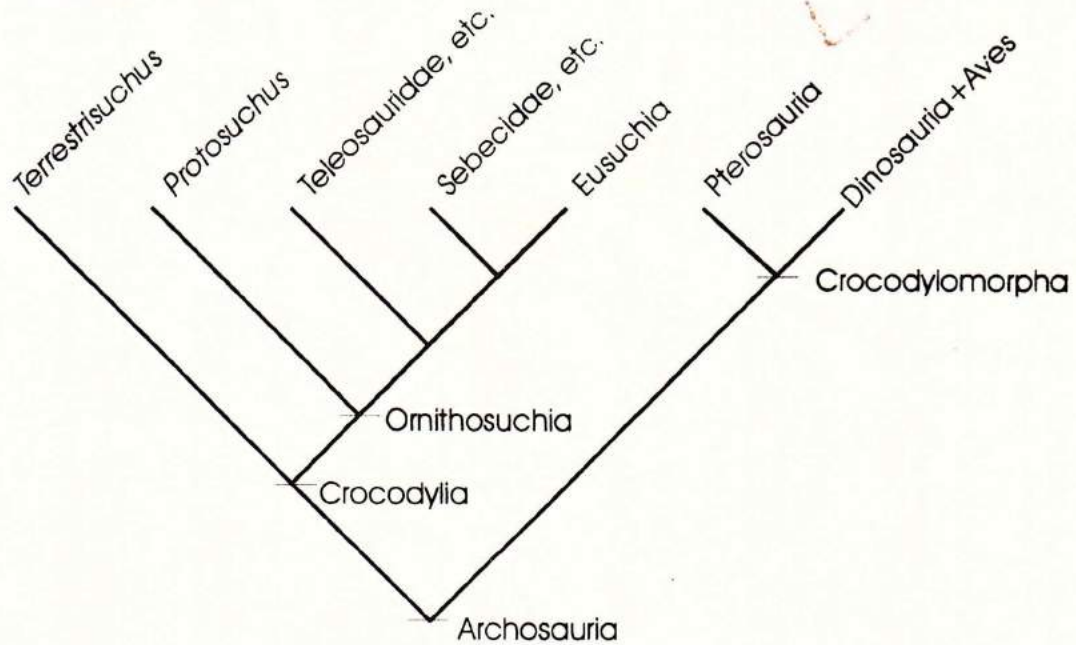


Figura 13.2. Cladograma mostrando o relacionamento filogenético dos grupos de Archosauria e o parentesco das aves (Benton, 1990).

Com exceção de penas, características francamente avianas, como a presença de um esterno quilhado (Fig. 13.3) para fixação da musculatura relacionada ao vôo, ossos pneumáticos, etc. estão ausentes em *Archaeopteryx*. Os três dígitos não fundidos e carpo flexível, são características que aproximam *Archaeopteryx* de outros dinossauros terópodes, como por exemplo, *Deinonyehus* (Fig. 13.1).

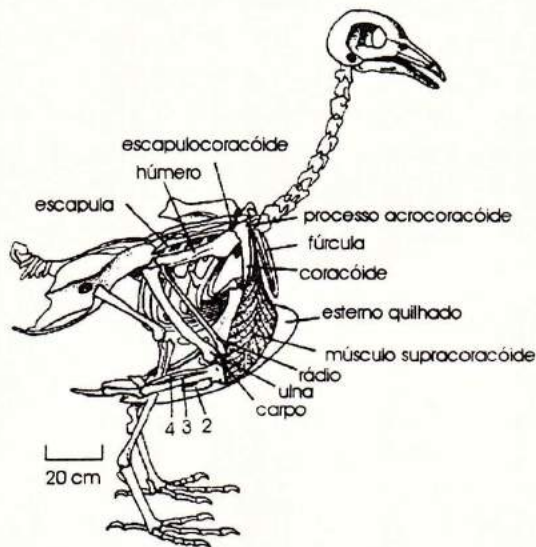


Figura 13.3. Esqueleto de um pombo moderno, *Columba*, mostrando o músculo supracoracóide fixo ao esterno, feição relacionada ao movimento das asas e, aparentemente, ausente em *Archaeopteryx* (Benton, 1990).

Outros grupos de aves estão presentes em sedimentos mesozóicos. Duas ordens, Hesperornithiformes (*Hesperornis*) e Ichthyornithiformes (*Ichthyornis*) (Fig.13.4), ocorrem em sedimentos do Cretáceo Superior da América do Norte, sendo a característica principal destes grupos a presença de dentes e a adaptação para a pesca.

Dois outros grupos encerram todas as outras aves fósseis e modernas: as superordens Palaeognathae e Neognathae.

Os palaeognatos incluem grupos fósseis, representados no Mioceno e Plioceno, com um único fóssil descrito no Cretáceo Superior da Argentina, deixando, portanto uma lacuna de

aproximadamente 40 milhões de anos no registro fóssil. Dentre os palaeognatos modernos estão as ratitas, representadas pelas emas, emus e avestruzes.

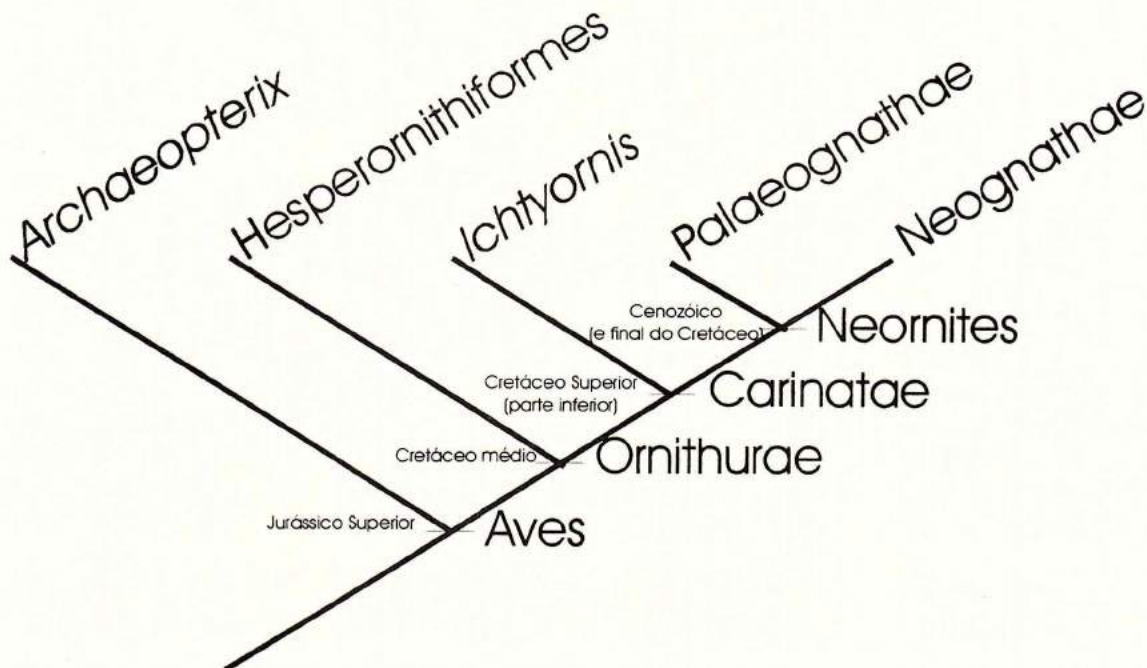


Figura 13. 4. Hipótese de relacionamento e idade do aparecimento dos grupos de aves.

Na superordem Neognathae estão incluídos a maioria das ordens de aves modernas (Fig.13.8) além de uma grande quantidade de fósseis da Era Cenozóica. Dentre os neognatos mais espetaculares que já povoaram as Américas encontram-se as aves gigantes do Eoceno (Fig.13.5). Estas aves alcançavam até 3 metros de altura e possuíam um crânio que atingia em torno de 50 cm. Carnívoras, podiam pregar pequenos mamíferos. Um esqueleto quase completo já foi encontrado em depósitos terciários da Bacia de Taubaté no Estado de São Paulo. Nesta mesma bacia, outras aves (flamingos) já foram descritas.

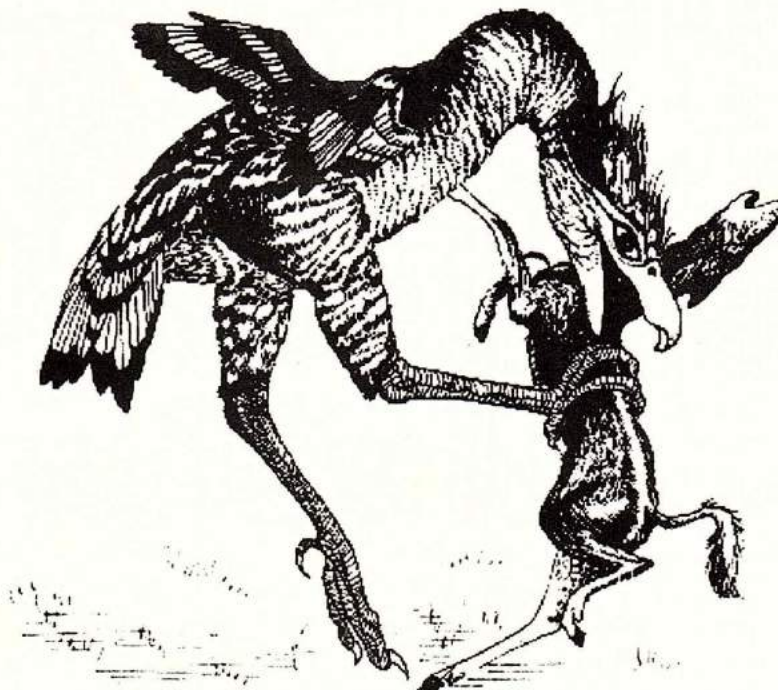


Figura 13.5. *Andalgornis* atacando um pequeno mamífero semelhante a um cavalo (Benton, 1990).

Exercícios:

Parte 1) Examine a réplica contendo um espécime de *Archaeopteryx* identifique na Fig. 13.6 qual das únicas seis amostras encontradas corresponde à amostra _____

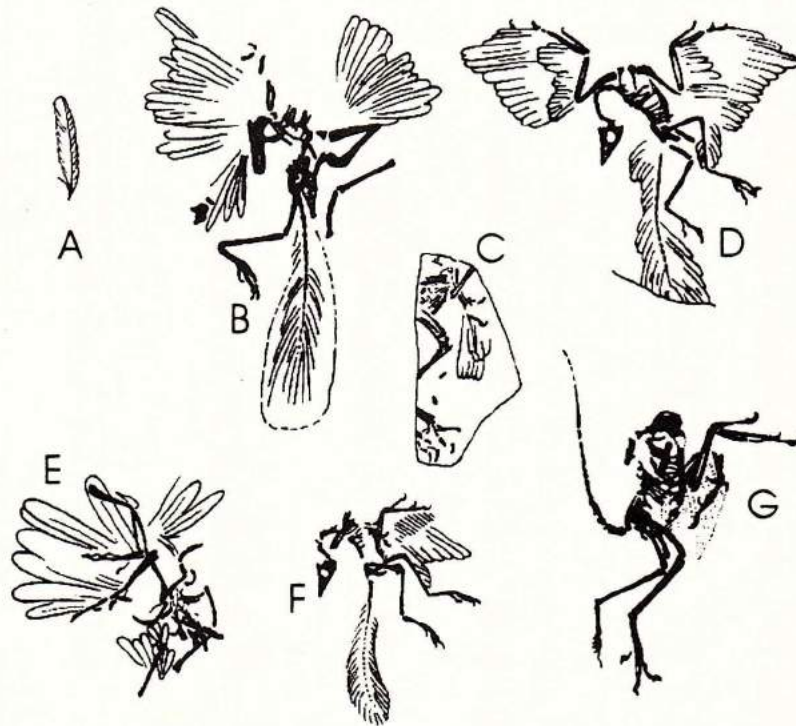


Figura 13.6. Os únicos espécimes conhecidos de *Archaeopteryx*. Segue a lista dos nomes e datas de coleta das amostras. A. Berlim/München 1860; B. London 1861; C. Haarlem 1855 (1970); D. Berlim 1877; E. Maxberg 1955; F. Eichstätt 1951; G. Solnhofen 1987. Todos espécimes estão na mesma escala. (Benton, 1990).

A Figura 13. 7 mostra uma reconstituição do esqueleto de *Archaeopteryx*. Compare o exemplar com *Deinonychus* (Fig.13.1) com o esqueleto da ave moderna (Fig.13.3). Quais características estão presentes nas aves modernas mas não em *Archaeopteryx*? extremo quilhado no

fixação da musculatura do voo, ossos pneumáticos
Quais características são comuns ao terópode *Deinonyochus*? 3 dígitos na pumidade
e corpo flexível

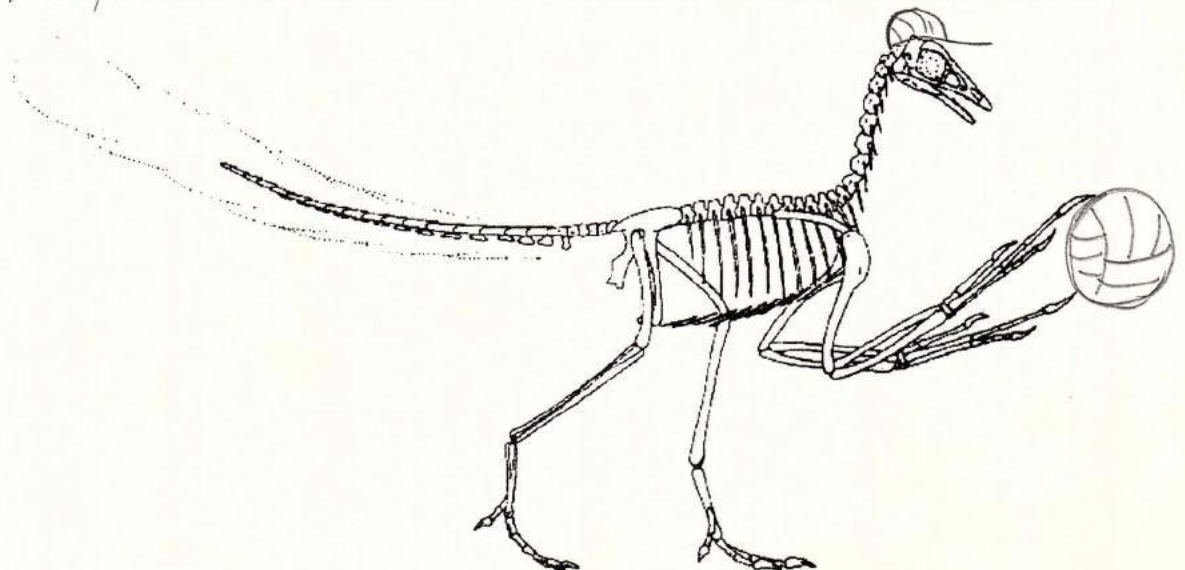


Figura 13.7. Reconstituição do esqueleto de *Archaeopteryx* (Carrol, 1988).

Parte 2) Observe o cladograma da Fig. 13.8 que mostra a relação entre as diversas ordens de Aves extintas e atuais. Indique, com círculo em torno do(s) nome(s) dois grupos **monofiléticos** (que compartilham um ancestral comum); um grupo **parafilético** (grupo monofilético que inclui ou exclui um ou mais grupos); **grupos irmãos** (que compartilhem ancestrais comuns).

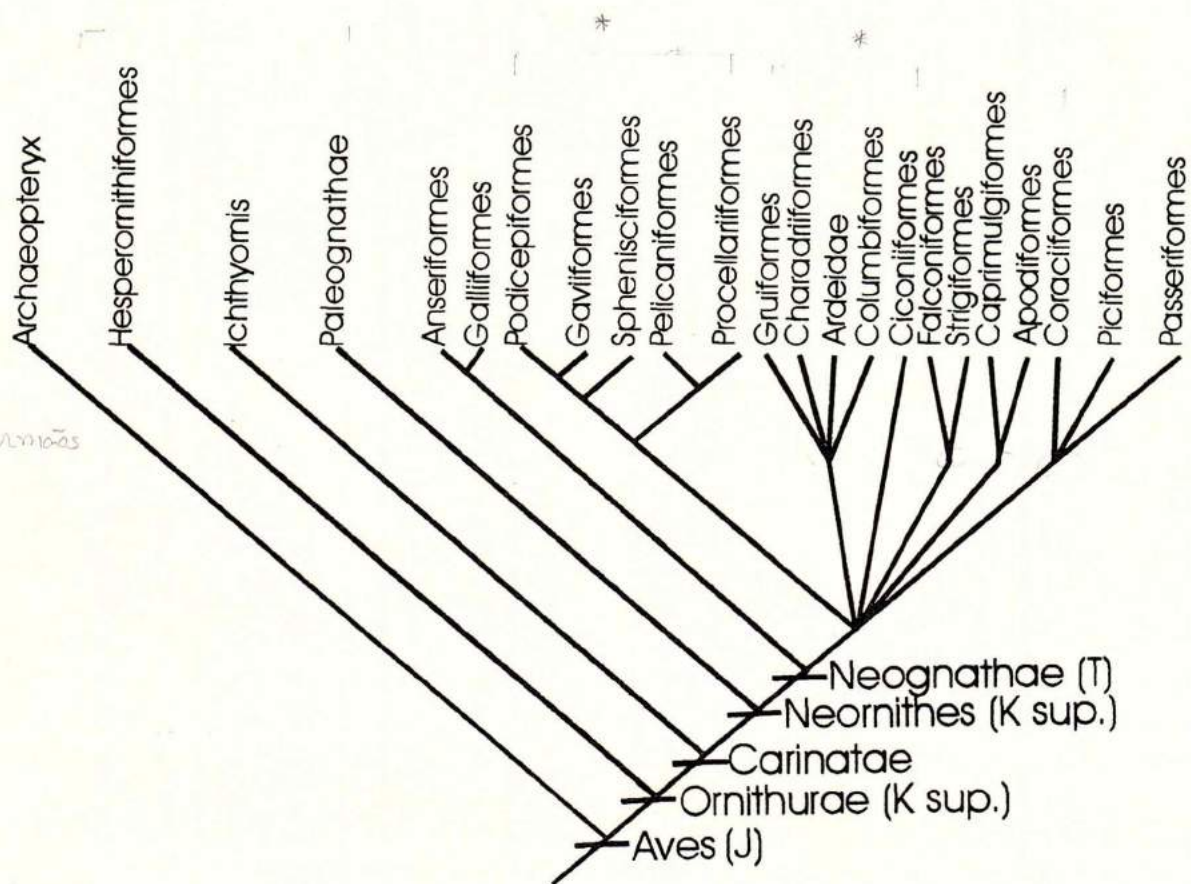
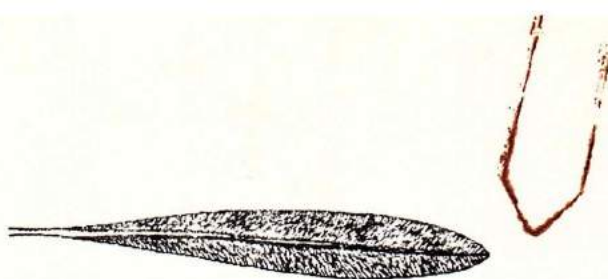


Figura 13.8. Relação de parentesco entre os grupos de Aves (Benton, 1990).

Parte 3) Observe Fig.13.5. Que evidências (fósseis, tafonômicas ou atualísticas) você imagina que permitiriam a elaboração desta cena? _____

- articulação presente
- aquecimento de fósseis
- alta % de preservação



14. O surgimento e desenvolvimento das Plantas Vasculares no Paleozóico

Profa. Dra. Fresia Ricardi-Branco
Unicamp

Introdução

Um dos acontecimentos mais importantes na história do povoamento da terra firme foi o aparecimento das primeiras plantas terrestres, no Siluriano e início do Devoniano. Esses organismos eram muito simples e derivados de algum grupo de algas verdes. O corpo dessas plantas devia ser de pequeno tamanho, estando constituído por um eixo principal, com uma parte subterrânea e outra aérea e com estruturas reprodutivas muito simples, situadas nas extremidades dos eixos. As plantas fósseis mais antigas que se conhece pertencem as rhiniófitas (Fig. 14.1), inicialmente, descobertas no princípio do século na Escócia na região de Rhynie, da qual se deriva o nome.

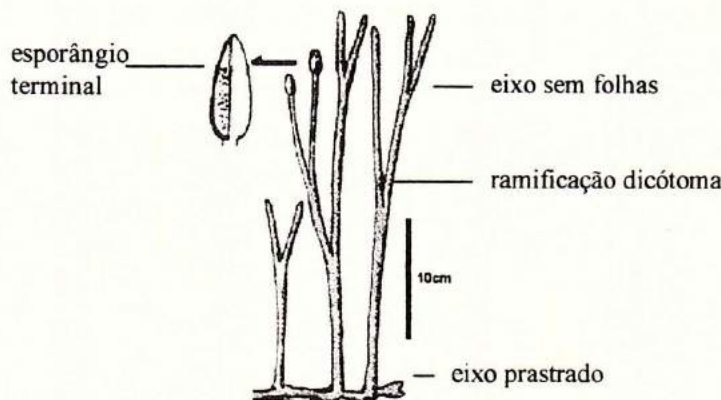


Figura 14.1. A rhiniófitas *Aglaophyton major* (Ingrouille, 1995).

A passagem dos seres vivos da água para o ambiente seco da terra firme, envolveu inúmeros problemas, dos quais os mais importantes enfrentados pelas plantas foram relacionados a::

- Desenvolvimento de um sistema de fixação e de absorção de água do solo.
- Desenvolvimento de um sistema que levasse a água e os minerais do solo às partes superiores da planta.
- Dessecação dos tecidos expostos ao ar e ao sol, solucionada pelo desenvolvimento de um tecido externo poroso, mas revestido de cutícula (cerosa), recobrindo toda a parte aérea.
- Proteção dos esporos, ou células reprodutoras, por meio de uma parede resistente, denominada exina.

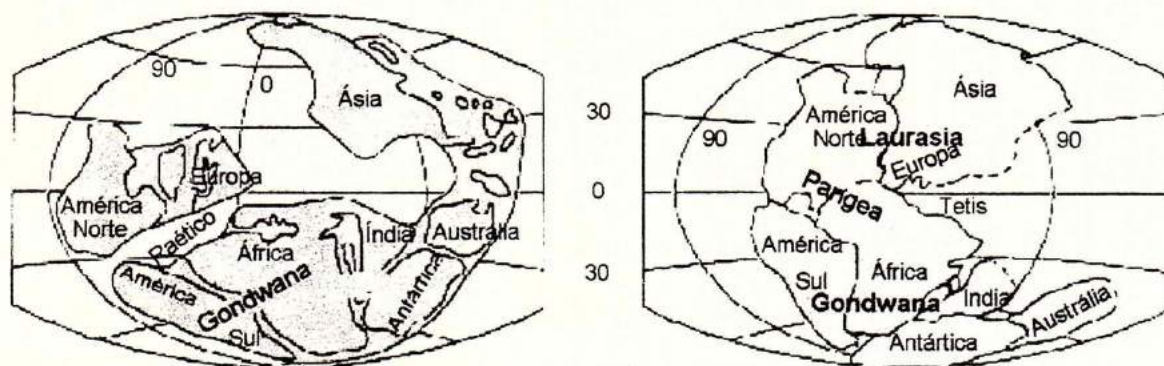
Uma vez que o corpo da planta agora possuía uma parte aérea e outra subterrânea, começou o desenvolvimento de órgãos especializados para a fotossíntese: as **folhas**.

Resolvidos todos estes problemas básicos, teve início o processo acelerado de diversificação. Acredita-se que os primeiros vegetais como *Aglaophyton* (Fig. 14.1) ou *Cooksonia*, mantinham ainda uma estreita dependência da água, habitando as margens úmidas de campos aquosos. A primeira grande explosão das plantas terrestres, após essa fase transicional, resultou numa vegetação bastante diferente da que hoje conhecemos. No final do período Devoniano, já encontramos muitos tipos de plantas. Dentre elas podemos mencionar as **licófitas**. Embora entre as licófitas atuais só existam plantinhas pequenas (p. ex. *Selaginella* ou pinhereinho do brejo), os seus representantes da Era Paleozóica incluíram árvores de até 35m (p. ex. *Lepidodendron*, *Sigillaria*, etc.) da Ordem Lepidodendrales. Grandes florestas compostas por vários tipos de Lepidodendrales (Fig. 14.2) foram comuns no hemisfério norte durante o Carbonífero, embora aqui no Brasil (p. ex., *Brasilodendron*) e

na África do Sul também sejam encontradas representantes dessas árvores primitivas mais tarde no Permiano.

Também freqüentes no fim da Era Paleozóica foram as **esfenófitas** (Fig. 14.3) que, assim como as licófitas, estão hoje reduzidas em número (p. ex. *Equisetum*). Entre as esfenófitas, encontramos árvores da família Calamitaceae (Fig. 14.3), embora em muitos dos casos tenham sido plantas pequenas ou herbáceas que cresciam perto d'água. Entre as últimas, encontramos as Equisetales fósseis, como folhas de *Annularia* e caules (*Paracalamites*) muito abundantes por quase todo o planeta. Aqui no Brasil temos fósseis de folhas (p. ex., *Schizoneura*) e caules (*Paracalamites*) no sul do país, em sedimentos do Permiano. Um grupo de esfenófitas totalmente extinto é o das Sphenophyllales, que viveu do Carbonífero até o Permiano, sendo o gênero *Sphenophyllum* (Fig. 14.3) muito freqüente.

As **filicíneas** (samambaias, Fig. 14.3) estão, da mesma forma, na listagem dos antigos moradores do continente e foram contemporâneas das licófitas e esfenófitas. Então haviam florestas? Sim, e de vários tipos, como hoje em dia. É claro que as melhor conhecidas são aquelas que se desenvolveram perto d'água ou nas regiões pantanosas, semelhantes aos atuais manguezais, uma vez que havia maiores possibilidades de fossilização. Também, a grande quantidade de biomassa formada pelas plantas nos pântanos, unida ao ambiente de sedimentação redutor¹ do pântano, permitiu que seus restos virassem carvão após milhões de anos. Dessa forma encontramos enormes depósitos de carvão que foram produzidos pelas florestas do período Carbonífero no hemisfério norte (Figs. 14.2a e 3). No hemisfério sul, existiram florestas que também geraram carvão, embora datem do Permiano. No Brasil estes depósitos são explorados economicamente nos estados do Sul.



a) Carbonífero - 340 Ma.

b) Permiano - 245 Ma.

Fig. 2. Configuração dos continentes no fim da Era Paleozóica (Ingrouille, 1995).

Voltando às florestas do fim da Era Paleozóica, embora a quantidade de fósseis conhecidos seja menor nas áreas secas que nas florestas de pântanos, sabe-se que dentro do continente existiam florestas, que eram compostas principalmente por **gimnospermas**, inclusive coníferas, porém diferentes das atuais.

As gimnospermas são caracterizadas pelas estruturas reprodutivas unissexuais que, no caso das coníferas, são denominadas **estróbilos**. Dentro do estróbilo feminino estão os óvulos bem protegidos por folhas modificadas ou **brácteas**. Esse arranjo permite que o óvulo fosse fecundado pelo gameto masculino, que se encontra dentro do grão de pólen. Desta forma, por fim, as plantas se liberaram da necessidade da presença de água para a fecundação, como no caso das licófitas, esfenófitas e samambaias. As gimnospermas foram as primeiras plantas a serem bem sucedidas na criação da semente, embora não tenham sido as primeiras a produzir estruturas parecidas com sementes.

¹ Ambiente redutor, sem oxigênio, impede o desenvolvimento dos decompositores, permitindo a formação de um depósito de turfa que, com o tempo mais a pressão litostática crescente, será compactado e transformado em carvão.

criação da semente, embora não tenham sido as primeiras a produzir estruturas parecidas com sementes.

As gimnospermas são caracterizadas também por serem plantas lenhosas, aumentando de tamanho com o crescimento anual do lenho secundário (**anéis de crescimento**). Acredita-se que este grupo tenha aparecido no fim do Devoniano, pois sementes possivelmente relacionadas a gimnospermas, assim como madeiras fósseis, são encontradas a partir dessa época. No Brasil existem fósseis de ramos, semente e madeiras pertencentes a gimnospermas que viveram no fim da Era Paleozóica. Esses fósseis são bastante abundantes no sul do País, como por exemplo, *Paranocladus* e *Krauselcladus*.

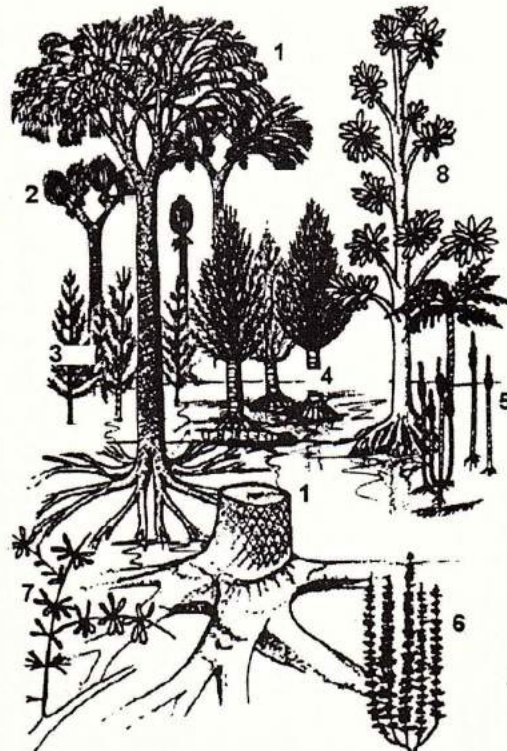


Figura 14.3. Comunidade de pântano, Carbonífero de Laurásia (Ingrouille, 1995).

Legenda: Licófitas (1 e 2), Esfenófitas (3, 4, 5, 6, e 7), Cordaitales (8) e Filicíneas ou samambaia (9).

Outras gimnospermas bem diversificadas foram as Cordaitales (p. ex., *Cordaites*, Fig. 14.3). Existe ainda, outro grupo especialmente importante para o hemisfério sul, o das **Glossopterídeas** (Fig. 14.4), conhecido pelos fósseis de folhas (p. ex., *Glossopteris*), sementes, madeiras (*Vertebraria*) e estruturas reprodutivas (*Arberia*, *Ottokaria*, etc.), os quais encontram-se amplamente distribuídos na América do Sul, África, Madagascar, Índia, Austrália e Antártica. Assim, estes fitofósseis constituem uma das provas de que esses continentes estiveram unidos no paleocontinente de **Gondwana** (Fig. 14.2-b).

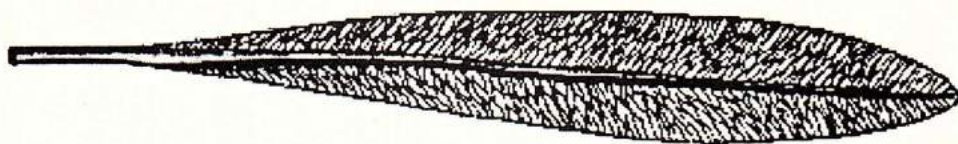


Figura 14.4. Folha de *Glossopteris*. (Rogers, 1994).

No fim da Era Paleozóica as licófitas, as esfenófitas e as filicíneas sofreram grande redução em número de espécies, especialmente nas formas arbóreas. Sem dúvida, entre essas plantas superiores

sem sementes, as samambaias foram as mais afortunadas, pois existe uma grande variedade que chega até os nossos dias.

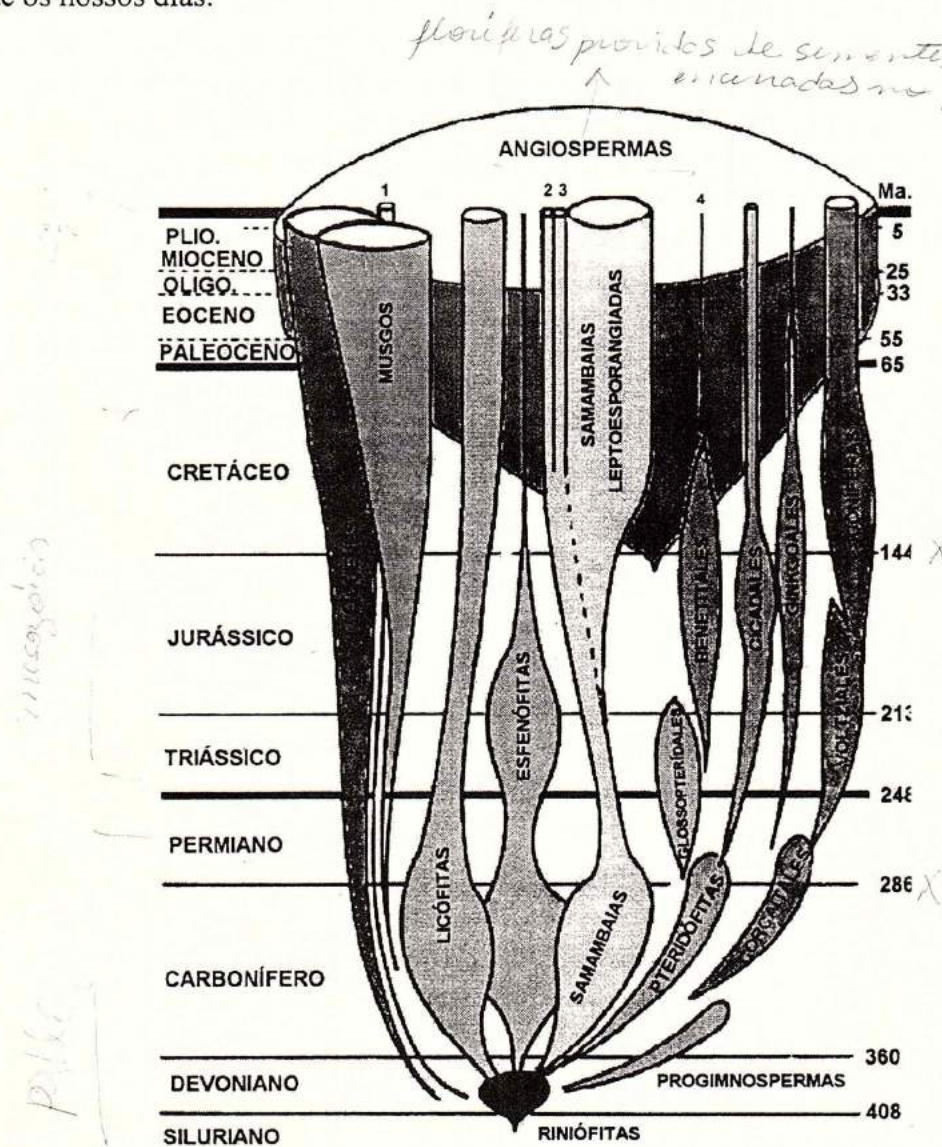


DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA EVOLUÇÃO DAS PLANTAS TERRESTRES

O CORTE TRANSVERSAL NOS GRANDES GRUPOS INDICA APROXIMADAMENTE
A PROPORÇÃO DE ESPÉCIES VIVENTES CONHECIDAS

- 1 - CERATÓFITOS
- 2 e 3 - SAMAMBAIAS EUSPORANGIADAS (Ofioglossales, Marattiales)
- 4 - Gnetum

*gimnospermas se definem pelos
ovulos e sementes a
descoberto, abundantes
nos climas temperados,
3 raras no Brasil.*

Figura.14.5. Diagrama simplificado da evolução das plantas terrestres (Ingrouille, 1995).

opid = aumento de ions +

Exercícios:

Parte 1) Com base na figura 5, responda às seguintes perguntas:

a) Quais foram os grupos de plantas mais bem sucedidos durante o Carbonífero? Explique seu êxito.

licófitos - planta com parte aérea e outra subterrânea,
orgão especial. p/ fotoss. - folhas

b) Quais foram os grupos que sofreram maior redução na crise Permo-Triássica?

licófitos, Sphenopteris

c) Quais os grupos de plantas dominantes na Era Mesozóica? spermatófitos, musgos

d) Conte a história filogenética de um dos grupos de plantas atuais (por exemplo, coníferas ou outras gimnospermas) que derivam de ancestrais. coníferas - Voltz - Gnaphalites

e) Quantos milhões de anos levou cada etapa desta história? 142 ma

f) Seria o grupo das Angiospermas atual maior que qualquer outro grupo de plantas terrestres fósseis? Justifique.

g) Explique a evolução das samambaias, considerando que possuíam uma grande diversidade de espécies, tendo-se restringido significativamente no início do Permiano para voltar a experimentar uma grande expansão no início do Cretáceo?

h) Qual seria a influência do tipo de reprodução no êxito (ou declínio) de um grupo vegetal? Cite um exemplo sugerido pela Figura 14.5.

reprodução desmencada de presença
de H₂O. Semante - proteção para a reprodução e maior
facilidade de transporte.

Parte 2) Examine o corte transversal do caule de *Rhynia* ou *Aglaophyton* e identifique as principais feições ilustradas abaixo.

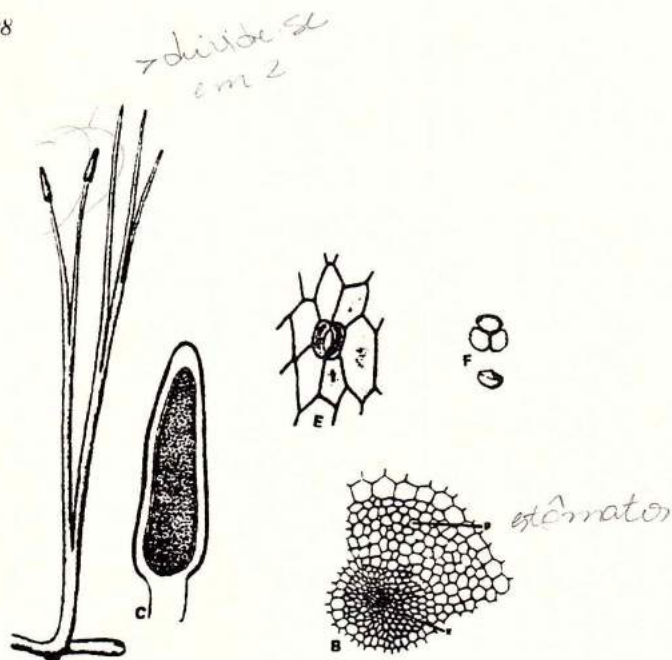
Lamina de Rhynia

PARTES 2, 3, 4, 5, 6 | Cx 3
Cx 3

7, 8, 9 | Cx 7

10 | Cx 10

11 Cx 11



autóctone = quando se encontra no local onde se desenvolveu (sem migração)

CX3

Parte 3) Observe o conjunto de fitofósseis da caixa 1. Eles pertencem à comunidade de pântano que se desenvolveu no Hemisfério Norte (Laurasia) durante o Carbonífero (Fig. 14.3).

Observe o tipo de rocha na qual estão contidos e responda:

- Por que a cor preta? presença de matéria orgânica
- O que isso significa? Tem a ver com a granulometria e tipo de rocha? rocha lítica em carbonos, sim -> quanto + profunda (folhelho)
- Quantos tipos diferentes de vegetais você consegue distinguir e a que parte da planta pertencem?
- Descreva o processo de fossilização. carbonização
- Os órgãos vegetais sofreram transporte ou podem ser considerados como parte da vegetação autóctone? autóctone
- Os fósseis estão fragmentados ou inteiros? pouco fragment.

CX3

Parte 4) Das licófitas, desenhe os caules e responda:

Sigillaria
Lepidodendron
Licopodiopses

- Todos são iguais ou é possível estabelecer diferenças entre eles? sim
muito diferente.

Assim temos vários tipos diferentes:

- Um com almofadas folhares grandes, losangulares, dispostas em espiral que pode ser classificado como *Lepidodendron* (Fig. 14.3), uma licófito arborecente, que alcançava mais de 5m de altura.

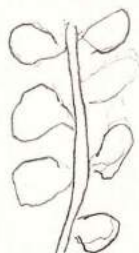
ou em losango

A camada mais externa do tronco, denominada de córtex, possuía vários níveis, sendo no mais interno, difícil identificar as almofadas folhaves, razão pela qual recebem outro nome (*Knorria*).

- Outro com as almofadas folhaves dispostas em filas que pode ser classificado como *Sigillaria* (Fig. 3-2).
- Um terceiro tipo apresenta perfurações dispostas em espiral que correspondem à raiz de *Lepidodendron*, denominada *Stigmaria*.

Cx3

Parte 5) Das esfenófitas, observe e desenhe os caules e as folhas. - (*Sphenophyllum*)



- Calamites
- arundina

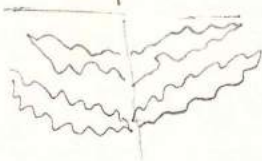
a) Como você terá apreciado, as folhas estão dispostas em círculos ao redor de um eixo central, este arranjo recebe o nome de **verticilo** (Fig. 14.3), o qual é característico de todas as esfenófitas. Quantas folhas há em cada verticilo? 9

b) Os caules são incluídos dentro do gênero *Paracalamites*. O fóssil que você está observando representa a parte externa ou interna do caule?

Cx3

Parte 6) Das filicíneas, observe, desenhe e responda: (*Eptenophyta* / *PTERIDOSPERMOPHYTA*)

- *Leptopteris*
- *Neuropteris*
- *Pecopteris*



a) Quantos gêneros diferentes pode encontrar? Por que? (Mencione pelo menos dois critérios). _____

b) Como você terá apreciado, representam folíolos delicados. Estes folíolos foram transportados ou não? Explique. n

Parte 7) Observe o conjunto de fitofósseis da caixa 2, eles pertencem a várias comunidades de pântano que se desenvolveram no Hemisfério Sul (Gondwana) durante o Permiano.

Observe o tipo de rocha na qual estão contidos e responda: (+ *arenosa*) Silt, + *superfície*

- a) Por que a cor clara? rocha + arenosa, + oxidada (menor material)
- b) Indique alguma diferença em relação ao ambiente onde foram depositados estes fósseis em relação ao exemplo do pântano de Laurásia. ambiente oxidado e no redutor
- c) Os fósseis estão fragmentados? muito pouco
- d) O que isso significa? n houve transporte
- e) Tem a ver com a granulometria e tipo de rocha? sim

- f) Os órgãos vegetais sofreram transporte ou podem ser considerados como parte da vegetação autóctone? parte da veget.
- g) Quantos tipos diferentes de vegetais você consegue distinguir e a que parte da planta pertencem? Eplaznopluta, Psarocarionites, Psaropteria = folhas, caules
- h) Descreva o processo de fossilização. carboniz

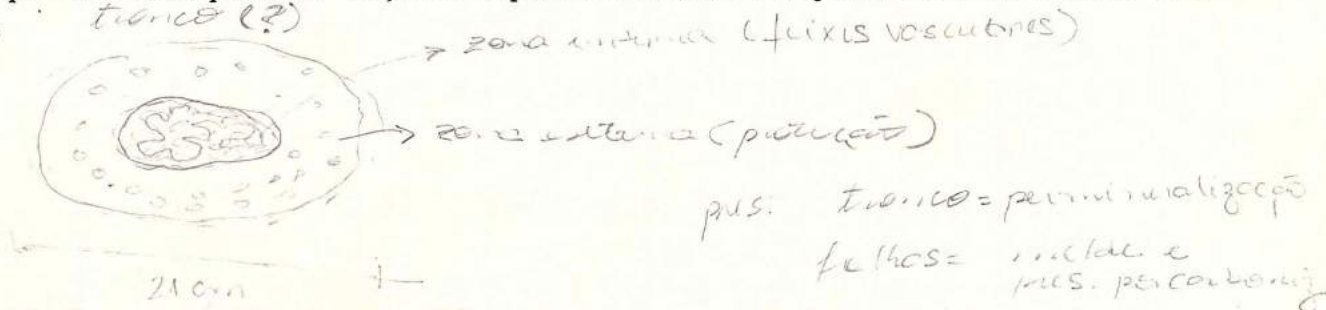
Parte 8) Das licófitas (a espécie estudada é *Lycopodiopsis derbyi*). Observe e compare os caules com aqueles do exemplo anterior:

- a) As almofadas foliares são diferentes? Sim 30 mm
- b) Em que aspectos? Seria uma árvore como *Lepidodendron*? pseudo folhas e pequenas, poucas e minúsculas, indicando ser xerofita.
- c) Observe as folhas silicificadas, estas folhas eram micrófilas ou macrófilas? micrófilas
(constituição de pequenas células por silica)
- d) Pertenceriam a *Lycopodiopsis derbyi*? Por que? Folhas de eugenia na forma de pedicelo, ramos H10 p/10 mm.

Parte 9) Das esfenófitas gondvânicas observe, desenhe e responda:

- a) Os verticilos são semelhantes aos de *Annularia* estudados no exemplo anterior? Quantas folhas têm? + 13 folhas
- b) Os caules são diferentes ou não? Como você imagina que os verticilos eram conectados aos caules?

Parte 10) Dentre as filicíneas do Gondwana, observe o caule da samambaia arborescente *Psaronius*. A que parte do caule pertence? Faça um esquema identificando as partes internas do caule, com escala.



Parte 11) *Glossopteris* (Fig. 4) é uma folha pertencente a um grande e variado grupo de plantas. Acredita-se que na sua grande maioria provieram de árvores de folhas decíduas, razão da sua enorme abundância nos depósitos neopaleozóicos do Gondwana.

- a) Quantos tipos de folhas diferentes encontra? uma
- b) Pode-se observar a nervura em forma de malha? sim
- c) O arranjo das nervuras poderia ser um critério de separação de espécies? sim
- d) As sementes *Cordaicarpus* podem estar associadas às glossopterídeas. Desenhe uma e responda: Qual é a característica mais notória dessas sementes? Qual seria a função dessa característica? é arredondada, facilitando o transporte por vento e água.



ex 12

Parte 12) Por último, observe o tronco fóssil de uma gimnosperma e as folhas de *Krauselcladus*. Faça um desenho esquemático do tronco, mostrando os raios e os anéis de crescimento.



Raios → transport H₂O
de dentro p/ fora

anéis →

a) Existe alguma semelhança com o tronco de *Psaronius*? _____

b) As folhas de *Krauselcladus* pertencem a que grupo de plantas? gimnospermas
(se associada ao tronco) e angiospermas

tronco = possui xilemas,

serrambaca = n

Silte = material sed, de materiais duros
então a amostra ca queda

folhinhos = rocha argilosa folhiada
(+ grosso que a argila)

15. Rumos da evolução vegetal durante o Mesozóico e Cenozóico

Profa. Patrícia de Souza Cristalli
Universidade de Mogi das Cruzes

Introdução

Durante o **Triássico**, ocorreu grande desenvolvimento das Gymnospermas, vegetais adaptados a regiões secas, dada a sua estrutura reprodutiva (sementes). A redução de grandes frondes (Pteridospermaphyta) para folhas aciculares apenas refletiu o novo ambiente conquistado.

Em muitos aspectos, o mundo triássico fora similar aos tempos permianos. Todos os continentes permaneceram unidos, embora começasse algum rifteamento no leste da América do Norte e sudoeste da Europa no Triássico Superior, marcando o início da abertura do Atlântico Norte. O clima era quente, com uma variação muito menor entre os pólos e o equador que atualmente, não havendo evidências de calota polar.

Mudanças climáticas resultaram em mudanças vegetacionais. Durante a primeira parte do Triássico, as floras do Hemisfério Sul eram dominadas por *Dicroidium*, uma pteridosperma arbustiva com folhas amplas. Essa flora desapareceu no decorrer do Triássico, sendo substituída pela flora que dominava no Hemisfério Norte, composta basicamente de coníferas, melhor adaptadas a condições mais secas.

Durante o **Jurássico** desaparece a pronunciada distinção entre a flora Gondwana e floras nórdicas. Floras de diferentes áreas exibiram muitos gêneros e mesmo espécies em comum, não havendo distinção de reinos florísticos. No Jurássico Inferior dominavam, principalmente as gimnospermas dos grupos, Czekanowskiales, Ginkgoales, Bennettitales e Cycadales.

No Jurássico Médio houve um declínio de Czekanowskiales e de muitas *Ginkgoales*, provavelmente devido a mudanças climáticas, uma vez que cessaram os registros de camadas de carvão. É no Jurássico Superior, no entanto, que ocorreu uma mudança maior na distribuição das floras, sendo que, e as camadas de carvão que ocorriam ao norte do mar de Tethys cederam lugar para camadas vermelhas e evaporitos, como o sal-gema.

Fetos e coníferas de variedade subtropical são encontradas à paleolatitudes tão altas quanto 60° e floras ricas são conhecidas na Groelândia e Antártica, em clima temperado quente. A fronteira entre as floras subtropicais e temperadas era 15° de latitude mais próxima ao polo do que atualmente, de forma que a maior parte dos Estados Unidos, Europa (incluindo Dinamarca) e América do Sul e África disfrutaram de clima tropical.

A paisagem do Triássico e Jurássico continha pequenos fetos, esfenófitas e cicadáceas, bem como árvores de pteridospermas e coníferas. No Cretáceo Inferior aparece as primeiras plantas com flores (angiospermas) que se radiaram progressivamente durante o Cretáceo Superior até atingir os atuais níveis de dominância.

Evidências circunstanciais sugerem **polinização por insetos** em fetos com sementes (Pteridosperma). Esse tipo de polinização mostra-se bem desenvolvida nas *Bennettitales* jurássicas, associada às ordens Coleoptera (T-R) e Diptera (J-R), hoje pouco importantes. Os polinizadores dominantes, os Hymenoptera, também estavam presentes no Jurássico.

O clima do **Cretáceo** provavelmente foi quente similarmente ao do Jurássico, embora alguns cientistas tenham sugerido a existência de calota polar em ambos os polos.

O período Cretáceo apresentaria uma vegetação aberta em condições subúmidas com uma umidade não sazonal. Este quadro explicaria o declínio de certos esporos de pteridófitas (samambaias) que foram rapidamente afetados por herbáceas e arbustos oportunista. Seria coerente também com a origem de angiospermas com polinização pelo vento em regiões megatermais.

Assim, as **angiospermas** teriam se estabelecido como ervas e arbustos pioneiras em ambientes perturbados ao longo de corpos aquosos, se diversificando para formar o estrato inferior em florestas. Pequenas árvores e arbustos poderiam ter sido colonizadores suficientemente efetivos para excluir as gymnospermas das terras baixas.

O sucesso evolutivo das angiospermas foi alcançado após o Aptiano (há cerca de 85 milhões de anos) com o desenvolvimento de grãos de pólen tricolpados em associação com insetos

polinizadores avançados, além da sua adaptação à polinização eólica. Os períodos sazonalmente secos devem ter favorecido a um mecanismo de germinação mais eficiente.

No início do Cretáceo superior ocorre polinização especializada por besouros, enquanto inicia-se a especialização de polinizadores que se alimentam de néctar e grãos de pólen, como evidenciado pelo aumento no número de partes florais, verticilos e nectaríferos. Isto pode ter sido uma resposta à diversificação de Hymenoptera nectóforos e Lepidoptera, em resposta à alta porcentagem de flores epígenas.

O Terciário Inferior apresenta tipos florais e inflorescências avançadas. Flores de tamanho moderado com corolas simpétalas funeliformes e em estreitos tubos (possivelmente Rubiaceae) sugerem que lepidópteras com aparelho bucal alongado estavam bem desenvolvidos. Outras flores apresentam corolas de tubos menores e mais largos, próprio para abelhas e borboletas.

Portanto, o sucesso evolutivo das angiospermas está associado aos polinizadores que permitiram: relaxamento da auto-incompatibilidade devido ao comportamento dos polinizadores, intensificação da competição gametofítica, vantagens energéticas, fertilização em áreas de baixa densidade populacional e facilitação do processo de especiação. Além disso, outros fatores vegetacionais propriamente ditos e o relacionamento com herbívoros facilitaram a supremacia das angiospermas.

* No Cretáceo Superior desapareceram as Peltaspermales, um tipo de pteridosperma. Ocorriam ainda pequenas áreas com Bennettitales, Cycadales, Leptotrobales e Ginkgoales. As Bennettitales e as Leptotrobales são extintas no final do Cretáceo.

Na essa época, o protoatlântico não proibia as conexões biogeográficas. O registro de coníferas aumenta nos períodos de resfriamento, enquanto os pólenes de angiospermas aparecem diacronicamente, inicialmente nas baixas latitudes, passando para latitudes mais altas. As gnetaleanas se diversificam.

Na transição Cretáceo-Terciário ocorre um acréscimo na precipitação, proporcionando verdadeiras floresta multiestratificadas com árvores altas com frutificações no tronco, lianas, epífitas, estratos inferiores e plantas adaptadas a germinar mesmo na presença de sobras, como sugerem os grandes frutos (maior quantidade de substâncias de reservas).

Muitos padrões de diversificação no Terciário Inferior são explicados pelo fechamento do dossel e aumento na altura do dossel e da estratificação, com o domínio absoluto das angiospermas.

* Análise semelhante pode ser efetuada em relação à fauna. No Cretáceo Inferior existia dinossauros herbívoros generalistas, isto é, que se alimentavam de qualquer vegetação sem exercer pressão seletiva. Neste período ocorreram sementes pequenas, sugestivas de ambiente aberto. No Cretáceo Superior pequenos herbívoros se diversificam e ocorreu um concomitante aumento na porcentagem de sementes grandes, sugerindo um ambiente com bem menos luz direta. No Paleoceno e Eoceno já se encontraram mamíferos e aves com dieta exclusiva de frutas e sementes. A floresta fechada apresenta aspecto mais moderno, o que teria restringido a evolução de grandes mamíferos. A partir do Eoceno Superior há alta produtividade primária, com plantas de ciclo anual ou bianual e o desenvolvimento de gramíneas. A flora é dominada por grandes angiospermas e a fauna por pequenos herbívoros.

A flora neógena (relativa ao Terciário Superior) corresponde a um dos últimos estágios de desenvolvimento florístico antes da época atual.

A separação da Austrália da Antártica se deu na primeira metade do Paleógeno e no Eoceno, isolando a Austrália. Nova Zelândia e América do Sul tinham intercâmbio florístico através do oeste antártico. No Oligoceno essas floras começam a se diferenciar. No Neógeno cessam as comunicações florísticas devido a formação do escudo glacial antártico.

O registro de floras de diversas localidades da zona equatorial sul-americana demonstra que durante o Neógeno prevaleceram condições tropicais um pouco mais úmidas que as atuais. As variações nas floras são evidenciadas em áreas de incidência da orogenia andina, principalmente Peru e Bolívia, de forma que florestas tropicais foram substituídas pela vegetação pobre de antiplanícies ou desertas, auxiliadas pela ação de correntes marinhas dessecantes como as que ocorrem na costa peruana.

A Nova Zelândia talvez seja a única região do mundo que preserva antigas floras até os dias atuais. Pode ser explicado pela longa permanência de condições climáticas uniformes: influência marinha e junção de zonas climáticas subtropical e temperada. No começo do Neógeno já constituía uma província florística independente.

Traverse (1982) salienta a natureza não gradual das mudanças climáticas ocorridas do Mioceno Superior ao Pleistoceno. Entre as ocorrências dramáticas ocorridas no período houve o avanço das geleiras e profundas mudanças na distribuição das chuvas. De modo geral, as plantas vasculares sobreviveram a todas essas vicissitudes ao menos em nível genérico, tendo tido apenas suas distribuições grandemente afetadas. Outras ameaças foram, no entanto, mais significativas como doenças, depredação por insetos e a atuação do *Homo sapiens*.

Entre os fatores que afetaram o clima durante essa fase encontra-se a questão da elevação de cadeias montanhosas. A orogenia andina teria protegido a vegetação tropical da floresta amazônica da aridização do Cenozóico Superior, ao mesmo tempo que promoveria a expansão de estepes e vegetação desértica mais ao sul. Essa expansão foi posteriormente suplementada pelas condições áridas e frias das glaciações pleistocênicas. Os Alpes por sua vez, protegeram a vegetação mediterrânea dos glaciais nórdicos.

A mudança mais marcante no clima do Neógeno ocorreu no leste da África e na região mediterrânea, afetando dramaticamente a vegetação. A última conexão entre o Oceano Índico e o Mediterrâneo-Atlântico foi cortada por movimentos orogenéticos. Esse fato auxiliou a aridização do clima causando a substituição das florestas por estepes na África.

Com o soerguimento do Himalaia, uma ampla área ocupada pelo Tethys foi convertido em terrenos emersos. O clima tornou-se mais quente e úmido, com grande precipitação. Com a conexão terrestre, é amplamente aceito que diversos elementos tropicais úmidos sempre-verdes a semi sempre-verdes penetrassem no subcontinente indiano.

Montanhas como o Himalaia promoveram refúgio para determinados grupos vegetais. Esses grupos não teriam transposto às mudanças climáticas, como foi o caso de vegetais do continente indiano. Outro tipo de refúgio ocorreu em Madagascar, que sofreu pequeno deslocamento. A Europa, sem refúgios, teve um progressivo empobrecimento da sua flora durante esse período.

A cada período de resfriamento teve-se, de modo geral, uma expansão de desertos e de vegetação xerófila.

Durante as fases climáticas mais secas do **Quaternário**, as formações vegetais mais abertas (campo, cerrado ou caatinga) penetraram na região amazônica na forma de grandes extensões ou corredores ligando o Brasil Central às Guianas e Venezuela. Os dois tipos de vegetação: hiléia e caatinga ou cerrado constituem contrastes extremos e barreiras efetivas ao movimento dos animais da floresta (Vanzolini, 1970). Durante os intervalos mais úmidos a floresta expandiu-se, deixando os campos transformados em "ilhas" (Bigarella *et al.*, 1975).

Exercícios:

1) Por que as folhas aciculares (em forma de agulhas) das Gymnosperma apenas refletem um novo ambiente conquistado? Qual a vantagem dessas folhas teriam sobre folhas largas, por exemplo? *menor perda de H₂O p/ o ambiente, refletindo o novo ambiente conquistado*

2) Como se pode caracterizar o clima global durante o Jurássico com base principalmente na distribuição dos vegetais? *Flores e coníferas (subt) encontradas → latitude de 60° → clima quente temperado*

3) O relacionamento das angiospermas com alguns grupos de insetos é tão estreito que permite caracterizar uma coevolução entre eles. Procure explicar como os insetos influenciaram a evolução das angiospermas. *casos de tubos merais e + longos*

1. presença → sara a pouca
causa: compressão = polha

proprio pl abelhas e borboletas.

4) O que representa as florestas multiestratificadas para a evolução da flora e da fauna? Explique.

devido a um aumento na precipitação → árvores altas, ...

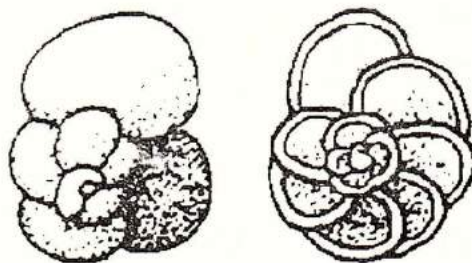
5) Que grupos ou tipos de vegetais desapareceram em grande parte por causa de mudanças climáticas. (?) Czekanowskiales e Gnetales

6) Além das mudanças climáticas, a distribuição dos vegetais foi bastante afetada por mudanças paleogeográficas. Caracterize algumas dessas mudanças.

7) Geralmente estuda-se a influência que a flora exerce sobre a distribuição da fauna. Procure, no entanto, imaginar que tipo de influência os herbívoros possam exercer sobre a flora. Para lhe auxiliar, tenha em mente que o Mesozóico foi caracterizado pelo domínio das gymnospermas e dos répteis e o Cenozóico pelo domínio das angiospermas e dos mamíferos.

exemplo: gymnospermas (coníferas)

→ muitos, de cá



16. Zoneamento bioestratigráfico: o exemplo dos foraminíferos

Este exercício envolve a utilização de **foraminíferos planctônicos** para o **zoneamento bioestratigráfico** de um poço perfurado por uma empresa petrolífera em uma das bacias sedimentares da margem continental do Brasil.

Os foraminíferos são protozoários que surgiram no Cambriano (Era Paleozóica), dotados de testas simples ou complexas, muitas das quais são calcárias, podendo, portanto, fossilizar-se. Os foraminíferos de **hábito planctônico** (com testas globosas e leves, aptas à flutuação) surgiram no Jurássico e diversificaram-se grandemente durante as eras Mesozóica e Cenozóica. Tendo em vista serem pequenos (microfósseis), abundantes e amplamente distribuídos, associadamente à sua rápida evolução, foraminíferos planctônicos são microfósseis ideais para a correlação e datação de rochas sedimentares do Mesozóico e Cenozóico. Eles são grandemente utilizados para esse fim pelas empresas de petróleo. Refira-se ao capítulo 3 sobre foraminíferos fósseis.

Dados

A lista abaixo corresponde às assembléias de foraminíferos **planctônicos** fósseis, identificados por um paleontólogo em amostras extraídas de perfuração feita através de uma sucessão de rochas sedimentares da bacia do Rio de Janeiro (poço 3-NA-3-RJS). Os números entre parênteses correspondem às profundidades em metros, abaixo do nível do mar das amostras (fragmentos de rochas retiradas espaçadamente do poço, durante a sondagem).

Amostra nº 14 (792-810 m) arenito siltico

Espécies:

Globigerinoides sicanus
Globigerinoides quadrilobatus triloba
Globigerinoides obliquus
Globorotalia crassaformis
Globorotalia truncatulinoides
Globorotalia siakensis
Globigeirinita unicava
Globigerina bulloides

Amostra nº 15 (828 - 846 m) siltito argiloso

Espécies:

Globigerinoides quadrilobatus triloba
Globigerinoides obliquus
Globigerinoides sicanus
Globorotalia truncatulinoides
Globorotalia tumida
Globorotalia crassaformis
Globorotalia siakensis
Orbulina universa
Globoquadrina altispira globularis
Globoquadrina baroemouensis
Globigerina dutertrei
Globigerina bulloides

Amostra nº 16 (864 - 882m) arenito siltico

Espécies:

Orbulina universa
Globorotalia crassaformis
Globorotalia siakensis
Globigerina dutertrei
Globoquadrina altispira globularis
Globigerina bulloides
Globigerinoides sicanus
Globigerinoides obliquus

Amostra nº 17 (900 - 918m) siltito argiloso

Espécies:

Globigerinoides quadrilobatus triloba
Globigerinoides sicanus
Globigerinoides obliquus
Globoquadrina altispira globularis
Globorotalia tumida

Procedimento:

Globorotalia siakensis
Globorotalia crassaformis
Orbulina universa
Globigeirinita unicava

Amostras nº 18 (936 - 954m) arenito fino

Espécies:

Globoquadrina altispira
Orbulina universa
Globogerinoides primordius
Globorotalia scitula
Globorotalia siakensis

Amostras nº 19 (972 - 990m) arenito siltico

Espécies

Globoquadrina altispira globularis
Orbulina universa
Globorotalia siakensis
Globigerinoides quadrilobatus triloba
Globigerinoides ruber
Globigerinoides primordius

Amostra nº 20 (1008 - 1026m) Arenito siltico

Espécies: calcífero (marga)

Orbulina universa
Globigerina angiporoides
Globigerina ampliapertura
Globigerina tripartita
Globigerina sellii
Globigerinoides quadrilobatus triloba
Globigerinoides obliquus

Amostras nº 21 (1044 - 1062m) siltito argiloso

Espécies:

Orbulina universa
Globigerinoides quadrilobatus triloba
Globigerina ampliapertura

Amostras nº 22 (1088 - 1098m) siltito argiloso

Espécies:

Globigerinoides quadrilobatus triloba
Orbulina universa

1) Organize uma tabela com a distribuição estratigráfica vertical dos foraminíferos identificados e das rochas (utilize o padrão usual para litologia) ao longo do poço utilizando o papel quadriculado fornecido, da seguinte maneira (Figura 16.1):

| litologia | zonas | idade | Profundidade | amostra | Globigerinoides | VERTICAIS |
|-----------|-------|-------|--------------|---------|-----------------|-----------|
| G | R | A | 792 | A | D | A |
| R | | N | 810 | 14 | | |
| A | | T | 828 | | | |
| N | | I | 846 | 15 | | |
| I | | G | 864 | | | |
| T | | A | 882 | 16 | | |
| O | S | S | A | D | A | S |

Figura 16.1. Exemplo de uma tabela mostrando distribuição vertical de *Globigerinoides*.

Note que as amostras foram coletadas **de cima para baixo**, à medida que a sonda ia atravessando as diversas camadas de rocha (Figura 16.2).

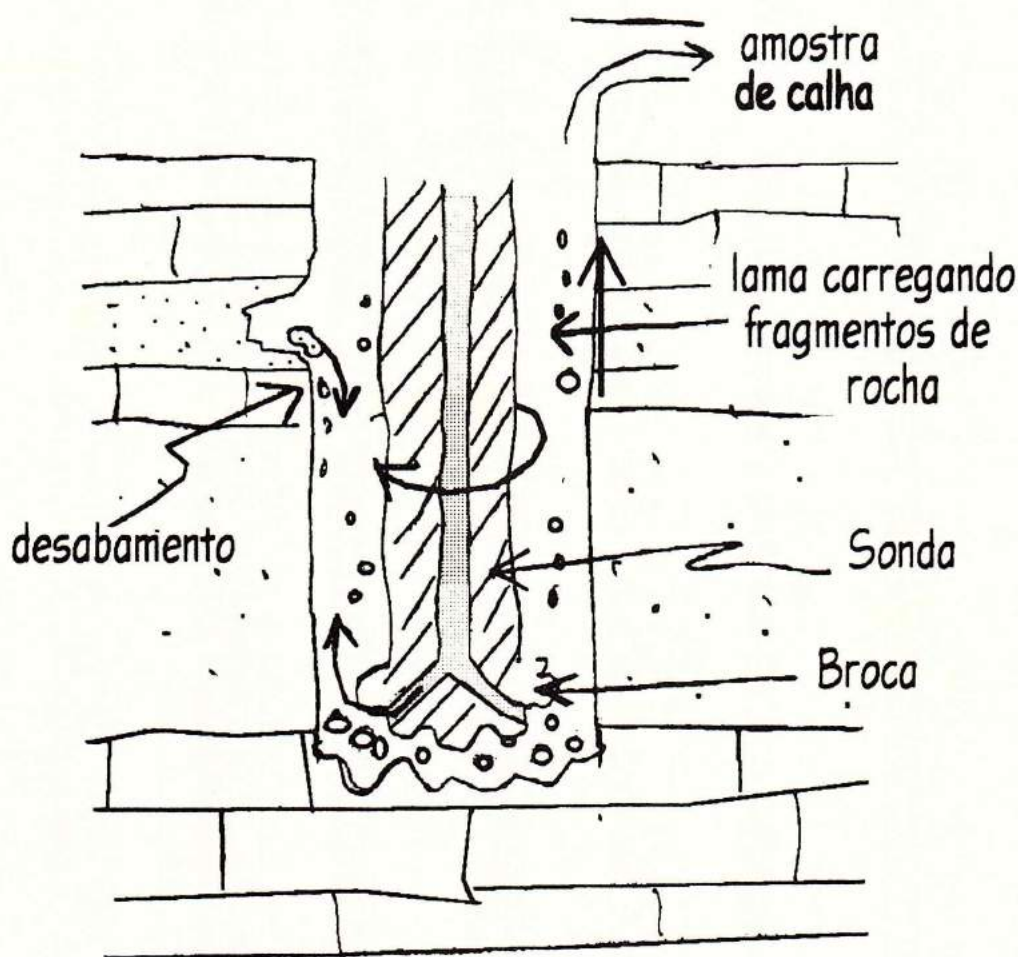


Figura 16.2. Diagrama de uma sonda produzindo amostras de calha.

Por causa da possibilidade de desabamento de rochas das paredes do poço e conseqüente **mistura** com fragmentos da parte inferior, o registro do **primeiro aparecimento de cima para baixo** das espécies é mais confiável (corresponde ao **último registro estratigráfico**). Qual é o significado paleontológico deste último registro? _____

Marque a posição de cada espécie correspondente à posição da respectiva amostra. Estas correspondem a um intervalo de amostragem. Note ainda que a amostragem é **descontínua**, isto é, há um espaçamento irregular entre as amostras, ocorrendo intervalos não amostrados. A ocorrência das espécies entre intervalos amostrados pode ser, portanto, somente **interpolado** (use uma linha pontilhada).

2) Após registrar todas as ocorrências você está preparado para subdividir o intervalo amostrado em **zonas bioestratigráficas**, pacotes de sedimentos caracterizados por seu conteúdo fóssilífero.

Há várias técnicas para essa marcação, o que define o **tipo de zona** utilizado. Em nosso caso, como vimos, usaremos os **primeiros aparecimentos** das espécies no poço.

Trace, portanto, linhas horizontais ligando níveis (amostras) nos quais duas ou mais espécies novas foram identificadas nas amostras, de cima para baixo. A caracterização das zonas bioestratigráficas depende do reconhecimento de **fósseis-guias** entre as espécies identificadas (espécies que têm ampla distribuição geográfica, mas tiveram curta duração no tempo geológico).

Tabela 1 lista as espécies de foraminíferos planctônicos que são considerados **fósseis-guias** na bioestratigrafia do Cenozóico das bacias marginais do Brasil (Viviers, 1982). Quais dessas espécies ocorrem na tabela que você montou? Marque essas espécies em sua tabela com lápis de cor. Compare a distribuição dessas espécies no poço 3-NA-3RJS com a Tabela 1.

- a) Quais são as espécies-guias que aparecem na mesma ordem e posição relativa tanto no poço como na Tabela 1? _____
- b) Quais não aparecem na mesma ordem? _____
- c) Por que? (Dê pelo menos duas explicações plausíveis). _____
- d) Trace uma linha vermelha no topo dos níveis que você acha que são bem delimitados. Qual é a idade (Ma) destes limites de acordo com Tabela 1? Indique isto na sua tabela. Em quantas zonas seu poço ficou dividido? Designe estas zonas com letras (A, B, C, etc.), da mais velha a mais nova.
- e) Suas zonas correspondem a quais zonas da Tabela 1? _____
- f) Qual é a idade geológica (época) de cada zona? _____
- g) Qual foi a taxa de acumulação de sedimento em cm/1000 anos durante a sedimentação deste poço? _____

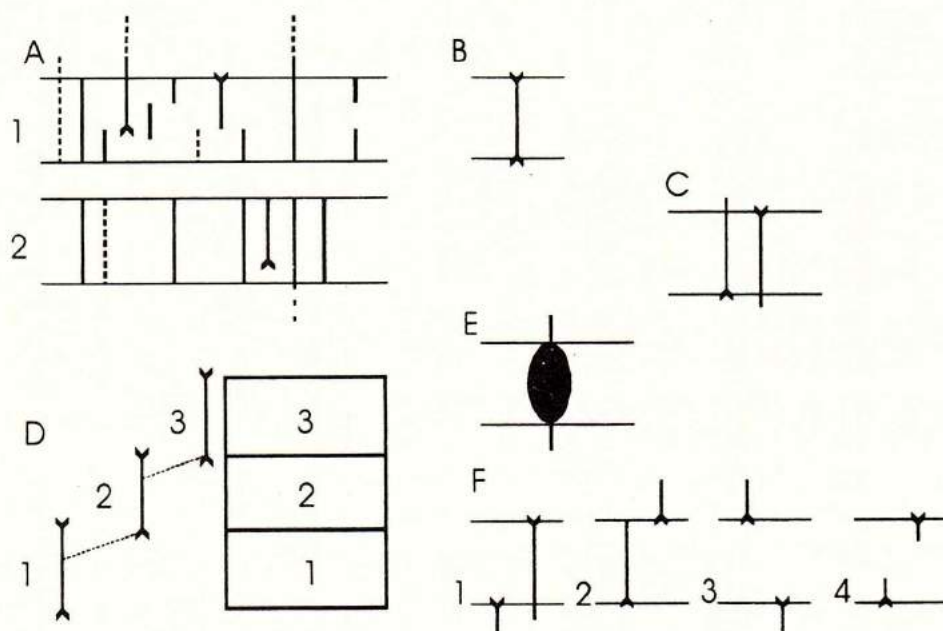


Figura 16.3. Tipos de zonas bioestratigráficas: A: Zona de associação; B: Zona de amplitude; C: Zona de amplitude concorrente/coincidente; D: Filozona; E: Zona de apogeu; F: Zona de intervalo.

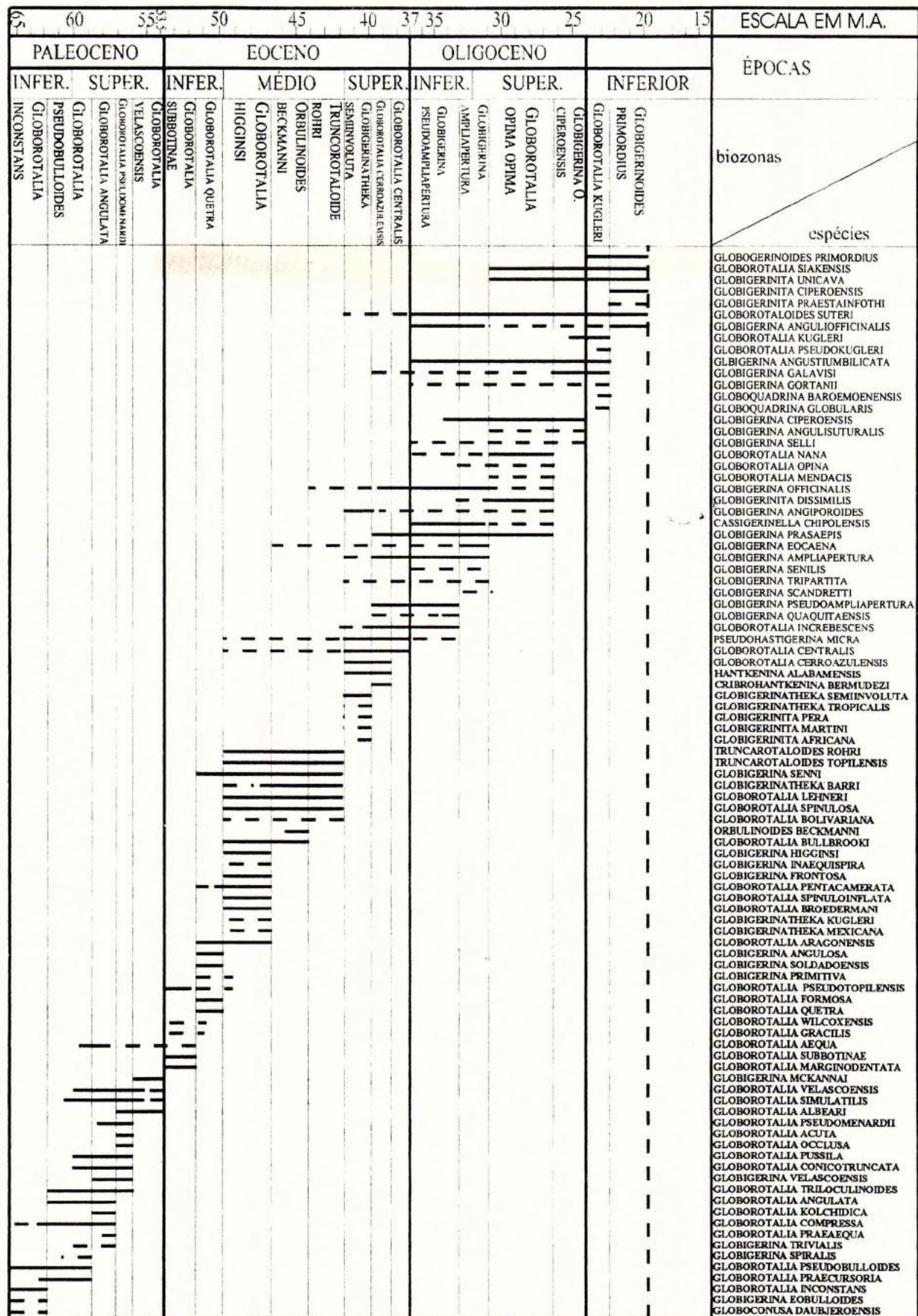


Tabela 16.1. Espécies de foraminíferos planctônicos considerados como fósseis-guias do Cenozóico das bacias marginais do Brasil. (Viviers, 1982).



17. Correlação e datação das rochas sedimentares

Introdução

Um dos principais objetivos dos estudos geológicos e paleontológicos consiste na reconstituição da **história geológica** da Terra. Para atingir este objetivo o geólogo/paleontólogo tem que “ler” e “interpretar” as evidências registradas nas rochas da crosta da Terra. Essas evidências incluem os **tipos e composição** das rochas (**ígneas, metamórficas e sedimentares**), as **estruturas e texturas** nelas preservadas, como também os **fósseis** que ocorrem nas rochas sedimentares. A reconstrução da história geológica implica colocar em **ordem temporal** os eventos geológicos e biológicos interpretados, isto é, estabelecer a **sucessão histórica** dos acontecimentos.

Alguns conceitos relacionados com a execução desse trabalho já foram discutidos anteriormente. Outros elementos importantes foram introduzidos na aula teórica e serão utilizados no presente exercício. Os principais são os seguintes:

- Princípio da superposição (e outros devidos a Steno, sec. XVII).
- Relações de contato entre corpos rochosos.
- Correlação de rochas
- Idades relativa e absoluta
- Técnicas de determinação de idades absolutas.
- A sucessão fóssilífera como resultado da evolução
- Uso dos fósseis em correlação.
- Fóssil-guia.
- Zona bioestratigráfica.

Exercícios:

Parte 1) Superposição e relações de contato

Figura 17.1 exhibe o perfil geológico do Estado de São Paulo, mostrando corpos rochosos ígneos, metamórficos e sedimentares e suas relações de contato. Com base no **princípio da superposição** e nas **relações de contato** entre as rochas, estabeleça (na próxima página) a sequência de eventos geológicos representados. Os eventos incluem a formação de diversos **tipos de rocha** (ígneas, metamórficas, sedimentares), de **estruturas** (falhas, dobras) e **episódios erosivos**. Como é usual em geologia, os eventos devem ser listados do mais antigo para o mais recente.

o método de correlação finca

- camada guia
- junção dentro de uma sequência
- geográfica
- seq. trans. e regress.

o importância da correlação em geologia
e correlação temporal

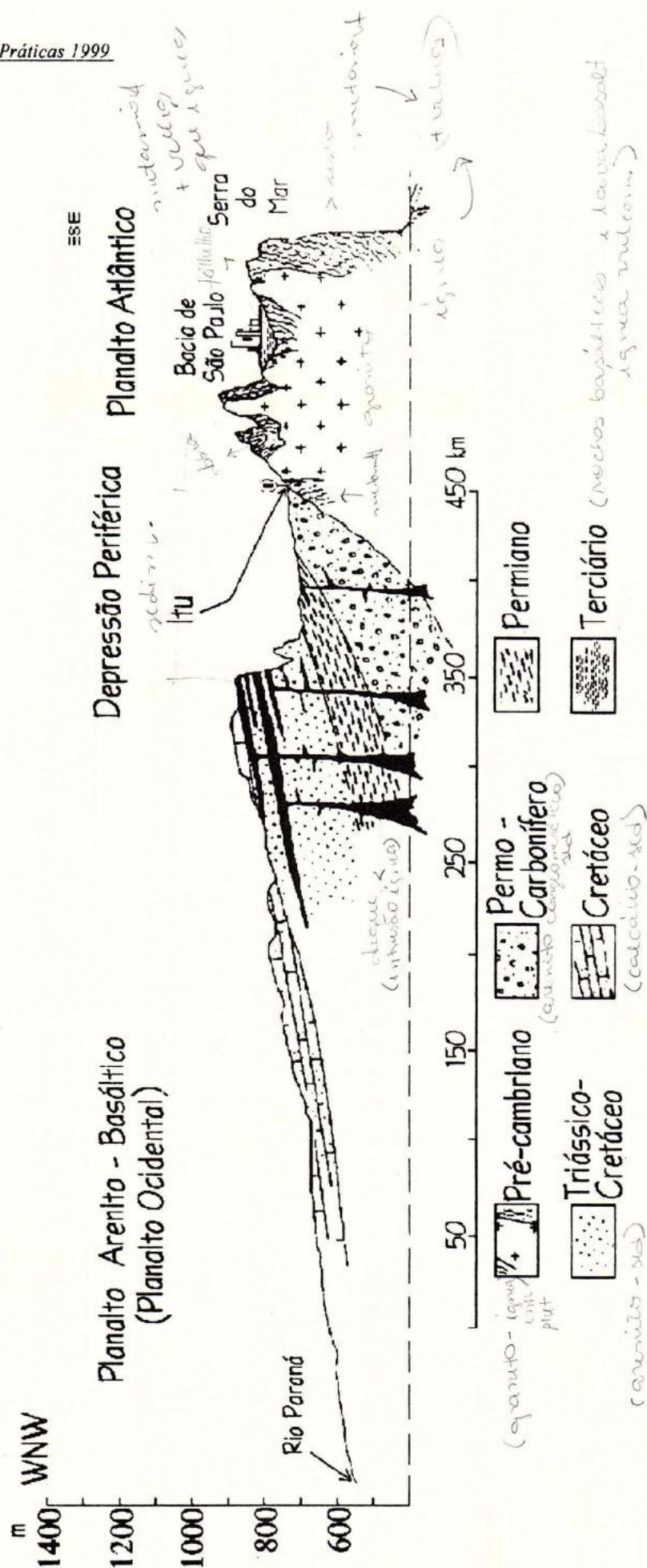


Figura 17.1. Perfil geológico do Estado de São Paulo, Bacia do Paraná (Segundo Ab'Saber, 1956).

Parte2) Correlação litológica

- × a) Examine a sucessão de rochas das duas seções (Fig.: 2) e proponha a correlação entre as diversas litologias. As correlações podem ser indicadas com linhas tracejadas ligando os topos e as bases de camadas equivalentes.

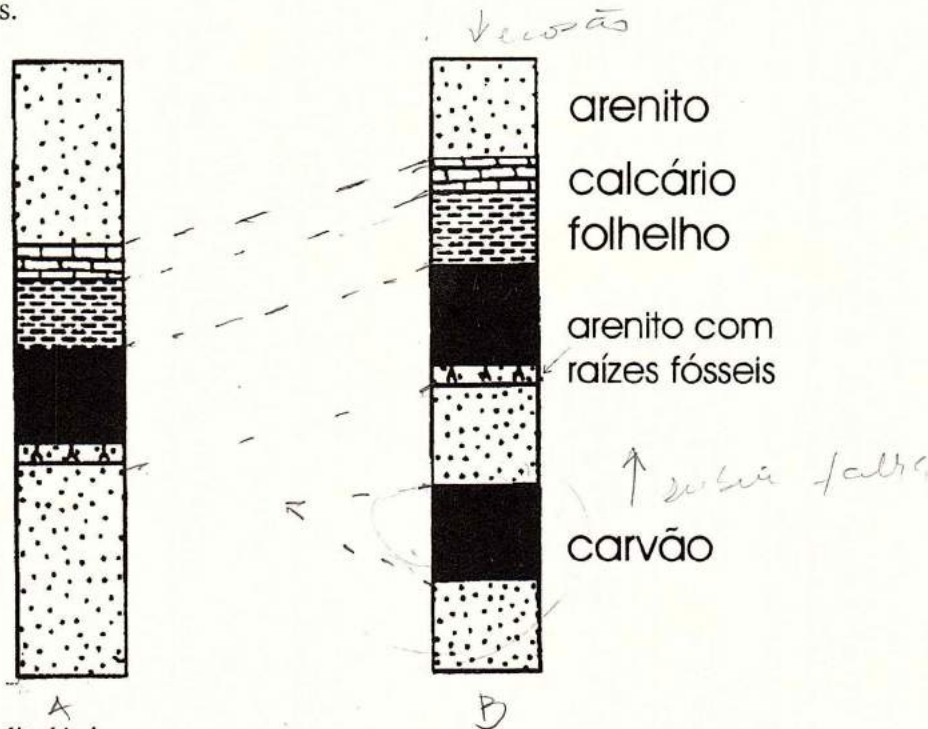


Figura 17.2. Seções litológicas.

- b) Todas as camadas das duas seções podem ser correlacionadas? em todas Explique a sua resposta. carvão da seção B de acurrua e desaparece

Parte3) Como resultado do acúmulo do conhecimento sobre a distribuição estratigráfica dos fósseis, os paleontólogos podem identificar os intervalos de tempo durante os quais os principais grupos de plantas e animais viveram. Desse modo, foi possível determinar os fósseis típicos dos diversos intervalos geológicos nos quais se divide a história da Terra (por exemplo: eras Paleozóica, Mesozóica, Cenozóica, períodos Cambriano, Devoniano, etc.).

Este conhecimento permite ao paleontólogo coletar fósseis de um afloramento fossilífero isolado e **correlacioná-lo** com uma **coluna geológica padrão**, e, com isso, determinar a idade dos fósseis. No diagrama (Figura 17.3), as barras verticais correspondem à distribuição geológica conhecida dos dinossauros e angiospermas.

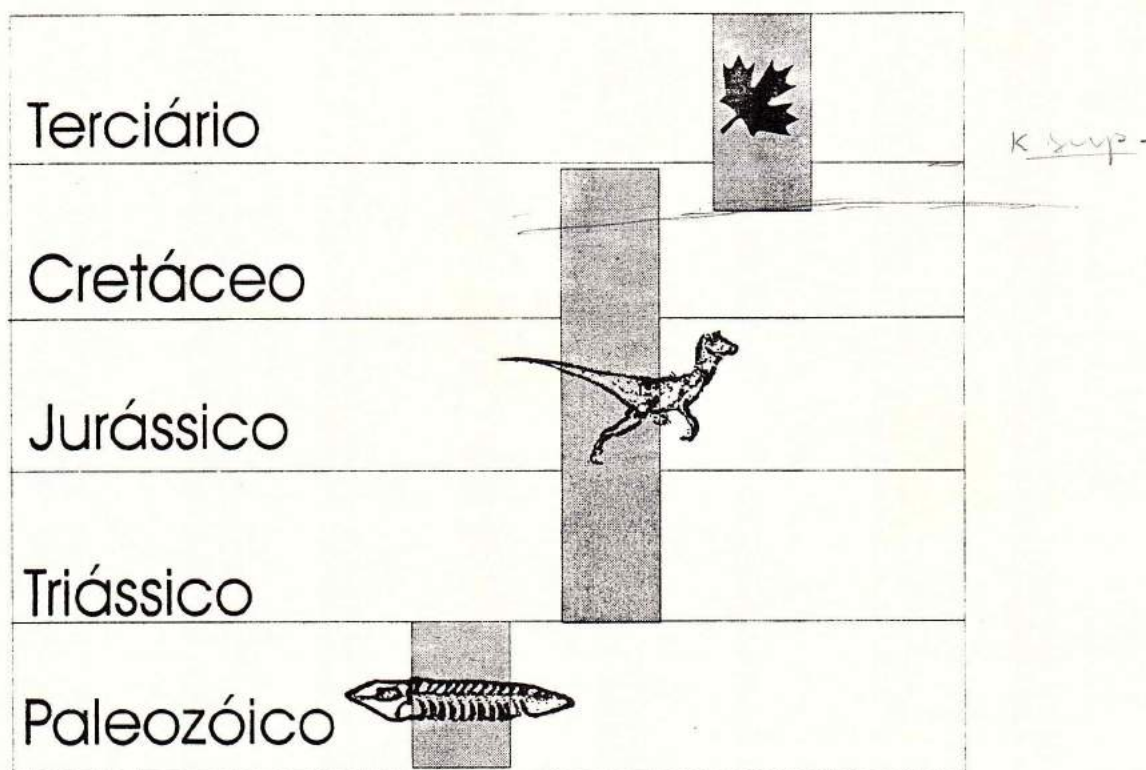


Figura 17.3. Distribuição geológica dos dinossauros e angiospermas.

- a) Qual a idade de sedimentos contendo angiospermas e ossos de dinossauros? ang → Terciário
ossos → Jurássico
- b) Que tipo de idade é essa? Absoluta ou relativa? relativa

Parte 4) Estude agora as Figs. 17.4 e 17.5 abaixo. A Fig. 17.4 representa a distribuição geológica conhecida dos amonóides, grupo de cefalópodes (moluscos) extintos. Um aspecto conhecido da evolução dos cefalópodes diz respeito às mudanças na forma e complexidade das **linhas de sutura** (contato entre os septos internos e as paredes das conchas).

Os primeiros amonóides surgiram no Devoniano e tinham **sutura goniática** (lobos e selas lisas). No Triássico, os lobos tornaram-se crenulados caracterizando a **sutura ceratítica**. Finalmente, no Jurássico surgiram os amonóides com **sutura amonítica** (lobos e selas crenulados, mais complexos). Note que há certa superposição na distribuição geológica dos tipos de sutura.

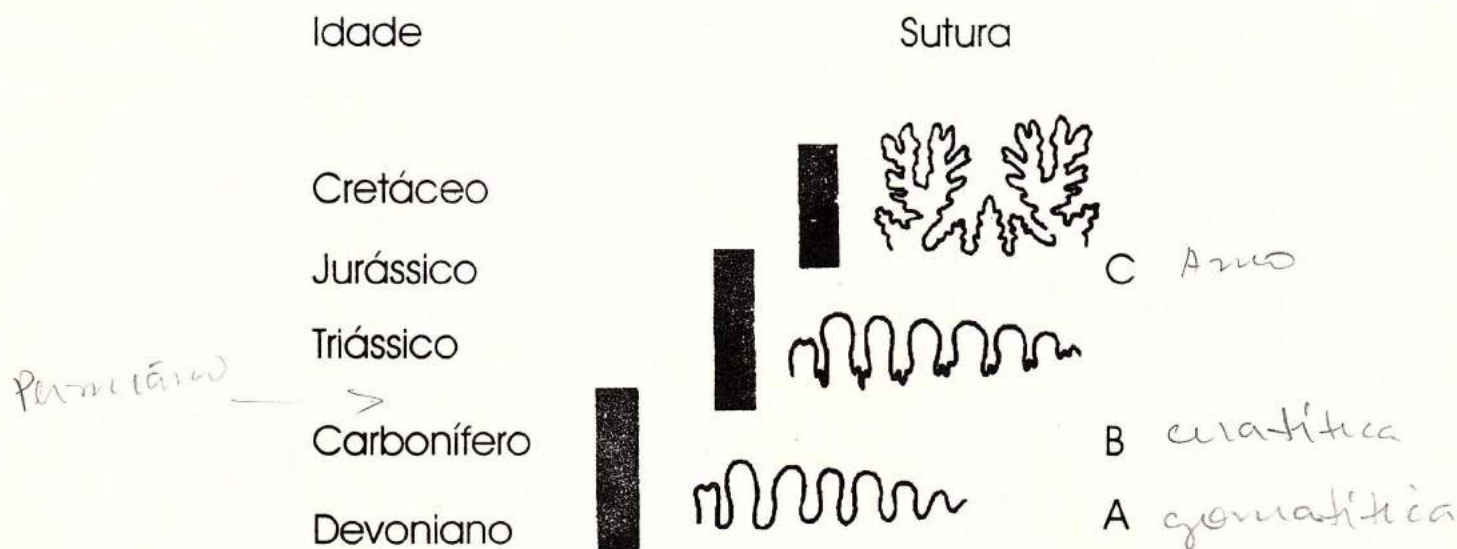


Figura 17.4. Distribuição geológica dos cefalópodes amonóides, representados pelos padrões característicos de suas linhas de sutura.

a) Examine os fósseis de amonóides da bandeja e descreva o(s) processo(s) de preservação desses fósseis. molde interno - conservação parcial

b) Determine os tipos de suturas comparando-as com os gráficos. Qual é a idade dos fósseis?

c) Na Fig. 17.5, as linhas verticais ao lado das colunas representam a distribuição vertical de quatro espécies de amonóides, com suturas iguais aos dos fósseis examinados (Fig. A), do seguinte modo: 1=A, 2=B, 3 e 4=C. Qual é a idade indicada por cada uma das espécies (1, 2, 3 e 4)?

1: devon - carb D → P
 2: triássico - jur P → J
 3: cretáceo J → K
 4: cretáceo J → K

x d) Note que a rocha inferior em cada coluna (Fig. 17.5) é um xisto (rocha metamórfica) do Pré-Cambriano. Que tipo de superfície de contato existe entre a sequência de rochas sedimentares e o xisto? disc. erosiva (superfície erosiva)

e) Os intervalos caracterizados por cada uma das espécies de amonóides poderia corresponder a um tipo de **zona bioestratigráfica**. Ligue com **linhas pontilhadas** os limites entre as zonas, e correlacione através de **linhas cheias** as diferentes camadas de rochas. Veja que os limites entre as zonas nem sempre coincidem com os limites entre litologias diferentes. Por que? porque a rocha pode ter idades diferentes em diferentes lugares

f) Os dois tipos de limites são paralelos entre si? n

x g) Que tipo de acontecimento geológico poderia explicar essa situação? migração lateral de ambientes sedimentares

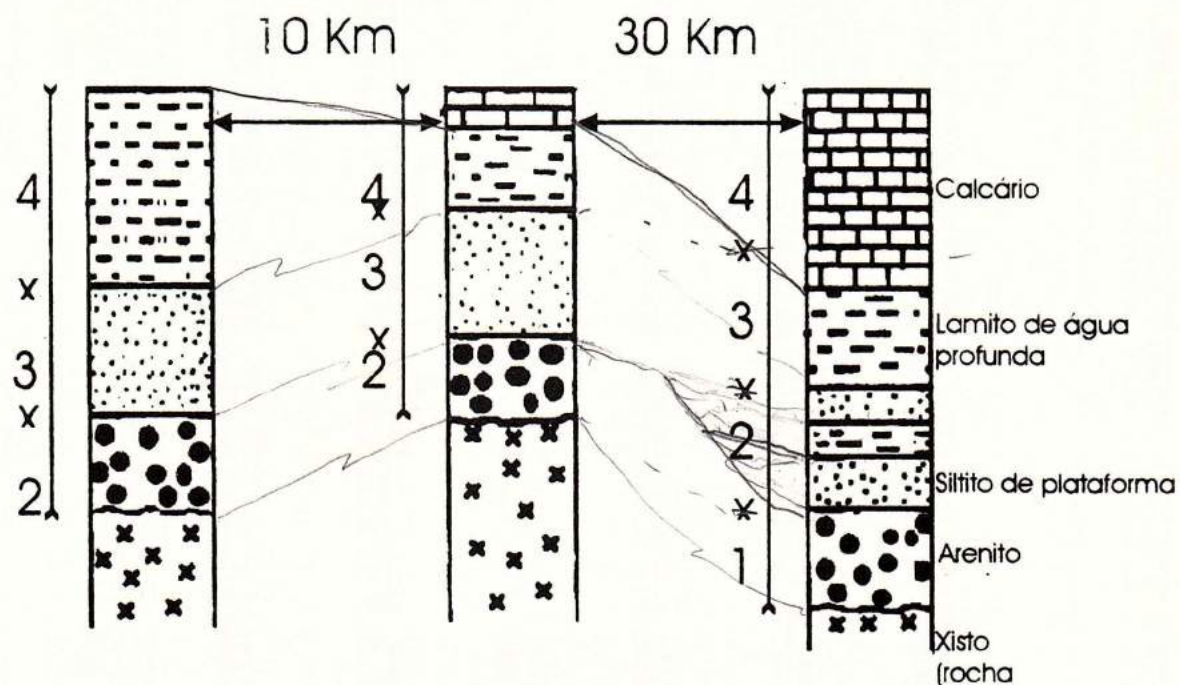
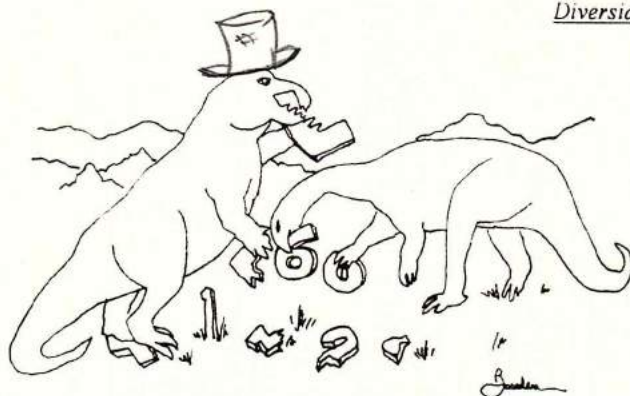


Figura 17.5. Seções geológicas mostrando biozonas baseadas na distribuição de amonóides.



18. Diversidade morfológica em espécies paleontológicas

Introdução

A maioria dos biólogos considera que a espécie é uma categoria taxonômica real e útil no estudo evolutivo. De acordo com a célebre definição de Mayr (1942): "espécies são grupos de populações reais ou potencialmente inter cruzantes que estão isoladas reprodutivamente dos outros grupos". Como vemos, o isolamento reprodutivo é um conceito essencial para a identificação das espécies atuais, embora não aplicável em todos os organismos, como, por exemplo, em organismos de reprodução assexuada.

O teste do isolamento reprodutivo não pode, obviamente, ser utilizado na definição de espécies, de organismos fósseis. As **espécies fósseis** são, portanto, reconhecidas com base nas diferenças morfológicas. Esse critério é aplicado no caso de organismos que viveram contemporaneamente (ocorrem na mesma camada ou no mesmo plano de estratificação) ou que se sucederam estratigraficamente (isto é, ao longo de seqüências de rochas), as chamadas **espécies cronológicas**.

Espécies atuais apresentam diversos tipos de variação morfológica, às vezes dentro da mesma espécie (**variações intraespecíficas**). Dimorfismo sexual e variações ontogenéticas (ligadas ao crescimento), geográfica e ecológica são exemplos disso. Atualisticamente, devemos esperar estes mesmos fenômenos entre os organismos fósseis. Em aulas anteriores, foram mencionados exemplos de diferenças morfológicas atribuídos à alternância de gerações sexuadas e assexuadas, nos foraminíferos e cnidários, e ao crescimento dos trilobites (fase protaspis, meraspis e holaspis).

No presente exercício, iremos examinar e caracterizar a variação morfológica que ocorre em um conjunto de fósseis atribuídos a uma espécie de braquiópode articulado, chamada *Mucrospirifer thedfordensis*, comum em rochas sedimentares marinhas do Devoniano da América do Norte.

O estudo será feito em 50 (cinquenta) espécimes representados por moldes de gesso da valva dorsal (braquial) de *Mucrospirifer*.

Os fósseis foram coletados de um mesmo plano de estratificação da rocha e, portanto, devem ter vivido praticamente no mesmo tempo e no mesmo ambiente de fundo de mar do Devoniano.

Antes de iniciar o exame, estude a Figura 18.1 para rememorar os termos usados para descrever a morfologia dos braquiópodes

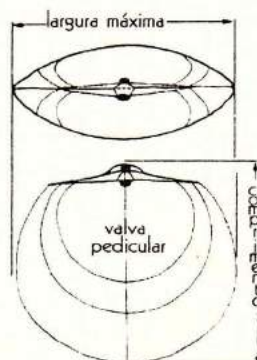


Figura 18.1. Morfologia básica e dimensões de um braquiópode articulado.

Exercícios:**Parte1) Avaliação visual da variação**

a) Durante 10 segundos de observação, procure identificar variações na morfologia dos fósseis. Que variações você consegue detectar? _____

b) Que variações adicionais você consegue reconhecer após 3 minutos de observação? _____

Parte 2) Avaliação quantitativa da variação

Uma maneira mais precisa de avaliar a variação morfológica consiste na análise quantitativa dos caracteres da concha (**análise biométrica**). Para tanto, seria necessário realizar cuidadosamente uma série de medidas ou parâmetros. Os caracteres que seriam medidos no presente caso são: **comprimento, largura, número de costelas**. Para pouparmos tempo, estas medidas já foram feitas e os resultados tabelados na Tabela 18.1 no fim do exercício.

Parte3) Utilização dos dados em gráficos de dispersão e histogramas.

a) Examine os dados na Tabela 1 e no papel milimetrado fornecido construa histogramas do comprimento, largura e número de costelas. Em cada gráfico coloque esses parâmetros na abcissa (eixo x) e a frequência na ordenada (eixo y). Veja os exemplos em Fig. 18.2B e 2C. Agrupe os dados em classes conforme a tabela abaixo.

| Comprimento (mm) | Largura (mm) | Nº de costelas |
|------------------|--------------|----------------|
| 11-12 | 19,5-24,5 | 15-16 |
| 13-14 | 25-29,5 | 17-18 |
| 15-16 | 30-34,5 | 19-20 |
| 17-18 | 35-39,5 | 21-22 |
| 19-20 | 40-44,5 | 23-24 |
| 21-22 | 45-49,5 | 25-26 |
| 23-24 | | 27-28 |

Evidentemente, outras classes de tamanho poderão ser usadas, resultando em gráficos ligeiramente diferentes.

b) Construa um gráfico de dispersão de largura X comprimento, conforme o modelo em Fig. 18.2A.

Parte 4) Análise dos gráficos**1. Histogramas (gráficos de frequência).**

Examine agora os histogramas e responda:

a) Descreva a distribuição dos dados nestes histogramas. _____

b) A forma dos histogramas mostra irregularidades? _____ Por que? _____

c) Da sua leitura destes histogramas, o que você pode interpretar sobre a variação das características morfológicas de *Mucrospirifer thedfordensis*? _____

d) Compare seus resultados (de uma espécie paleontológica) com os histogramas de dispersão em Figs. 18.2B e C referentes a uma espécie biológica atual.

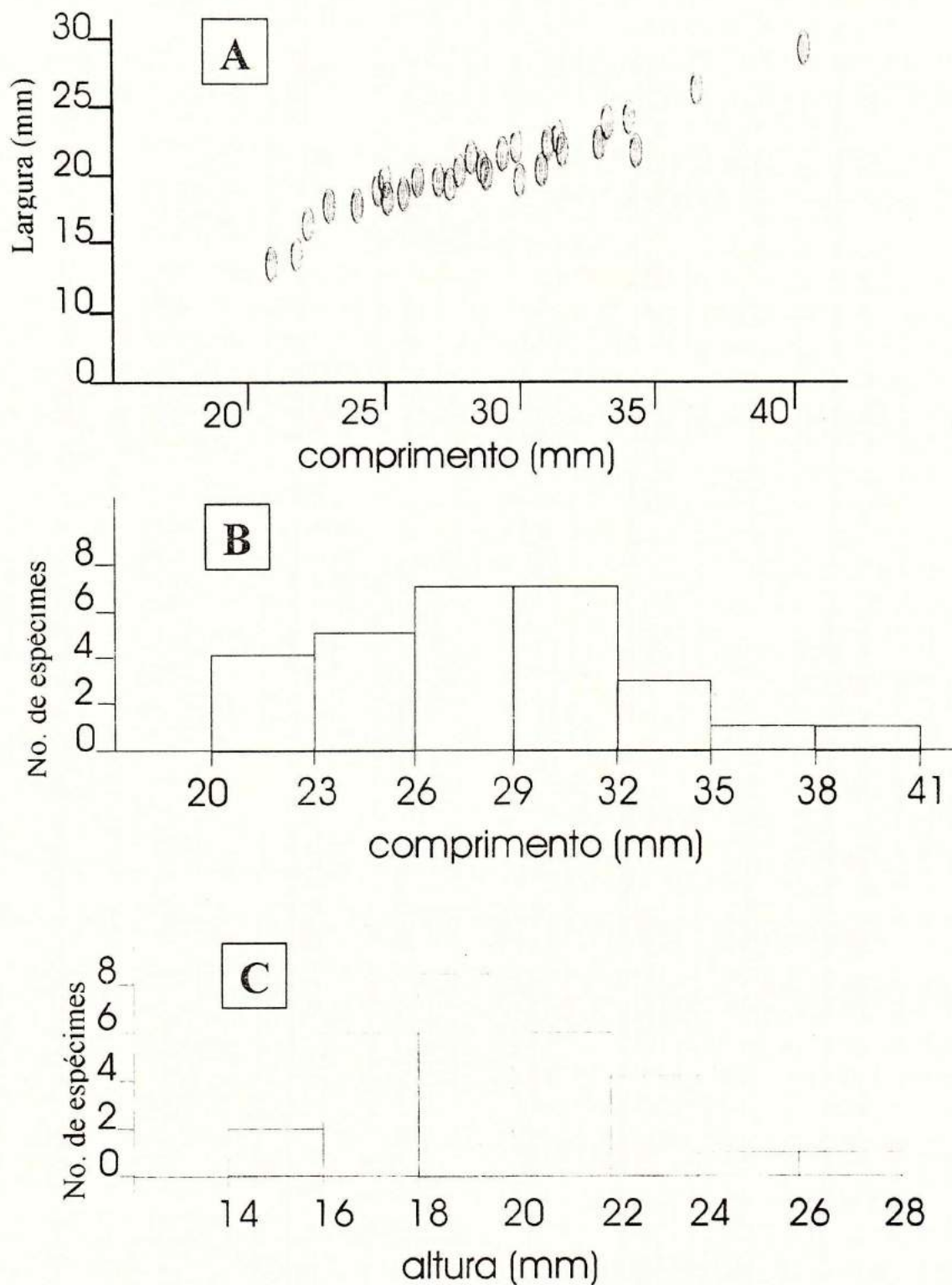


Figura 18.2. A. Gráfico de dispersão comprimento/largura (mm) de um molusco bivalve atual *Tivella iheringi* (Ubatuba), um espécie biológica atual. B. Histograma de distribuição de classes de comprimento (mm); C. Histograma de distribuição de classes de altura (mm).

Lembre-se de que características que definem certas categorias taxonômicas podem não ser as mesmas em espécies pertencentes a táxons diferentes. Por exemplo: o número e forma dos dentes são muito característicos de táxons de mamíferos atuais, mas variam intraespecificamente nas espécies de muitos outros vertebrados.

2. Gráfico de dispersão (ou gráfico de correlação)

Examine o gráfico agora e responda:

- a) Qual é o padrão de distribuição dos pontos no gráfico de dispersão? _____

- b) O padrão pode ser melhor visualizado se intercalarmos uma linha reta representando a distribuição geral ou se circunscrevermos os pontos? A variação é contínua ou separada em conjuntos discretos de pontos? O que isto significa em termos da biologia dos organismos? _____

- c) O que isto significa quanto à variação do comprimento em relação à largura dos espécimes examinados? _____

- d) Compare o gráfico de dispersão de *Mucrospirifer thedfordensis*, uma espécie paleontológica, com o obtido para a espécie taxonômica atual (Fig. 18.2A). _____

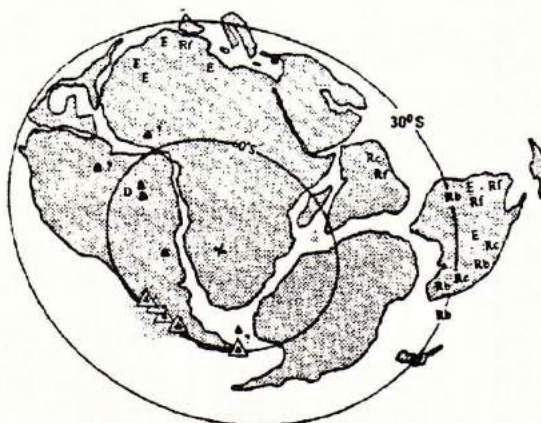
Parte 5) Conclusões

a) Levando em conta todos os resultados, você considera que a variação das características morfológicas dos espécimes do fóssil *Mucrospirifer thedfordensis* é compatível com a sua identificação como uma única espécie biológica de braquiópode? Justifique sua resposta. _____

b) Que outras informações você procuraria para testar sua hipótese? _____

Tabela 18.1. Dados relativos aos espécimes de *M. thedfordensis* da amostra.

| no. do espécime | largura (mm) | comprimento (mm) | costelas (n) |
|-----------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | 22 | 11 | 20 |
| 2 | 24 | 14 | 22 |
| 3 | 32 | 15 | 22 |
| 4 | 26 | 14 | 22 |
| 5 | 22 | 12 | 20 |
| 6 | 26 | 13 | 18 |
| 7 | 24 | 12 | 20 |
| 8 | 24 | 13 | 16 |
| 9 | 30 | 14 | 18 |
| 10 | 26 | 14 | 24 |
| 11 | 24 | 13 | 18 |
| 12 | 28 | 14 | 24 |
| 13 | 34 | 15 | 20 |
| 14 | 30 | 14 | 24 |
| 15 | 32 | 14 | 22 |
| 16 | 38 | 15 | 20 |
| 17 | 46 | 17 | 26 |
| 18 | 40 | 12 | 26 |
| 19 | 30 | 18 | 22 |
| 20 | 34 | 14 | 15 |
| 21 | 38 | 18 | 22 |
| 22 | 30 | 15 | 24 |
| 23 | 26 | 14 | 18 |
| 24 | 32 | 13 | 18 |
| 25 | 34 | 15 | 20 |
| 26 | 30 | 17 | 20 |
| 27 | 24 | 13 | 18 |
| 28 | 38 | 17 | 22 |
| 29 | 30 | 14 | 20 |
| 30 | 30 | 15 | 22 |
| 31 | 32 | 14 | 22 |
| 32 | 38 | 15 | 22 |
| 33 | 34 | 15 | 24 |
| 34 | 30 | 15 | 20 |
| 35 | 40 | 19 | 26 |
| 36 | 30 | 12 | 18 |
| 37 | 44 | 17 | 28 |
| 38 | 36 | 16 | 24 |
| 39 | 40 | 15 | 18 |
| 40 | 26 | 12 | 20 |
| 41 | 32 | 15 | 22 |
| 42 | 28 | 13 | 20 |
| 43 | 30 | 16 | 26 |
| 44 | 26 | 13 | 18 |
| 45 | 34 | 16 | 20 |
| 46 | 40 | 15 | 22 |
| 47 | 44 | 20 | 22 |
| 48 | 30 | 16 | 20 |
| 49 | 28 | 13 | 20 |
| 50 | 44 | 18 | 24 |



19. Paleogeografia e Paleobiogeografia

Introdução

Por causa do caráter fragmentário e residual do registro fóssil, a interpretação dos organismos fósseis quanto aos seus hábitos e habitats de vida só pode ser feita parcialmente. A mesma limitação ocorre quando se pretende reconstituir os paleoecossistemas, os paleoambientes, a paleogeografia e os paleoclimas da Terra usando dados obtidos dos fósseis.

Conforme vimos anteriormente, a ação dos processos tafonômicos (bioestratinômicos e diagenéticos) e intempéricos resulta em perda de informação após a morte dos organismos. O diagrama abaixo sintetiza esse conceito.

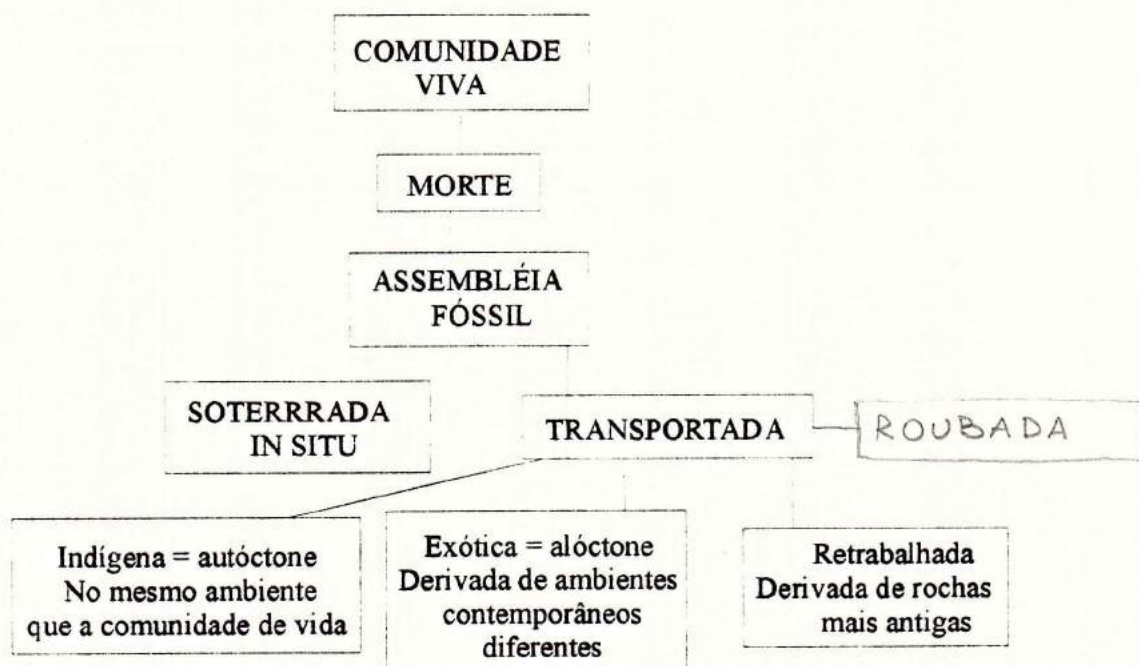


Figura 19. 1. Sequência de modificações que podem afetar o registro fóssil.

Este exercício envolve a utilização dos fósseis para obter dados paleoecológicos, paleoambientais, paleogeográficos e paleoclimáticos.

Hábitos de vida

Várias abordagens são comumente usadas para interpretar este aspecto da paleobiologia dos organismos.

- Preservação em posição de vida: evidências diretas da relação organismo/sedimento;
- Homologia: comparação com espécies atuais parecidos;

- c) Morfologia funcional: várias técnicas permitem interpretar a maneira de funcionamento de organismos fósseis
- d) Associação íntima entre espécies: associação física entre espécies fósseis sugere hábitos de vida (p. ex., epibiontes, epífitas etc.)
- e) Evidências de atividades, vestígios (pistas, pegadas, etc.) podem informar sobre comportamento de espécies fósseis.

Paleohabitats/paleoambientes

Dois conceitos são fundamentais nas **interpretações** paleoecológicas: a) princípio do atualismo; e b) natureza, no geral, adaptativa da evolução.

Paleossinecologia

A interpretação de comunidades fósseis ou assembléias de vida (Fig. 19.1) é outro aspecto importante da paleoecologia. Conforme pode ser visto no quadro, vários eventos geológicos (tafonômicos) podem alterar a qualidade das assembléias fósseis disponíveis para estudo. Desse modo, muitas informações podem faltar, como, por exemplo, as referentes a espécies de corpo "mole" (sem carapaça ou concha), que não se fossilizaram, mas que podem ter importância na reconstituição da cadeia alimentar do paleoecossistema.

Paleoambientes e paleogeografia

A distribuição geográfica dos organismos vivos na superfície da Terra é controlada por fatores ecológicos dos quais o principal é a temperatura. Os mesmos fatores, atualisticamente, devem ter controlado a distribuição dos organismos fósseis.

O conhecimento dos fatores e informações sobre a distribuição geográfica dos fósseis permite, portanto, interpretar os paleoambientes e a geografia do passado (paleogeografia) com referência à distribuição dos oceanos e continentes, os paleoclimas e as paleolatitudes. Essas interpretações, por sua vez, podem ser testadas através da análise das evidências não biológicas associadas aos fósseis (tipos de rochas sedimentares).

Além de contribuir para o esclarecimento de aspectos da história geológica da Terra algumas interpretações paleoambientais e paleogeográficas têm aplicações práticas na busca de depósitos minerais, como veremos.

Exercícios:

Parte1) Paleoambientes

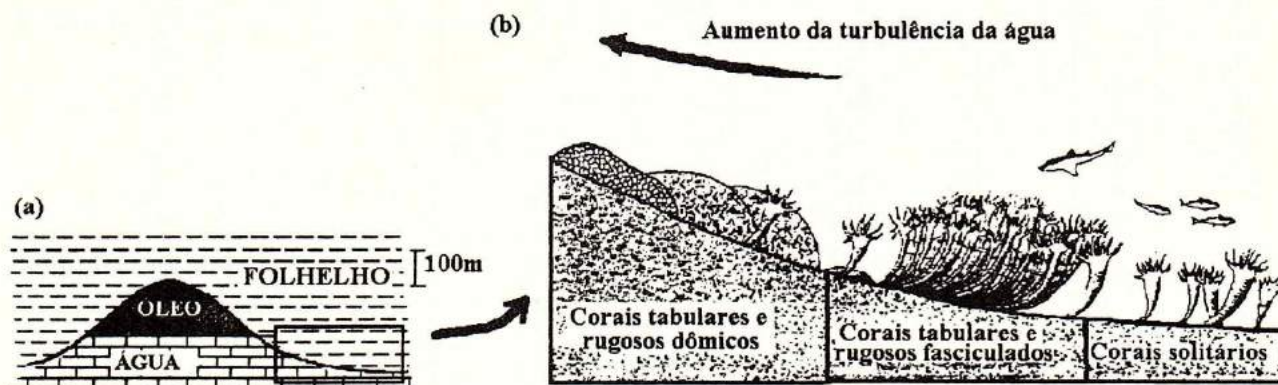


Figura 19.2. a) Corte de um recife fóssil em subsuperfície. Água satura a parte inferior e petróleo a parte superior desta estrutura calcária; b) Zoneamento ecológico de um recife atual.

Corais atuais adotam diferentes formas de crescimento em diferentes condições de turbulência da água no mar. Usando o atualismo, nós podemos, portanto, inferir a turbulência (ou

condições de energia) do mar nas quais uma rocha do Paleozóico contendo corais fósseis foi formada (Fig. 19.2b). A figura mostra como a variação nas condições de energia através do recife resulta num zoneamento de diferentes tipos de coral. Águas tranquilas, relativamente afastadas do recife, no Paleozóico, caracterizaram-se pelo crescimento de corais rugosos solitários, que são substituídos por corais fasciculados, na parte inferior do talude do recife. Na parte alta do recife onde dominavam condições de alta energia (água mais rasa), as formas mais comuns foram as tabuladas e dômicas.

Este tipo de referência é útil para o geólogo de petróleo, porque a experiência mostra que reservatórios porosos para a acumulação de petróleo ocorrem em rochas sedimentares carbonáticas de recifes fósseis, depositadas sob condições de alta energia (Fig. 19.2a). O recife pode ser mais poroso por causa da quantidade de matéria orgânica contida nas rochas e da variedade de organismos que contribuíram para sua construção. Recifes de coral fósseis formam estruturas dômicas que se desenvolveram em ambientes marinhos de alta energia, no passado, do mesmo modo que os recifes atuais.

Um método de prospectar hidrocarbonetos em recifes que ocorrem em subsuperfície consiste na identificação dos diferentes tipos de corais do recife, que preferem condições de alta ou de baixa energia. Essa variação ocorre associada ao aumento de espessura, no flanco de uma estrutura recifal, fornecendo assim outro critério para a prospecção de recifes.

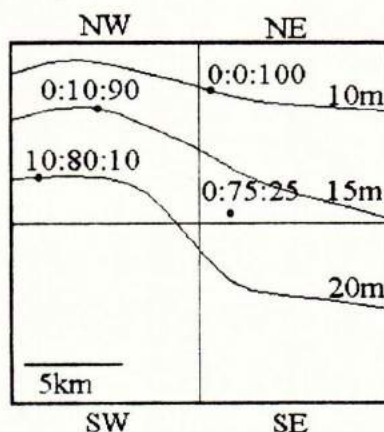


Figura 19.3. Mapas das isópacas de espessura do recife fóssil e proporções (%) entre corais tabulares e dômicos; fasciculados; e solitários, respectivamente.

a) A Fig. 19.3 (mapa) mostra a posição de 4 poços perfurados em calcário portador de recifes de corais tabulares, dômicos, fasciculados e solitários. Em que quadrante você esperaria encontrar as melhores condições para encontrar uma estrutura de recife portadora de petróleo? _____ Por que? _____

Parte 2) Paleogeografia

A distribuição dos recifes de coral atuais é controlada não só pela turbulência da água, como também pela temperatura, salinidade e profundidade da água.

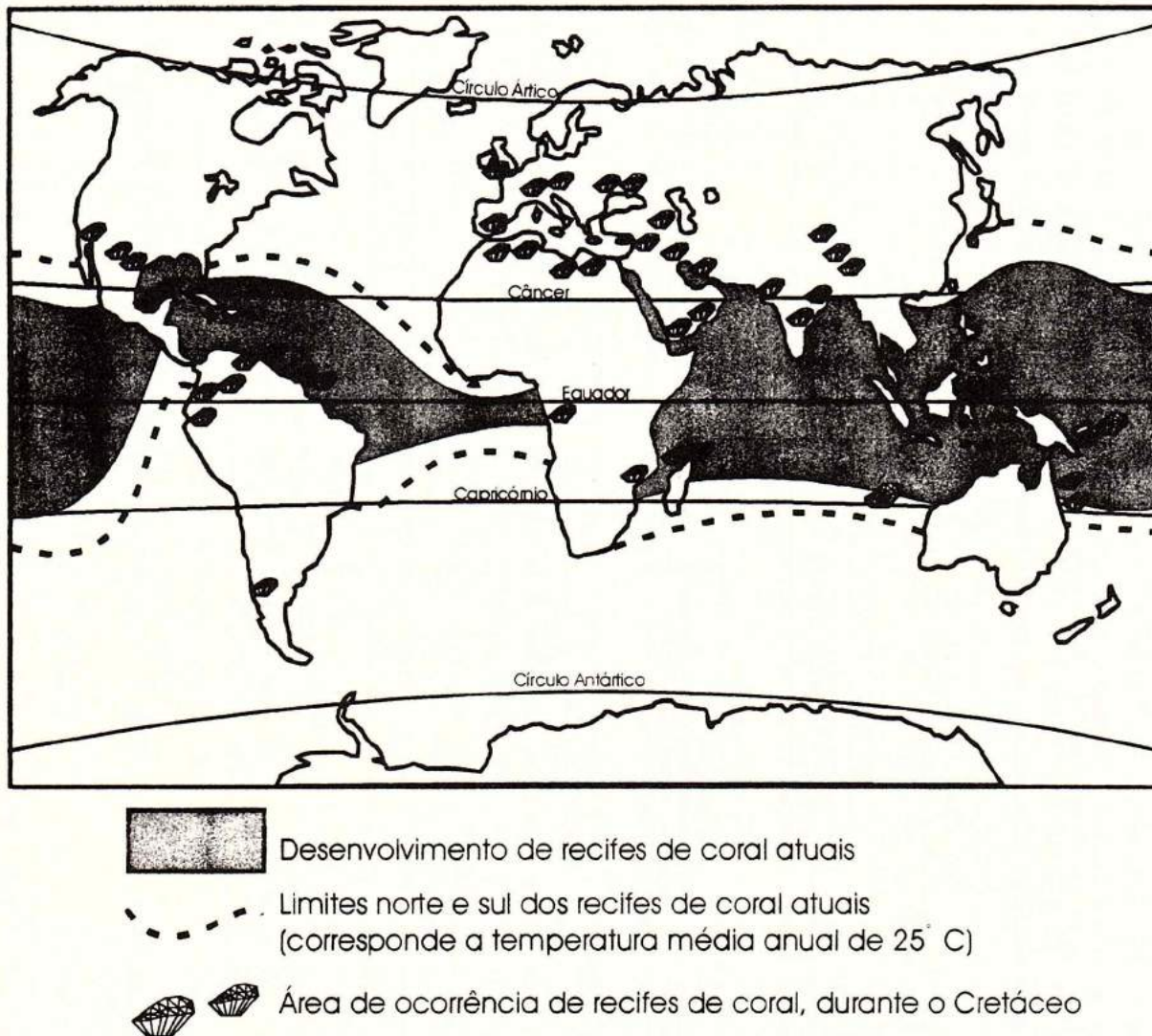


Figura 19.4. Distribuição dos recifes de corais atuais (Habicht, 1978).

Corais de recifes atuais têm algas simbióticas nos seus tecidos (zooxantelas). Tendo em vista que estas algas fotossintéticas necessitam da luz para sobreviver, corais desse tipo constroem recifes apenas em águas rasas, bem transparentes e bem iluminadas.

Podemos inferir, portanto, com base no conceito de atualismo, que antigos recifes de corais escleractíneos do Mesozóico (Fig. 19.4) também se formaram sob condições semelhantes. A interpretação é possível para os corais formadores de recifes do Paleozóico (Fig. 19.5), embora tenhamos de lembrar que os corais paleozóicos, os Rugosa e Tabulata, são de ordens bem distintas da Scleractinia do Mesozóico e Cenozóico.

a) Compare Figs. 19.4 e 5. Como a distribuição de recifes no Cretáceo difere da distribuição atual?

b) Cite uma hipótese paleogeográfica (posição dos continentes), e outra paleoclimática (amplitude das zonas climáticas) que explica as diferenças observadas.

c) Qual hipótese parece mais razoável? Ou uma combinação destes dois fatores explicaria melhor a situação?

d) Como difere a distribuição de recifes paleozóicos da dos recifes cretáceos? _____

e) As explicações em c) também serve neste caso? Ou a situação é mais complicada? Por que? Justifique sua resposta oferecendo uma explicação alternativa caso discordar. _____

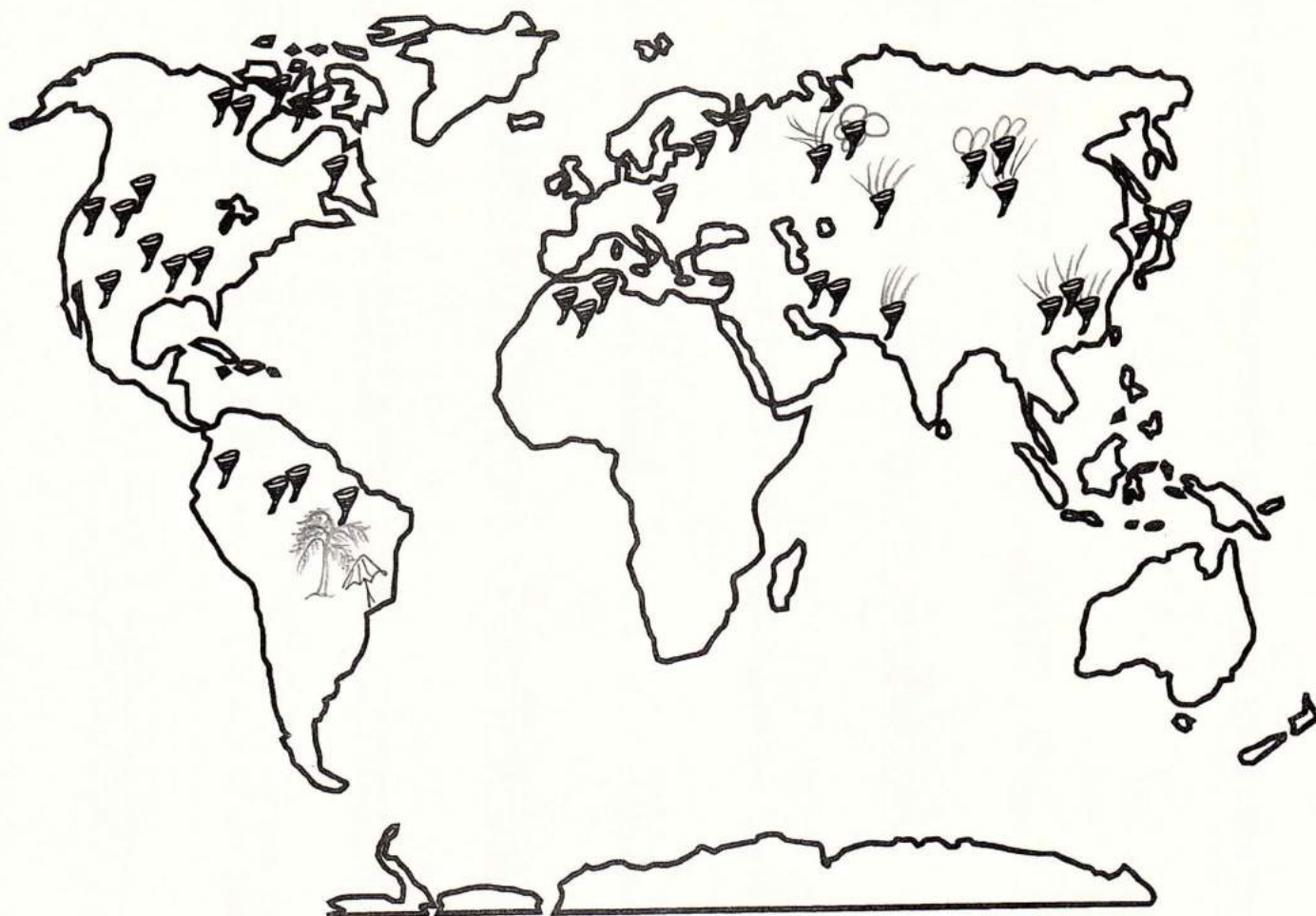


Figura 19.5. Distribuição de corais formadores de recife paleozóicos.

Tabela 19.1 mostra a distribuição no Permiano de vários répteis e plantas nos continentes que hoje em dia reconhecemos como formando parte do antigo supercontinente de Gondwana.

| | América do Sul | Sul da África | Madagascar | Índia | Austrália | Antártica |
|------------------------|----------------|---------------|------------|-------|-----------|-----------|
| 1. <i>Mesosaurus</i> | x | x | | | | |
| 2. <i>Glossopteris</i> | x | x | x | x | x | x |
| 3. <i>Cynognathus</i> | x | x | | | | |
| 4. <i>Lystrosaurus</i> | | x | | x | | x |

Tabela 19.1. Distribuição de fósseis importantes na aceitação do conceito de Gondwana. *Mesosaurus* é um réptil aquático; *Cynognathus* e *Lystrosaurus* são répteis mamíferóides terrestres; *Glossopteris* corresponde a folhas de uma árvore pteridosperma decídua, que se reproduzia por meio de sementes.

f) A distribuição de *Mesosaurus* e *Glossopteris* é conhecida desde o início deste século. Por incrível que pareça, no entanto, não foi considerada uma evidência convincente para a deriva continental porque vários paleontólogos elaboraram hipóteses alternativas para explicar a presença destes dois gêneros em lugares tão dispersos atualmente. Esta hipóteses, chamadas “fixista”, consideravam que os continentes e oceanos não mudaram de posição durante o tempo geológico. Elabore você mesmo uma hipótese fixista que pudesse explicar a distribuição atual de *Mesosaurus* e *Glossopteris*.

g) O que você considera os pontos fracos de sua hipótese? A BASE!!

h) Por outro lado, a descoberta, em 1969, de *Lystrosaurus* e outros fósseis associados na Antártica foi saudada como uma prova contundente da união dos continentes austrais no supercontinente Gondwana. Porque esta descoberta foi considerada seria mais importante do que a distribuição de *Mesosaurus* e *Glossopteris* para a confirmação da teoria de tectônica de placas?

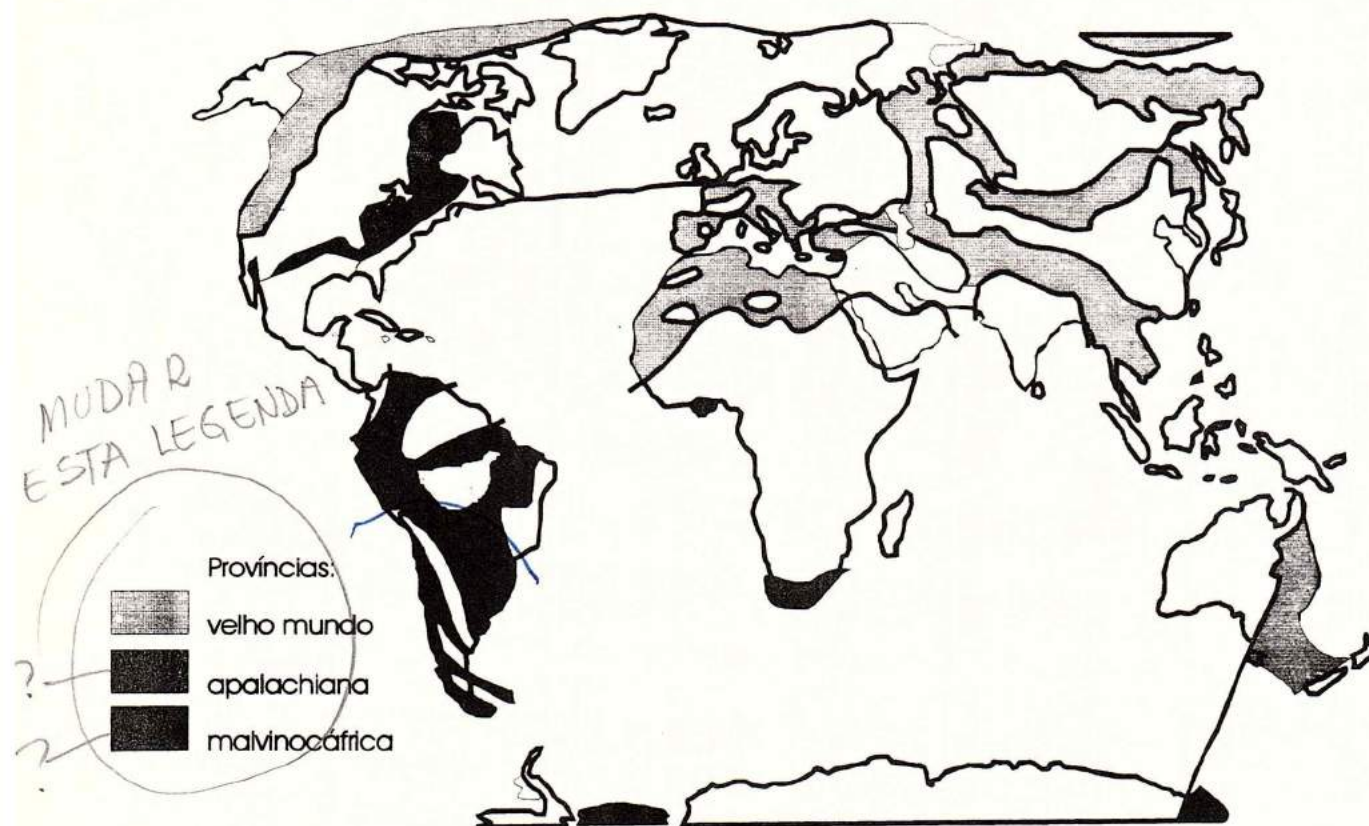
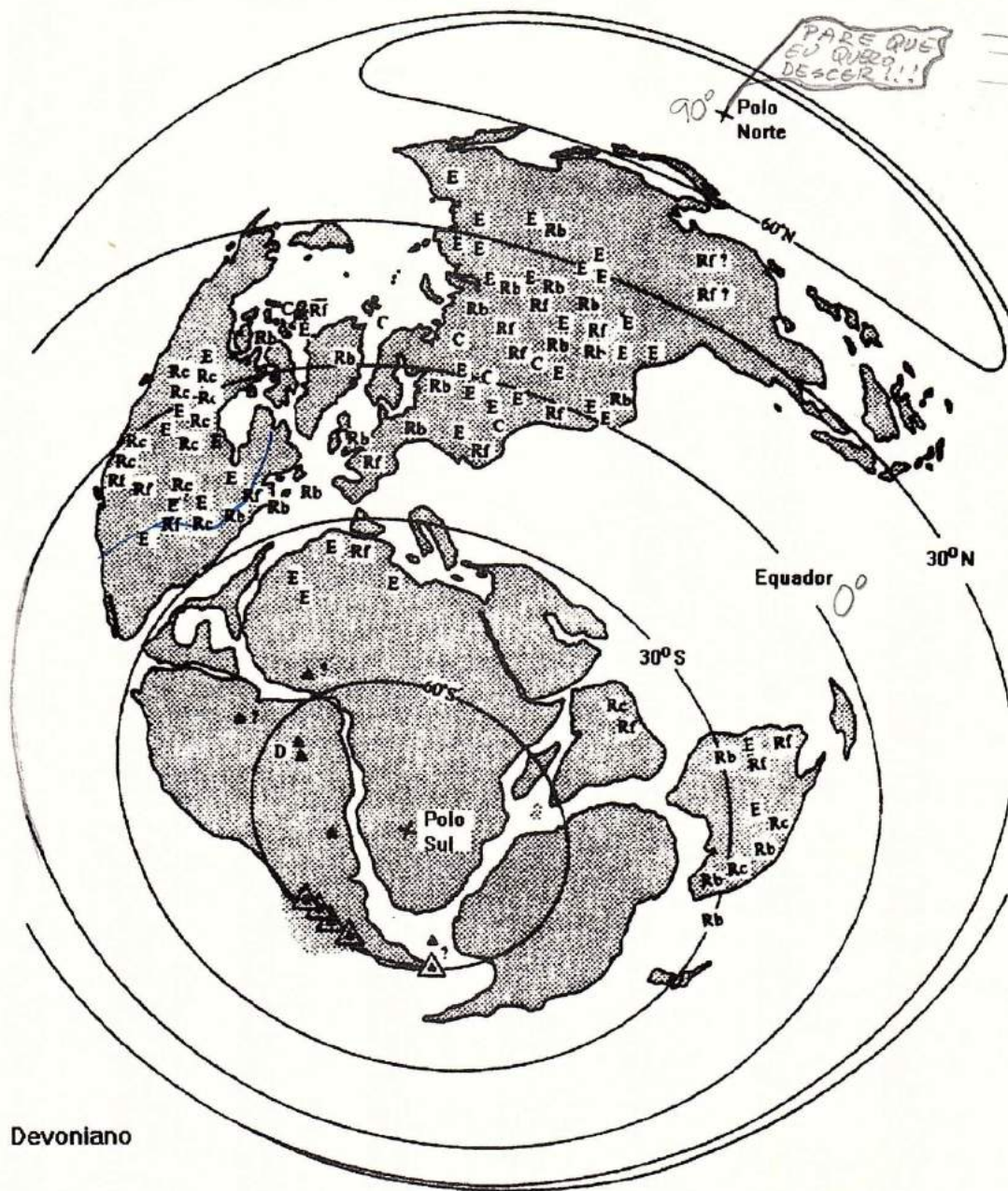


Figura 19.6. Distribuição atual das províncias paleobiogeográficas do Devoniano baseadas na distribuição de braquiópodes. Em nossa excursão para Jaguariaíva (PR) em abril coletamos fósseis típicos da Província Malvinocáfrica (de “Malvinas”, África”, “América”) (Fig. 19.6), principalmente braquiópodes, trilobites, tentaculites e bivalves, com raros equinodermos (estrelas do mar, crinóides) e ausência de corais e outros indicadores de águas quentes.

i) Transfira os limites aproximados das províncias retratadas na Fig. 19.6 para a Fig. 19.7.



- C Carvão
- Rb Redbeds
- Rf Recifes
- Rc Recifes de coral
- E Evaporitos
- Δ depósitos alpino-glaciais

Figura 19.7. Reconstituição paleogeográfica do Devoniano (Seyfert & Sirkin, 1979).

j) Comente a distribuição latitudinal das três províncias quando delimitadas no mapa paleogeográfico devoniano (Fig. 19.7). _____

l) Que tipos de barreiras podem ter impedido a mistura dos organismos destas províncias biogeográficas do Devoniano? _____

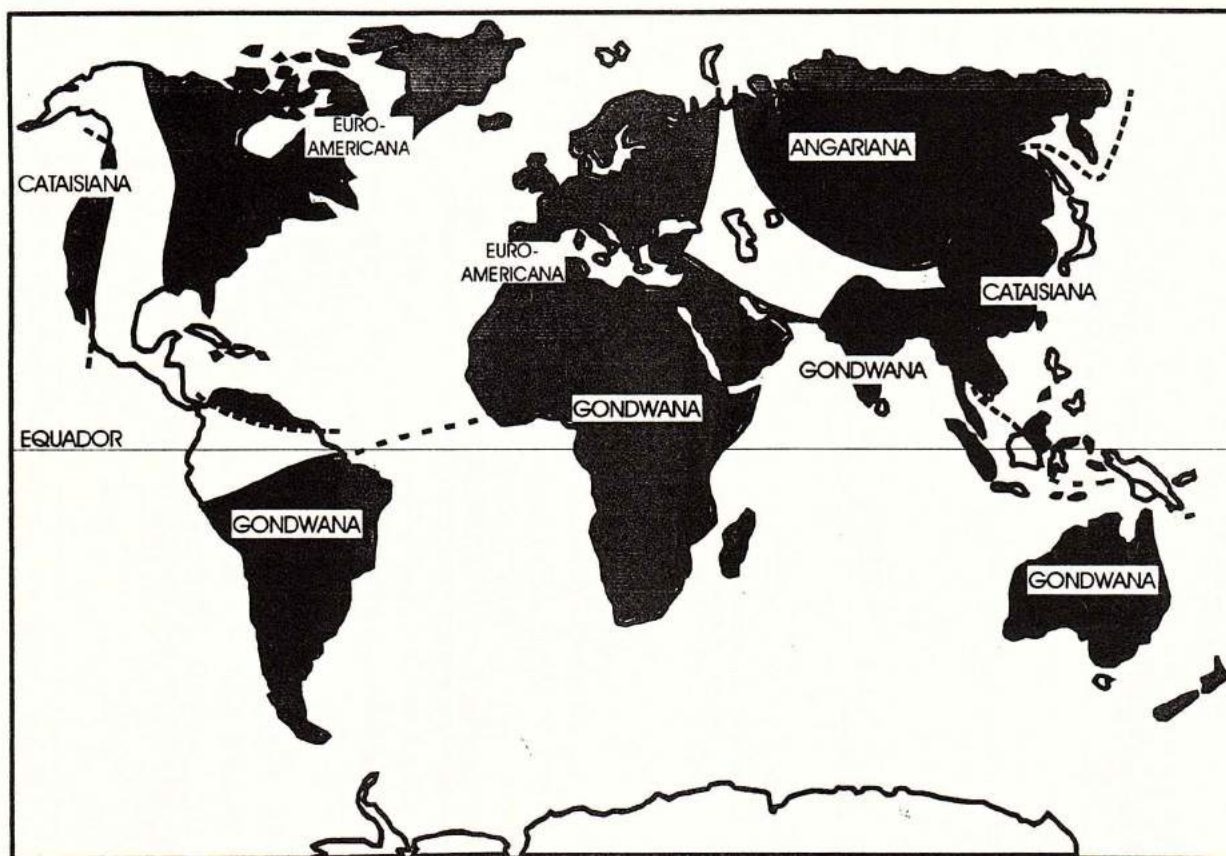


Figura 19.8. Distribuição atual das províncias paleobiogeográficas das floras terrestres do Neopaleozóico.

m) Transfira os limites aproximados das províncias florísticas em Fig. 19.8 para Fig. 19.9. Comente possíveis barreiras à mistura destas floras. _____

n) Levando em conta suas respostas em l e m, diga que tipos de barreiras seriam mais efetivas em relação à mistura de invertebrados marinhos? _____

o) E em relação às floras continentais? _____

p) Que tipos de barreiras seriam comuns aos dois grupos? _____

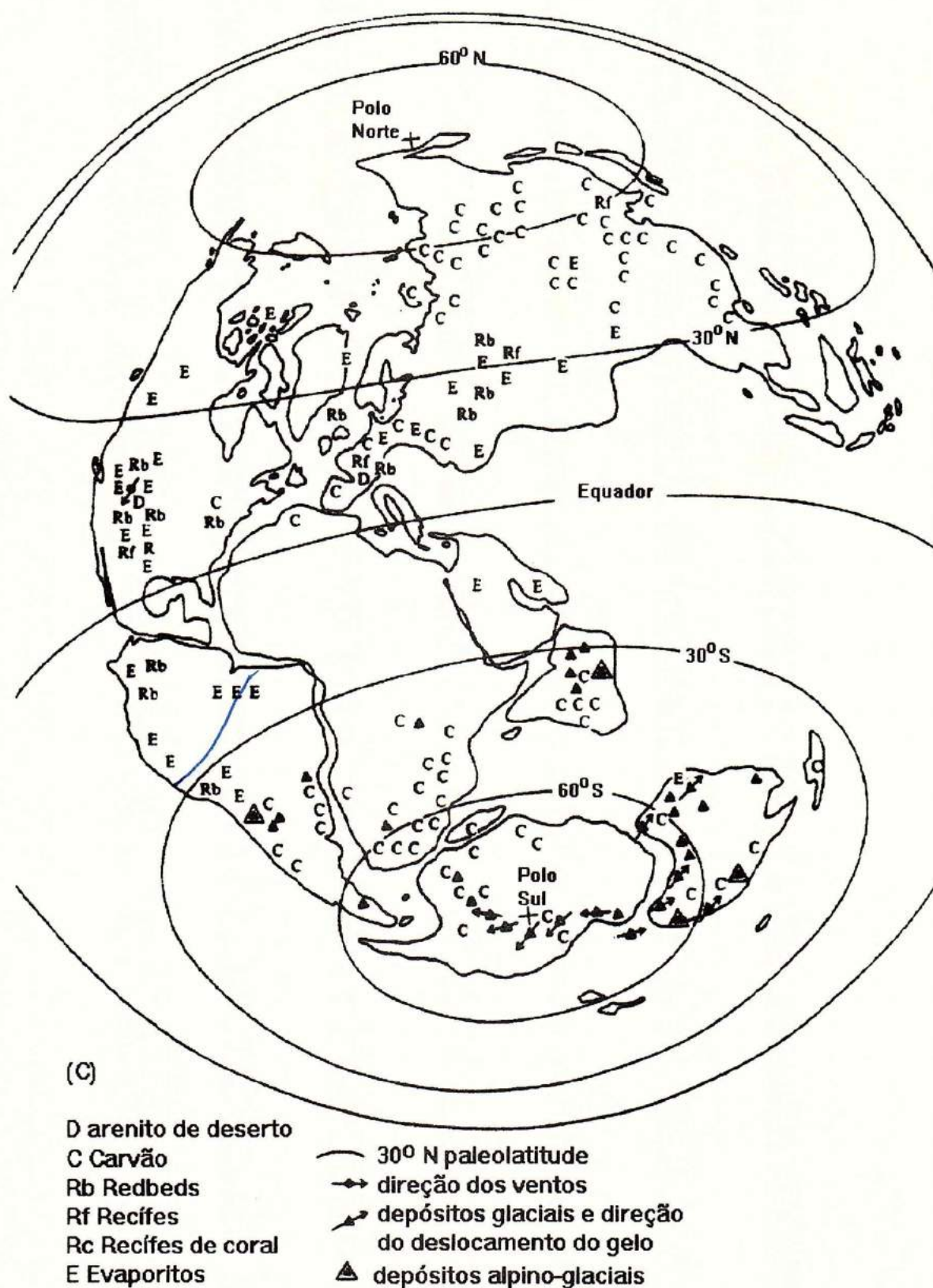


Figura 19.9. Reconstituição paleogeográfica do Permiano (Seyfert e Sirkin, 1979).



20. Estudo de fósseis preservados em sedimentos do Paleozóico Superior

~~Excursão didática~~
Roteiro e questionário

Aula de campo

Introdução.

A excursão tem por finalidade demonstrar a aplicação de conceitos básicos de Paleontologia e Geologia apresentados durante as aulas da disciplina (princípio da superposição, rochas sedimentares, sucessão litológica e fossilífera, relações de contato, idade relativa, tafonomia, ambientes sedimentares etc.).

Além disso, o trabalho de campo oferecerá oportunidade para **coleta de fósseis** animais e vegetais, encontrados em de diferentes tipos de rochas. É oportuno lembrar que fósseis são **relativamente** raros na crosta da Terra. Podem ser ainda mais raros, dependendo da história geológica da área em estudo. A localização de fósseis e sua coleta é, portanto, uma atividade em grande parte aleatória, mesmo em jazigos já conhecidos, por diversas razões (**distribuição** variada na rocha, decomposição etc.). **Não desanime**, pois, se não encontrar um fóssil logo na primeira batida do martelo. Insista.!

Fósseis podem ser confundidos com uma variedade de **estruturas e feições** originais das rochas sedimentares (p. ex. **concreções**) ou que são formadas pelo intemperismo (p. ex. mudanças de cor; concentrações de minerais, tais como, óxidos de Fe), ou durante o processo de coleta (p. ex. fraturas nas rochas),

A excursão examinará três afloramentos de rochas paleozóicas da chamada Bacia do Paraná (Fig. 20.1), extensa área deposicional (depressão) do Sudeste do Brasil formada sobre o assoalho Pré-Cambriano de rochas ígneas metamórficas antigas. A bacia foi preenchida por sedimentos e rochas ígneas durante as Eras Paleozóicas e Mesozóicas (Fig. 20.2). A Fig. 20.3 mostra um perfil geológico da Bacia do Paraná e dá a área a ser percorrida

Materiais.

Trazer para a excursão:

- | | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. caderneta de campo | } 6. Estojo primeiros socorros 7. Estojo de maquiagem 8. Uma jaca e três melancias 9. Fita isolante. 10. Batata frita. |
| 2. lápis e borracha | |
| 3. jornais velhos (alguns) | |
| 4. Sacola de campo | |
| 5. Lanche | |

Serão fornecidos:

1. Martelo de geólogo
2. Sacos plásticos para amostras
3. Roteiro e questionário de campo
4. Passagem só de ida.
5. Danoninho

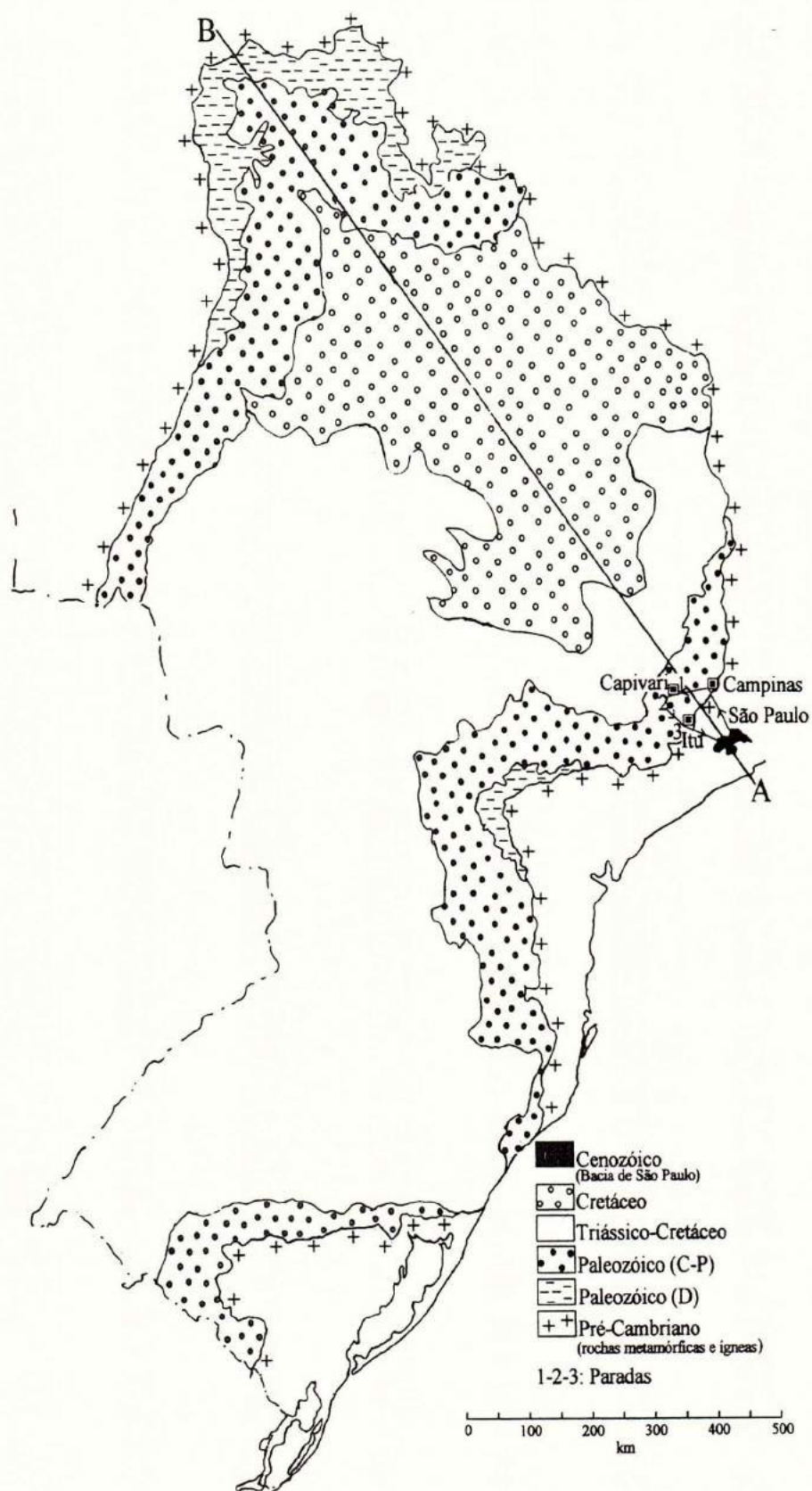


Figura 20.1. Mapa geológico da Bacia do Paraná.



Figura 20.2. Carta litoestratigráfica da Bacia do Paraná.

Comportamento durante a excursão. *a aula de campo*

Horários e roteiro:

Saída: 7,30 h

Local: em frente ao IG/USP

Retorno: \pm 19,00 h

Local: *idem*

Distância a ser percorrida: \pm 300 km

Roteiro: veja o mapa anexo

Esta é uma excursão de alunos universitários, de uma unidade da USP, e, desse modo, espera-se que o seu comportamento seja compatível. Lembre-se que a impressão que causarmos reflete-se sobre a instituição que representamos.

Importante:

1. Aproveite os trajetos longos no ônibus para ler, refletir sobre e responder as questões (e também divertir-se).

2. Procure sair rapidamente do ônibus, de forma organizada. **Nunca** atravesse a estrada, antes de ser autorizado **e jamais** pela traseira do ônibus. Muito cuidado ao cruzar as estradas. Em cada parada procure **reunir-se rapidamente junto ao professor para receber as instruções**. Volte ao ônibus rapidamente e em ordem.

3. Maneje o martelo **com cuidado**, principalmente quando em grupo. Cuidado com fragmentos de rocha que podem se soltar e atingir os outros.

4. **Nunca** vire uma pedra solta com as mãos; sempre com o martelo.

5. **Cuidado com marimbondos!** Não inicie uma escavação sem olhar se há ninhos por perto.

6. Você será responsável pelo equipamento que receber. **Mantenha-o e devolva-o no final da excursão.**

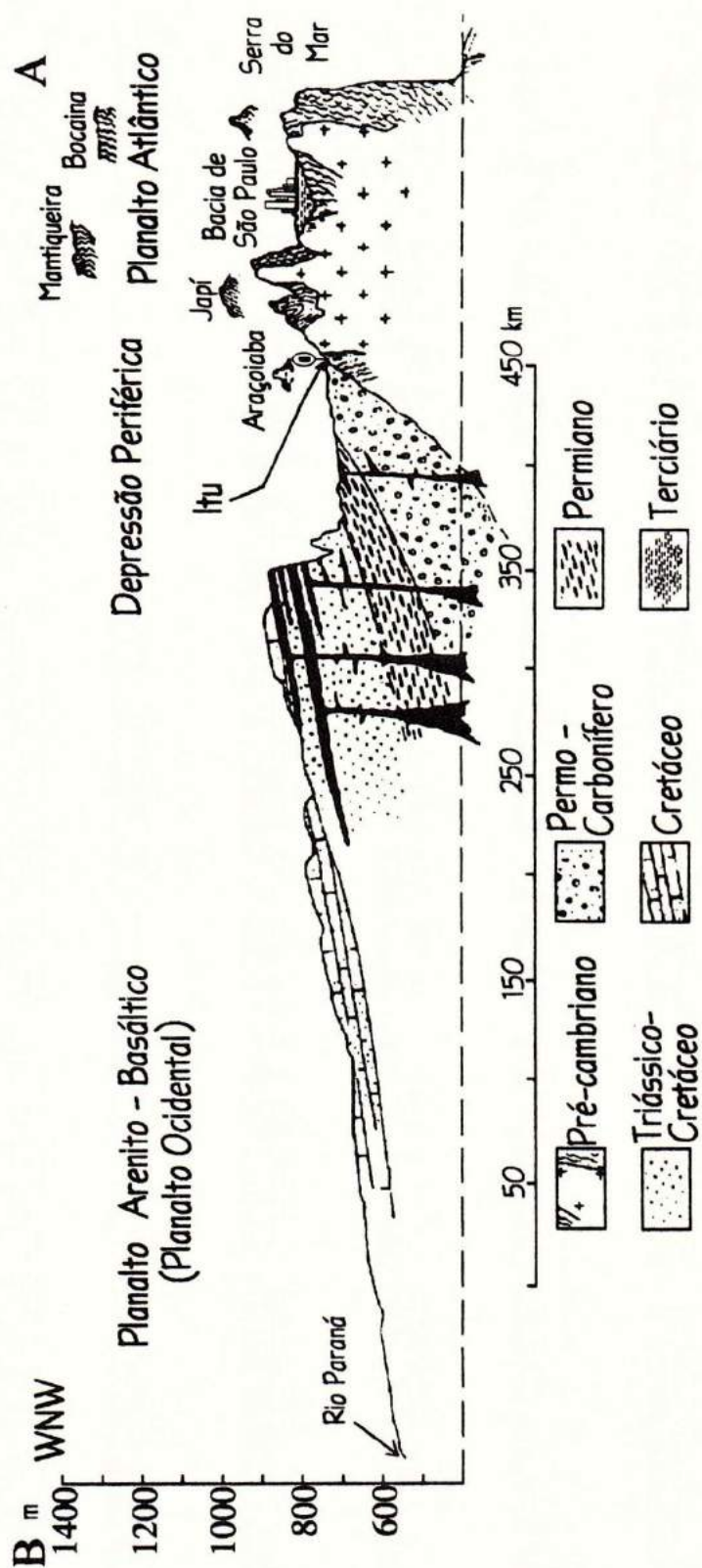


Figura 20.3. Perfil Geológico do Estado de São Paulo (Ab'Saber, 1956).

Atenção:

Este questionário deverá ser **lido** e **respondido** durante a viagem. Ele será recolhido ao final da excursão. Procure responder legivelmente e com cuidado. Use lápis e borracha. Anotações adicionais poderão ser feitas na caderneta de campo.

Exercícios:

Parte 1) Examine no **mapa geológico** o roteiro da excursão. Um mapa geológico constitui uma representação (projeção), no plano, da distribuição superficial dos corpos rochosos de diferentes idades, que ocorrem numa região. Veja a localização da cidade de São Paulo e dos afloramentos a serem examinados. Examine também a legenda do mapa onde estão descritos os tipos de rochas que serão atravessados e respectivas idades. Examine também o **perfil** geológico da margem leste da Bacia do Paraná. Ele mostra a provável distribuição dos pacotes rochosos que serão percorridos na excursão.

Veja as idades das faixas de rochas e a topografia do perfil sudeste - noroeste (A-B), de São Paulo, até o outro lado da Bacia do Paraná, cruzando o Rio Paraná. a) As idades aumentam ou diminuem em direção noroeste? _____

b) Que estrutura ou disposição dos pacotes rochosos explicaria essa situação? _____

c) Veja agora a localização no roteiro da excursão. Cite em ordem cronológica as idades das rochas a serem percorridas na excursão. _____

Parte 2) 1ª. Parada: corte de rodovia a cerca de 5Km a leste de Capivari.

a) Veja no mapa geológico a idade das rochas aflorantes nos cortes da estrada de rodagem. Idade: _____

b) Elas são interpretadas como de origem glacial e depositadas sob influência de extensas geleiras e **clima** frio que existiram no Sudeste do Brasil, nos períodos Carbonífero e Permiano da Era Paleozóica. **Examine** a rocha da parte superior do afloramento. Como você a descreve? _____

c) Desenhe no espaço reservado um diagrama do afloramento mostrando a espessura e posição dos fósseis.

d) Os fósseis que aqui ocorrem correspondem a fragmentos de **troncos de vegetais**. Durante a coleta, procure notar a disposição dos fósseis dentro da rocha. Após a coleta, examine os espécimes obtidos e responda. Como se dispõem os troncos na rocha? Orientados? *In situ*? Concentrados? Dispersos? _____

e) Qual o diâmetro máximo dos troncos encontrados? _____

f) Os fósseis foram deformados? _____ g) Quando isso aconteceu? _____

h) Qual a altura estimada dos vegetais? _____ i) Eram arbustos? _____

j) Árvores? _____

l) Examine os troncos em corte. Você nota alguma estrutura interna que poderia corresponder a anatomia original dos vegetais? _____ m) Qual(is)? _____

n) Qual(ais) o(s) tipo(s) de preservação dos troncos? _____

o) É possível identificar o grupo vegetal ao qual pertence o fóssil? _____

Parte 3) 2ª Parada: corte de estrada secundária, cerca de 5 km ao sul de Capivari.

a) Veja no mapa a localização do afloramento e a idade das rochas aflorantes. Idade: _____

b) A idade é diferente da rocha do primeiro afloramento? _____

c) Examine agora a rocha sedimentar local. Como a descreveria? _____

d) Ela é igual a do primeiro afloramento? _____ (Cite algumas diferenças que perceber). _____

e) Os fósseis que aqui ocorrem incluem braquiópodes, bivalves, gastrópodes e crinóides. Veja as ilustrações com os diferentes tipos. Repita as mesmas observações que realizou na primeira parada quanto a disposição dos fósseis na rocha. _____

Nota importante: por causa do alargamento da rodovia, o afloramento foi praticamente arrasado. A coleta aqui é, portanto, difícil e trabalhosa, necessitando do uso de equipamento pesado (marteleto). Tenha paciência e procure.

f) Após a coleta examine os fósseis e responda. Quantos grupos estão representados? _____

g) Quais são tamanhos dos fósseis dos diferentes grupos? _____

h) De que forma estão preservados os fósseis? _____

i) Qual é o ambiente de deposição das rochas sedimentares locais? _____

Parte 4) 3ª. Parada: Pedreira de varvito (arredores da cidade de Itu).

Uma série de afloramentos ocorre dentro do Parque do Varvito, um parque municipal construído pela Prefeitura de Itu para proteger uma ocorrência clássica da geologia brasileira. Por se tratar de uma área protegida, não é possível coletar rochas e/ou fósseis dentro do Parque. Por favor, **não se afaste do grupo**, para não atrasar a saída do ônibus. Veja no mapa a localização do Parque. a) Qual é a idade da rocha local? _____

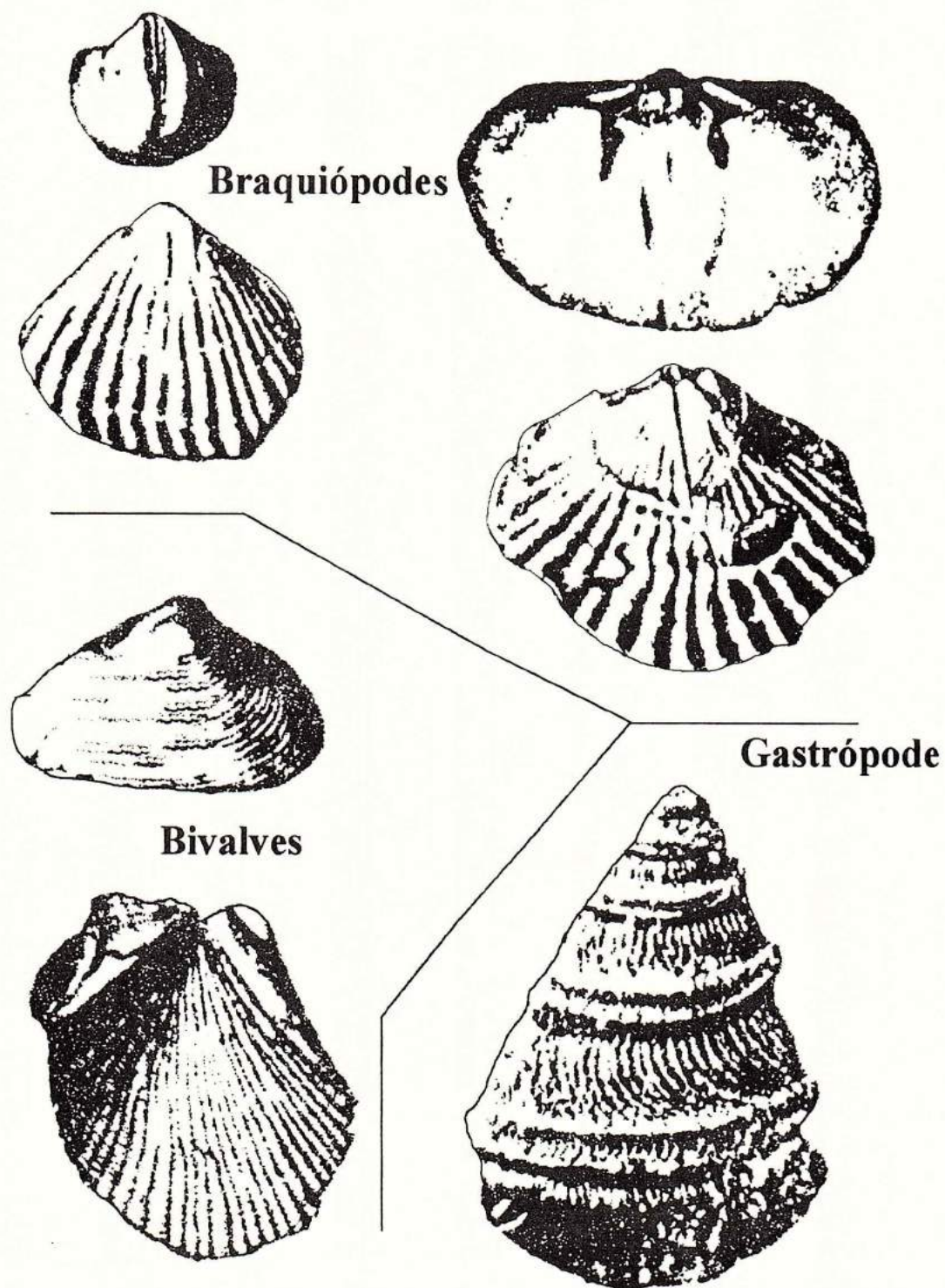
Note que a pedreira é formada por superfícies verticais planas, correspondentes a fraturas que cortam o pacote rochoso. b) Como verificar se houve algum movimento ao longo das fraturas (falhamento)? _____

c) Qual a característica mais notável da rocha local? _____

d) Examine a sequência exposta em um dos afloramentos da pedreira e procure notar a diferença entre as camadas da rocha. Que diferenças existem? _____

Lembre-se dos três axiomas de Steno (superposição, horizontalidade original e continuidade lateral). Procure examinar a sequência exposta lembrando-se desses princípios. e) A sequência sedimentar está na sua posição original? _____ f) Que evidências você tem para esta afirmação? _____

g) Acompanhe lateralmente uma camada e descreva o que acontece com ela. _____



Fósseis da assembléia de Capivari

Figura 20.4. Fósseis na assembléia de Capivari (escala exagerada).



21. Técnicas de estudos paleontológicos

Introdução

A grande diversidade do modo de ocorrência, tipos e composição dos fósseis e das rochas sedimentares que os contêm, exige diferentes técnicas para a sua **separação** das matrizes rochosas e **preparação para estudo e documentação**.

Nos diagramas abaixo (1 A e B), as fases principais desse trabalho são mostradas.

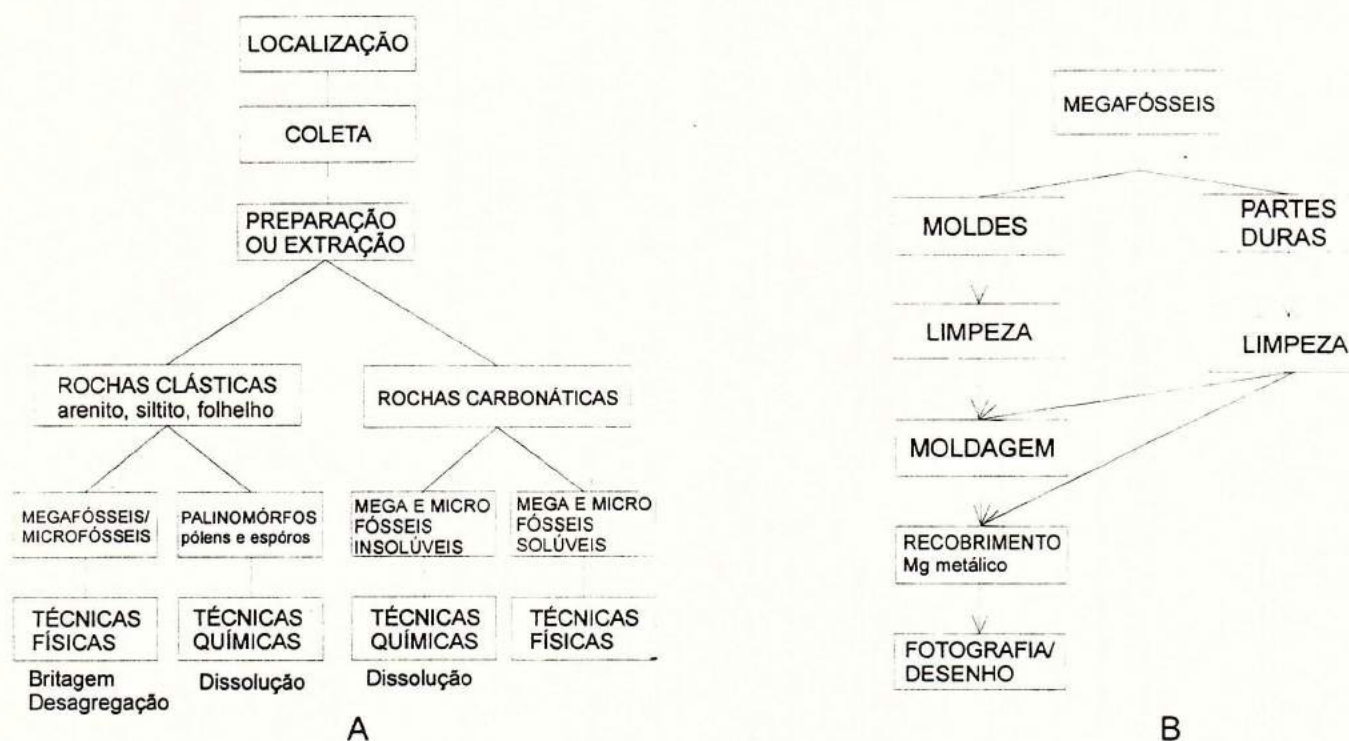


Figura 21.1. 1. Técnicas de separação (A) e preparação de fósseis (B).

A. Demonstrações

1. Moldagem de megafósseis

O processo de formação de **moldes internos, externos e contramoldes** será demonstrado.

Material necessário: massa de modelagem, espécimes adequados (conchas de bivalves, braquiópodes etc.), um conjunto de concha de bivalve e moldes em gesso (molde interno e molde externo; material moldante (Jeltrate).

2. Separação de fósseis insolúveis por dissolução

A demonstração consta de ataque com HCl a 10%, à matriz carbonática contendo fósseis silicificados.

Material necessário: amostra, becker, solução de HCl 10%, vareta de vidro.

3. Processo de replicação de amostras para estudo.

Este processo inclui a produção de moldes de borracha (látex) e replicagem da amostra em gesso.

Material necessário: Basicamente, são necessários látex pré-vulcanizado e gesso.

B. Exercícios

Parte 1) Moldagem artificial de fósseis

Com o material fornecido (massa de modelar) produza um molde artificial do fóssil oferecido. Compare agora o molde artificial obtido com o molde natural do mesmo fóssil. Compare a qualidade dos dois.

Parte 2) Recobrimento de fósseis

O recobrimento de amostras por películas de determinadas substâncias (MgO, MgCl) ressalta, por contraste, as estruturas a serem estudadas e documentadas. Fósseis constituídos por rochas de tonalidade clara poderão ser escurecidos com tinta nanquim antes da aplicação da cobertura.

- Examine o molde de gesso, uma réplica de um fóssil de trilobites (*Phacopida*) de sedimentos paleozóicos do Marrocos, e esquematize, no quadro abaixo, as estruturas visíveis no céfalo do animal.
- Um dos professores o assistirá no recobrimento da réplica por Mg O. Agora, após a impregnação, esquematize o céfalo do trilobites no quadro abaixo.

| 1. Amostra não impregnada | 2. Amostra impregnada |
|---------------------------|-----------------------|
| | |

Compare os resultados. Que diferenças você encontrou? _____

Parte 3) Pesquisa na biblioteca

Este exercício ajudará os alunos a localizar na biblioteca do IGc/USP as principais revistas dedicadas a estudos paleontológicos. Após escolher, com a supervisão dos professores, uma das revistas indicadas abaixo, o grupo deverá trazer, **para o início da próxima aula prática**, um artigo que mais tenha chamado a sua atenção no último número da revista e um **pequeno comentário** (oral) sobre o artigo escolhido.

| | | |
|---------------------------------------|------------------|------------|
| 1. Anais Academia Brasil. Ciências | 5. Nature | 9. Science |
| 2. Journal of Paleontology | 6. Palaeontology | |
| 3. Journal of Vertebrate Paleontology | 7. Palaios | |
| 4. Lethaia | 8. Paleobiology | |

BIBLIOGRAFIA:

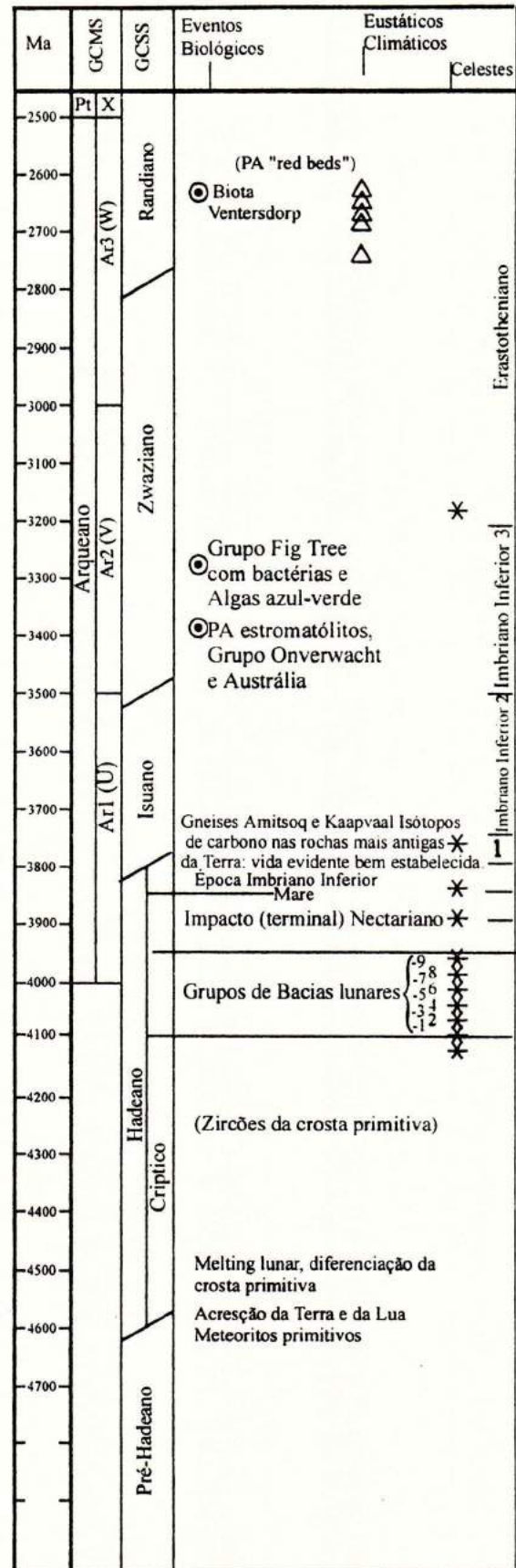
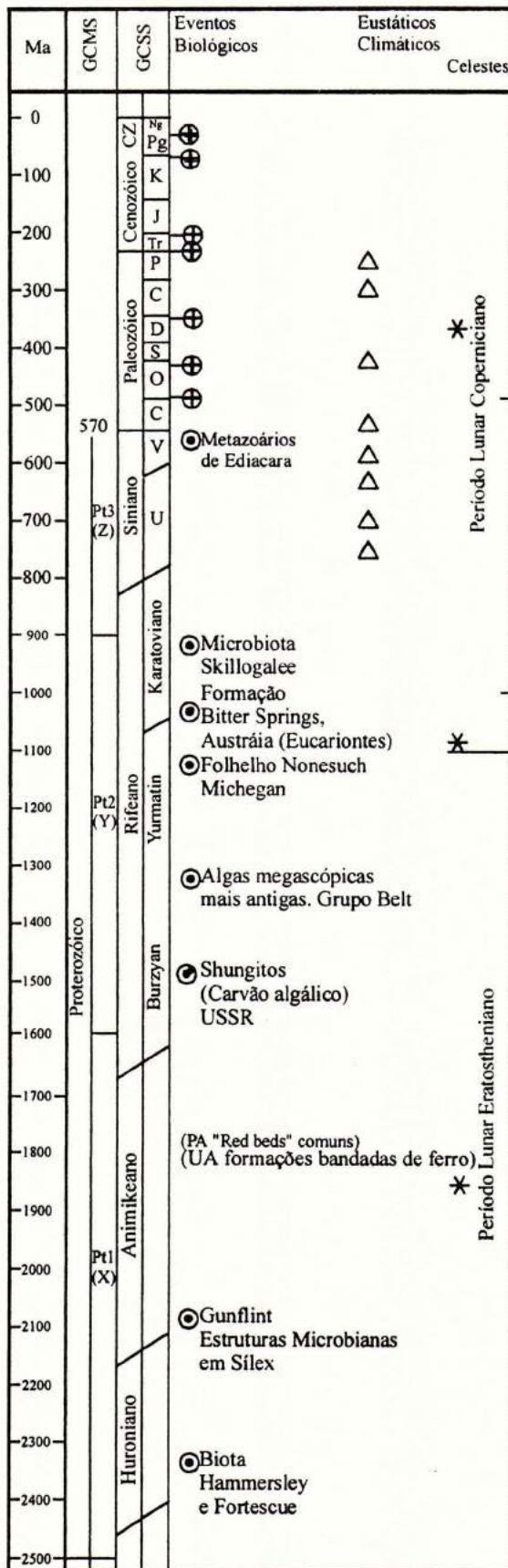
- Benton, M. J. 1997 - Vertebrate Paleontology. 2ª edição. Ed. Chapman & Hall. London. 452p.
- Boardman, J. et al., 1987 – Fossils Invertebrates. Edited by Richard S. Boardman, Alan H. Cheetham, Albert J. Rowell.. Blackwell scientific publications. 713p.
- Brasier, M.D. 1985 – Microfossils. George Allen & Unwin, 193p.
- Carroll, R. L. 1988 – Vertebrate Paleontology and evolution. W.H. Freeman and Company, New York. 698p.
- Clarkson, E.N.K. 1993 - Invertebrate Palaeontology and Evolution. 3ª edição. Ed. Chapman & Hall. 434p.
- Cloud, P. 1988 – Oasis in space. Earth History from the Beginning. 1ª edição. W.W. Norton & Company. 508p.
- Donaldson, J. A. 1976 – Paleoecology of *Conophyton* and associated stromatolites in the Precambrian Dismal Lakes and Era Groups, Canada. In: Walter, M.R. (ed.), p. 523-534.
- Fürsich, F.T. e Hurst, J. M. 1974 – Brachiopods Environmental factors determining the distribution of brachiopods. Palaeontology, v. 17, part 4, p. 879-900.
- Habicht, A. 1979 – Paleoclimate, Paleomagnetism, and Continental Drift. AAPG Studies in Geology no. 9 by J.K.A. Habicht, Oklahoma, USA. 31p. + 11 foldouts.
- Harland, W.B. et al. 1989 – A Geologic time scale. Cambridge University Press. 263p.
- Holmer, L. A. et al. (1995) – Phylogenetic analysis and ordinal classification of the Brachiopoda. Palaeontology. Vol. 38, part 4, London. p. 713 – 741.
- Ingrouille, M. 1995 - Diversity and Evolution of Land Plant. Ed. Chapman & Hall. 340p.
- Knoll, A.H. e Walter, M.R. 1992 – Latest Proterozoic stratigraphy and Earth history. Nature, 356: 673-678.
- Leonardi, G. 1983 – *Notopus petri* nov. gen., nov. sp.: une empreinte d'amphibien du Dévonien au Paraná (Brésil). Geobios, n. 16, fasc. 2 p. 233 – 239. Lyon, France.
- Maisey, J. G. 1991 – Santana Fossils: an illustrated atlas ed. J.G. Maisey, Neptune city, N.J. 459p.
- Margulis, L. 1982 – Early Life. Science Books International, Inc. Boston. 160p.
- Mayr, E. 1982 – The growth of biological thought: diversity, evolution, and inheritance. Cambridge, MA: Belknap Press, Harvard University Press; 1982.
- McAlester, A.L. 1969 – História Geológica da vida. Edgard Blücher. 174p.

- McKerrow, W.S. 1978 - The Ecology of Fossils. An illustrated guide. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 384p.
- Mendes, J.C. 1988 - Paleontologia básica. Ed. Usp, São Paulo. 347p.
- Nield, E.W. & Tucker, V.C.T. 1985 - Paleontology. An introduction. Pergamon Press. 178p.
- Oelofsen, B.W.; Araújo, D.C. 1987 - Mesosaurus tenuidens and Stereosternum tumidum from the Permian Gondwana of both Southern Africa and South America, vol. 83
- Rocek, Z. & Rage, J.C. 1994 - The presumed amphibian to of print Notopus petri from the Devonian: a possible starfish trace fossil. Lethaia, 27(3): 241-244.
- Rogers, J.J.W. 1994 - A history of the Earth. 2ª ed. Cambridge University Press. 312p. Austrália.
- Romer, A.S. 1966 - Vertebrate Paleontology, 3ª ed., University of Chicago Press.
- Schopf, W. 1993 - Microfossils of the early Archean Apex chert: New evidence of the antiquity of life, Sciences, 260: 640-646.
- Simões, M.G. & Holz, M. 1997 - Introdução à Tafonomia. Curso Pré-Congresso. 15º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Universidade Estadual Paulista/Unesp. Instituto de Biociências.
- Traverse, A. 1982 - Response of world vegetation to Neogene tectonic and climatic events. Alcheringa 6, 197-209.
- Walter, M. R. (ed.) 1976 - Stromatolites. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, 792p. (Developments in Sedimentology, 20).
- Zalan, P.V. 1989 - Evolução estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Simp. Geol. Sudeste, 1, RJ, Bol. Resumos, RJ, SBG, P. 206-207.

Errata: Todas as citações referentes a Clarkson 1994 no texto, substitui-se por 1993.

| EON ERA PERÍODO | | | | SUB-PERÍODO | | Duração Ma | | Idade Ma | | | | | | |
|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|----------|-----------------------|------|-----|--|-----|--|
| Duração em Ma | | | | ÉPOCA | | (Alguns estágios) | | | | | | | | |
| Fanerozóico | Cenozóico 65 | Quaternário 1.64 | | Holoceno | | 0.01 | | 0.01 | | | | | | |
| | | | | Pleistoceno | | Ple 3 | | 0.12 | | 0.13 | | | | |
| | | | | | | Ple 2 | | 0.66 | | 0.79 | | | | |
| | | | | | | Ple 1 | | 0.85 | | 1.64 | | | | |
| | | Terciário | Neógeno 22 | Plioceno | | 3.5 | | 5.2 | | | | | | |
| | | | | Mioceno | | 18.3 | | 23.5 | | | | | | |
| | | | Paleógeno 42 | Oligoceno | | 12.0 | | 35.5 | | | | | | |
| | | | | Eoceno | | 21.0 | | 56.5 | | | | | | |
| | | | | Paleoceno | | 8.5 | | 65 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Mesozóico 180 | Cretáceo 81 | | Gulf 32 | Senomaniano | | 24 | | 89 | | | | | |
| | | | | | Gallic 43 | | Turon./Cenoman. | | 8 | | 97 | | | |
| | | | | (Albiano 15) (Aptiano 13) (Barreniano 7) | | | 35 | | | | | | | |
| | | | | Neocomiano | | | 14 | | 132 | | | | | |
| | | Jurássico 61 | | Malm | | 12 | | 146 | | | | | | |
| | | | | Dogger | | 21 | | 157 | | | | | | |
| | | | | Lias | | 30 | | 178 | | | | | | |
| | | | | | | | | 208 | | | | | | |
| | | Triássico 37 | | Tr3 | | (Rht/Nor 15) (Cm 12) | | 27 | | | | | | |
| | | | | Tr2 | | 6 | | 235 | | | | | | |
| | | | | Scythiano | | 4 | | 241 | | | | | | |
| | | | | | | | | 245 | | | | | | |
| | | Paleozóico 325 | Superior 164 | | Permiano 45 | | Zecstein | | Lopingiano | | 5 | | 250 | |
| | | | | | | | Rotliegendes | | Guadalupiano | | 6 | | 256 | |
| | | | | | | | | | (Kungur./Artinsk. 13) | | 35 | | | |
| | (Sakmariano 13) | | | | | | | | | | | | | |
| | Carbonífero 73 | | | | Pensilvaniano 33 | | Gzeliano | | 5 | | 290 | | | |
| | | | | | | | Kasimoviano | | 8 | | 295 | | | |
| | | | | | | | Moscoviano | | 8 | | 303 | | | |
| | | | | | | | Bashkiriano | | 12 | | 311 | | | |
| | | | | | Mississipiano 40 | | Serpukhoviano | | 10 | | 323 | | | |
| | | | | | | | Viseano | | 17 | | 333 | | | |
| | | | | | | | Tournaisiano | | 13 | | 350 | | | |
| | | | | | | | | | | | 363 | | | |
| | Devoniano 46 | | | | D3 | | 14 | | 377 | | | | | |
| | | | | | D2 | | 9 | | 386 | | | | | |
| | | | | | D1 | | 23 | | 409 | | | | | |
| | Siluriano 31 | | | | Pridoli | | 2 | | 411 | | | | | |
| | | | Ludlow | | 13 | | 424 | | | | | | | |
| | | | Wenlok | | 6 | | 430 | | | | | | | |
| | | | Landoveriano | | 9 | | 439 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ordoviciano 71 | | Bala | | Ashgill | | 4 | | 443 | | | | | |
| | | | | | Caradoc | | 21 | | 464 | | | | | |
| | | | Dyfed | | Llandeilo | | 5 | | 469 | | | | | |
| | | | | | Llanvirn | | 7 | | 476 | | | | | |
| | | | Canadian | | Arenig | | 17 | | 493 | | | | | |
| | | | | | Tremadoc | | 17 | | 510 | | | | | |
| | | | Cambriano 60 | | Merioneth | | 7 | | 517 | | | | | |
| | | | | | Saint Davids | | 19 | | 536 | | | | | |
| | Caerfai | | | | (Len 18) | | 34 | | | | | | | |
| | | | | | (Atb/Tom 16) | | | | | | | | | |
| | Siniano ~230 | | Vendiano 40 | | Ediacara | | 20 | | 570 | | | | | |
| | | | | | Varanger | | 20 | | 590 | | | | | |

Anexo 1. Escala de tempo geológico simplificada para o Fanerozóico. Valores para a duração dos intervalos em milhões de anos (Ma). Idades para os limites entre os intervalos estão indicadas ao longo da margem direita. Este é o esquema sugerido por Harland *et al.*, em 1989. Outros esquemas existem que usam outros termos para as subdivisões abaixo do período e para a subdivisão do pré-Cambriano. A mudança mais recente nesta escala que não está aqui representada diz respeito ao limite Cambriano/pré-Cambriano que foi recalculado em 544 Ma e compactando a irradiação inicial dos invertebrados com carapaças ainda mais!



Anexo 2. Alguns eventos de escala global, plotados em uma escala de tempo linear. Os símbolos seguintes qualificam os nomes adjacentes aos eventos. Círculos com ponto = biotas distintas; círculos com uma cruz = eventos de extinção; triângulos = glaciações; asteriscos = impacto de asteróide Harland et al., 1989).

Lia 4501

Lia
75670573