

Desenvolvimento e prática dos princípios básicos da Estratigrafia

1. Introdução

- Etmologia: Estratigrafia

Stratum (Latim)

Graphia (Grego)



Estudo das rochas estratificadas



Sucessões e relações cronológicas entre os estratos

+

Forma, composição litológica, propriedades geoquímicas e geofísicas, distribuição e conteúdo fóssil (Bioestratigrafia), etc.

- Características
- Propriedades das rochas
- Interpretação do ambiente de formação (modo de origem)
- História geológica

1.2. Estratigrafia e classificações estratigráficas

- Ígneas, metamórficas, sedimentares;
- Corpos **não estratiformes** associados;
- Interpretação das camadas:
 - origem
 - ocorrência em área
 - ambiente
 - espessura
 - litologia
 - composição
 - Conteúdo fossilífero
 - idade
 - história sedimentar
 - paleogeografia
 - relações com a evolução orgânica
 - relações com outros conceitos geológicos
- Necessidade de separar conceito de tempo geológico e suas subdivisões, de uma classificação das rochas depositadas durante aqueles períodos de tempo:

* unidades do tempo geológico (Geocronológicas) → vários períodos do tempo geológico

* unidades tempo – rocha (cronoestratigráficas) → sistemas tangíveis de Rochas formadas durante aqueles períodos

Unidades

Cronoestratigráficas

Eonotema
Eratema
Sistema
Série
Andar

Geocronológicas

Éon
Era
Período
Época
Idade

Ex. Período Cambriano: todo o **tempo** entre 542 e 488 milhões de anos atrás.

Sistema Cambriano: refere-se a todas as **rochas** depositadas durante aquele intervalo de tempo.

- Unidades litológicas: independentes do tempo, identificadas pelo caráter litológico - **Formação:**

Grupos
Supergrupos
Membros
Camadas

- Outras unidades

Classification of Stratigraphic Units, Followed by the Basic Unit, as Presented in the 1986 North American Stratigraphic Code (Boldface Units Are Discussed in the Text)

I. Material Units

A. Lithostratigraphic	Formation
B. Lithodemic	Lithodemic
C. Magnetopolarity	Polarity Zone
D. Biostratigraphic	Biozone
E. Pedostratigraphic	Geosol
F. Allostratigraphic	Alloformation
G. Unconformity-Bounded Stratigraphic Unit	Synthem

II. Units Related to Geologic Age

A. Time Units

1. Geochronologic	Period
2. Polarity-Chronologic	Polarity Chron
3. Diachronic	Episode

B. Material Units Deposited during Specified Time Spans

1. Chronostratigraphic	System
2. Polarity-Chronostratigraphic	Polarity Chronozone

Source: From North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (1983), Table 1, p. 848. Reprinted by permission of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla. Addition of unconformity-bounded stratigraphic unit from ISSC (1987).

- Outras unidades

Classification of stratigraphic units, followed by the basic unit, as presented in the 1986 North American stratigraphic code (boldface units are discussed in the text)

▷ I. Material units

a. Lithostratigraphic	Formation
b. Lithodemic.....	Lithodeme
c. Magnetopolarity.....	Polarity zone
d. Biostratigraphic	Biozone
e. Pedostratigraphic	Geosol
f. Allostratigraphic.....	Alloformation
g. Unconformity-bounded stratigraphic unit..	Synthem

▷ II. Units related to geologic age

a. Time units

1. Geochronologic	Period
2. Polarity-chronologic.....	Polarity chron
3. Diachronic.....	Episode

b. Material units deposited during specific time spans

1. Chronostratigraphic	System
2. Polarity-chronostratigraphic.....	Polarity chronozone

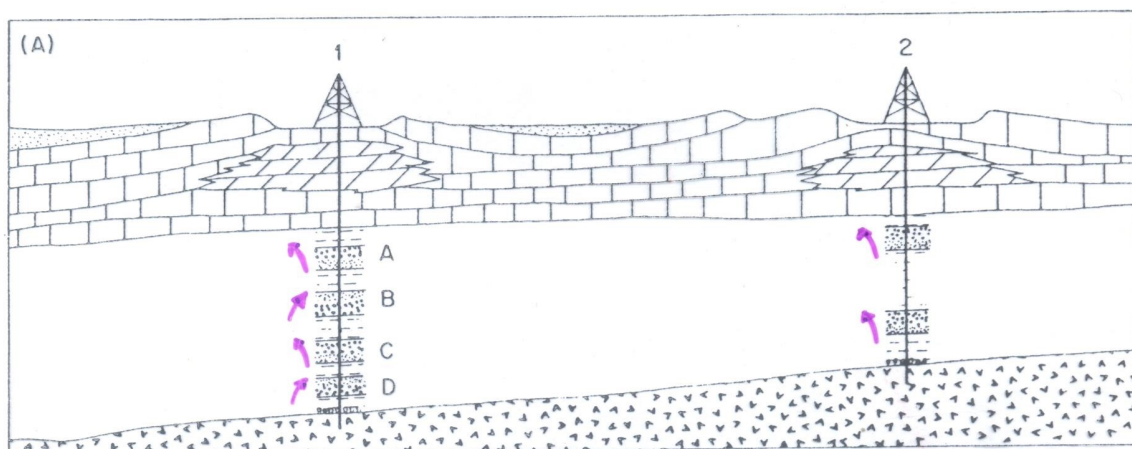
Source: from North American Commission on stratigraphic Nomenclature (1983), Table 1, p. 848. Reprinted by permission of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla. Addition of unconformity-bounded stratigraphic unit from ISSC (1987).

1.3. Estudos estratigráficos

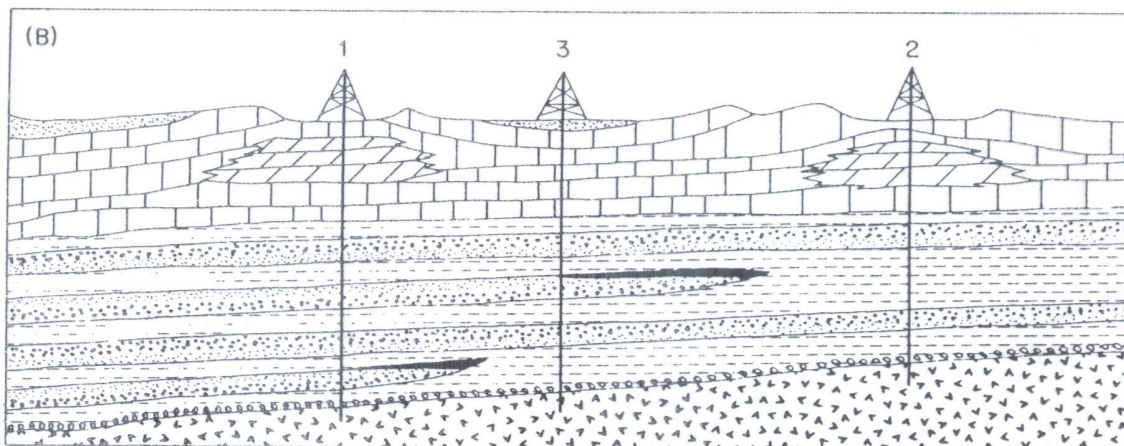
- **Descrição:** características e arcabouço local;
- **Correlação:** relações temporais mútuas das camadas e correlações com a escala padrão (Geologia Histórica);
- **Interpretação:** do registro estratigráfico em termos da história da Terra.
- **Ponto de vista filosófico:** entendimento da história da Terra.
- **Valor prático:** depósitos de valor econômico, ambiental, etc.

EXEMPLOS

- 1) Aplicação da Estratigrafia a um problema de exploração de petróleo.

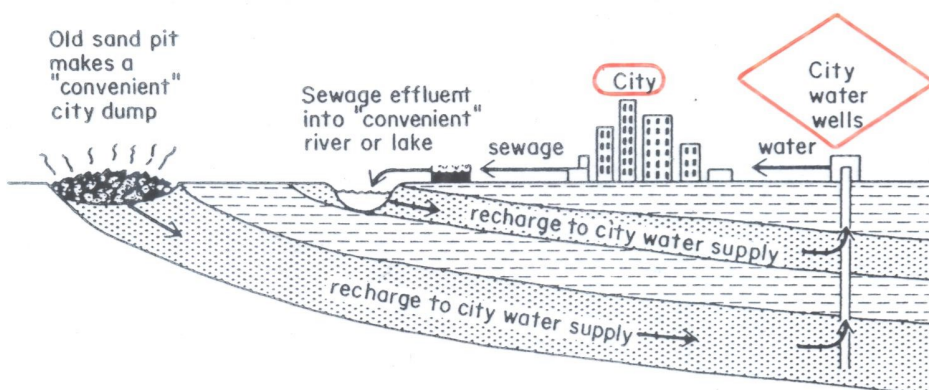


Application of physical stratigraphy to a local petroleum exploration problem. As indicated in A, dry holes (1) and (2) were drilled for the wrong reason, but they provide subsurface information from which the physical stratigrapher can begin to make more refined interpretations concerning local geology.



As indicated in B, the physical stratigraphy of boreholes (1) and (2) may logically lead to the location of borehole (3). See text for further discussion.

2) Uma " Comédia de erros" envolvendo a Estratigrafia e o Planejamento ambiental de uma cidade.



A "comedy of errors" concerning physical stratigraphy and city planning.

2. Conceitos fundamentais

2.1. Mudanças na Estratigrafia ao longo do tempo

> 1950 – 1960 – estudo de sequência locais

■ Dumar e Rogers: Princípios da Estratigrafia:

Sedimentologia atual → **processos** que formam

Sedimentos → **interpretação** das rochas

sedimentares (micro e macro);

Krumbein e Sloss – mesma linha. Ênfase nos processos tectônicos no interior do continente.

> 1960 – 1970 – mudanças fundamentais

- revolução da tectônica de placas – entendimento dos mecanismos formadores de bacias e faixas dobradas – reinterpretação de áreas clássicas nos termos do novo paradigma;

- crescimento explosivo da sedimentologia como disciplina;



- principais clássicos da Estratigrafia são frequentemente tratados como órfãos ou negligenciados;

> 1970 – dias atuais → desenvolvimento de técnicas = estratigrafia sísmica, magnética, isotópica, de sequência.

- interpretação dos ambientes deposicionais tornou-se a “chave” para os estudos estratigráficos, na medida em que um número cada vez maior de análogos modernos para sequências antigas é estudado.

2.2. Idéias sobre a Terra

> Culturas orientais: Terra eterna e imutável;

> Gregos e Romanos: visão naturalista – Terra em contínua mudança, governada por leis naturais;

Após queda de Roma: domínio da idéia bíblica – Terra com poucos milhares de anos. Livro do Gênesis;

> Idade Média: visão naturalista rejeitada; rochas permanentes e imutáveis; fósseis, cristais, concreções – mistério inexplicável;

> Início da Renascença: observações não explicadas pelas Sagradas Escrituras.

■ Leonardo da Vinci.

2.3. Leis de Steno (Niels Stenense, 1638 – 1686)

- Florença: camadas fossilíferas inclinadas;
- Livorno Semelhança entre *Glossopetrae* e dente de tubarão;



- “Rochas não tinham sido sempre sólidas, mas tinham sido sedimentos que endureceram ao redor das conchas e dos dentes de tubarão”.

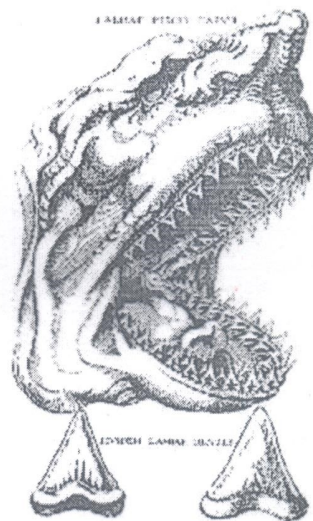


FIGURE 1.3 Drawing of shark published in Steno (1667). The dissection of such a beast allowed Steno to conclude that *glossopetrae* were actually fossil shark's teeth. From H. Faul and C. Faul, 1983, *It Began with a Stone*, Wiley, New York, Fig. 4.2, p. 36. Copyright © 1983. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

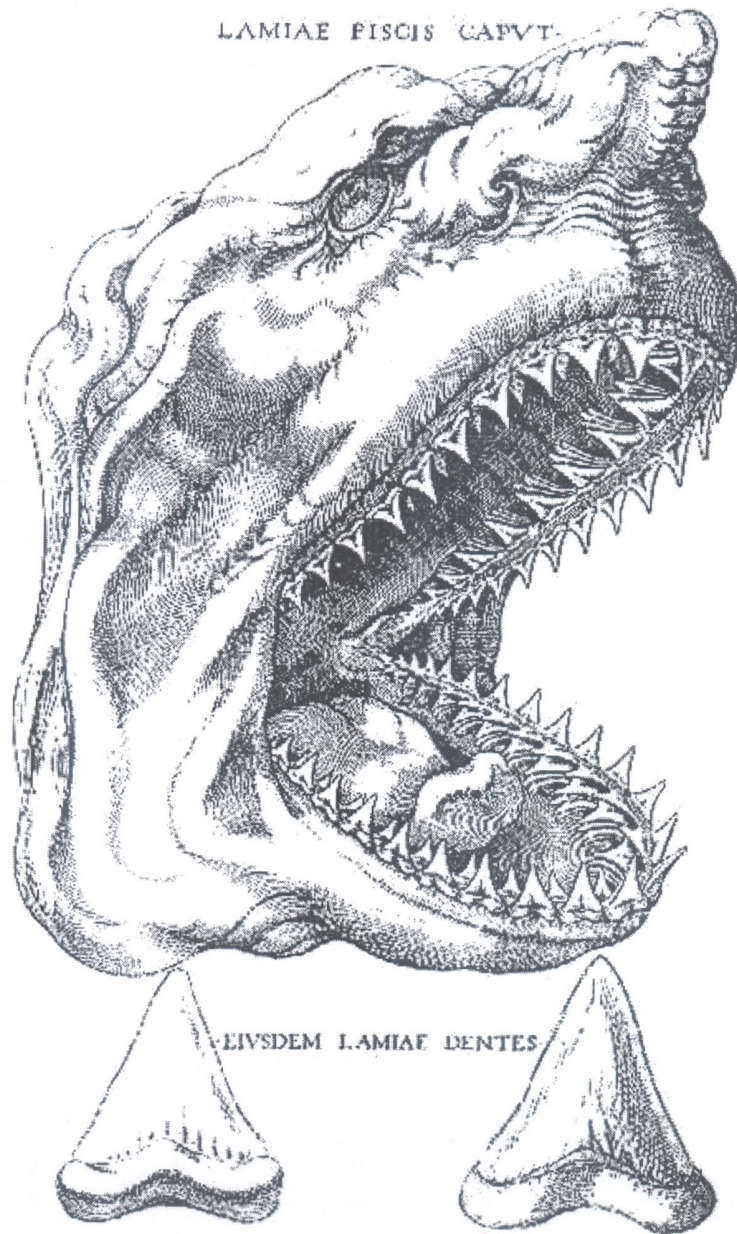


Figure 3.1 Steno's comparison of shark's teeth with Glossopetrae. The living shark was dissected by Steno and the teeth compared with the fossil objects known as Glossopetrae, illustrated here with the shark's head. This illustrated clearly for the first time the organic nature of fossils. [From: Mercati (1717) Metallotheca: The Vatican, p. 333. Reproduced with the permission of the Natural History Museum, London]

▷ Horizontalidade original

- “Sedimentos repousando sobre uma base sólida devem ter sido depositados **horizontalmente** ou deslizaram para um ponto mais inferior”.
- “Rochas que repousam em altos ângulos com a horizontal devem ter sido inclinadas após os sedimentos terem sido petrificados”.

▷ Continuidade original

- “Rochas sedimentares normalmente formam camadas contínuas que recobrem toda a Terra ou são limitadas por substâncias sólidas. Leitos descontínuos, que são similares em ambos os lados de um vale, devem ter sido separados de seu estado original contínuo pela erosão”.

▷ Superposição

- “Cada estrato foi depositado sobre um estrato sólido e, portanto, cada estrato é, necessariamente, mais jovem do que o outro sob ele”.
- “Assim, em qualquer sucessão de estratos de rocha, os mais inferiores são mais antigos e os estratos superpostos são progressivamente mais jovens”.

Consequências

- a. Geólogos poderiam estudar a sucessão de estratos em qualquer região e determinar as idades relativas das camadas;
- b. Trabalho de Steno implica que nenhum e simples dilúvio universal poderia ter depositado todos os estratos da Terra; e
- c. Que a história da Terra era mais longa e complexa do que o Gênesis indicava.

2.4. Uniformitarismo X Catastrofismo

- James Hutton (1726 – 1797)

> 1785 – Theory of the Earth;

“Processos de erosão e deposição que podem ser observadas atualmente estiverem sempre operantes ao longo da história da Terra”.

- Charles Lyell (1797 – 1875)

> 1830 – Principles of Geology;

“Terra teria sido moldada por eventos que prosseguiram de forma uniforme e gradual o longo do tempo geológico”.

- Uniformidade de processos = uniformitarismo
- Uniformidade gradual = gradualismo
- Uniformidade dos processos
- Razões dos processos variam } atualismo



O presente é a chave do passado

- Georges Cuvier (1769 – 1832)

- > doutrina das catástrofes (catastrofismo): A vida teria se extinguido e se recriado varias vezes devido a catástrofes.

- > Geologia moderna reconhece que a **razão** dos processos naturais variou e que **eventos catastróficos naturais** ocorrem e são registrados no registro geológico

- > Eventos catastróficos

- impactos de meteoritos e cometas;
 - terremotos;
 - vulcões
 - tempestades
 - Jokulhlaups e rompimento de barragens;
 - deslizamentos submarinos e subaéreos.

- > **Considerações**

- Processos e ambientes modernos são as nossas chaves para o entendimento da formação das rochas sedimentares e seu arranjo em padrões estratigráficos, mas há limitações nesta abordagem:

- 1º. A magnitude de eventos e as razões dos processos que ocorrem nos dias de hoje podem ter sido diferentes no passado;

- 2º. As complexas interações dos processos químicos, físicos e biológico, os quais controlam os ambientes deposicionais, produziram situações no passado que são bem diferentes de qualquer coisa que vemos atualmente.

→ Através do tempo geológico a Terra passou por numerosas mudanças nos controles fundamentais da sedimentação:



- O arranjo e o comportamento das placas crustais criaram situações tectônicas sem análogos modernos;
- O clima global apresentou ciclos de condições mais quentes e mais frias de curto e longo prazo, que afetaram o nível do mar e a distribuição dos ambientes sedimentares;
- Eventos catastróficos extraordinários, tais como impactos de meteoritos, produziram cenários ímpares, tanto localmente como em escala global;

- A evolução da vida resultou em um número de mudanças fundamentais na biosfera e na atmosfera;



- A evolução das plantas terrestres alterou radicalmente os processos físicos e químicos da superfície da Terra e o desenvolvimento de uma atmosfera oxigenada mudou o ambiente químico e biológico da superfície da Terra.



* As rochas sedimentares e a **Estratigrafia** devem, portanto, serem consideradas em termos desta dinâmica de evolução ambiental da superfície da Terra.

2.5. Facies

- Steno (1669): fácies = aspecto, aparência. Aspecto total de uma parte da superfície da Terra durante um certo intervalo do tempo geológico.
- Gressly (1838): fácies = designar mudanças laterais na aparência de uma unidade de rocha.

Unidades de rocha não são uniformes em litologias, mas mudam a medida que seus ambientes de deposição também mudam.

Def. "... uma fácies é a soma das características litológicas e paleontológicas de um depósito em um determinado lugar".

- Variações do significado do termo fácies.
- Lei da correlação de fácies (Johanes Walther, 1894);
 - Ambientes sedimentares que produzem fácies ocorrem em associações laterais;
 - Fácies formadas próximas em uma sequência vertical de rochas serão as mesmas encontradas adjacentes nos sistemas deposicionais modernos.



- Def.: “Lei de Walther” = “Somente podem ser superimpostos **primariamente** na vertical aquelas fácies e áreas de fácies que podem ser observadas lado a lado nos ambientes atuais”.

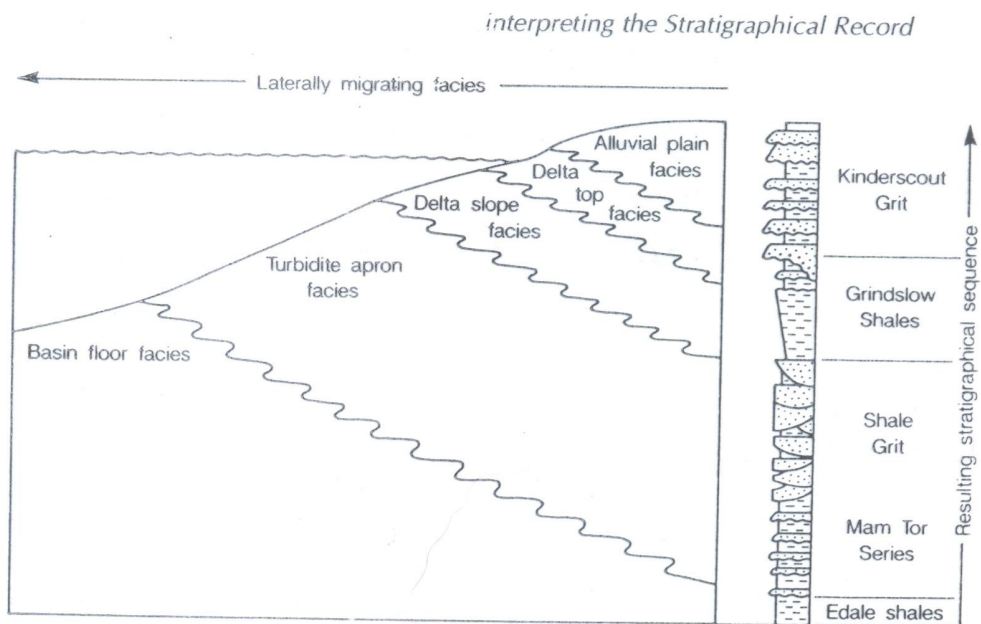


Figure 5.3 Illustration of Walther's principle. This diagram illustrates the principle that the lateral migration of sedimentary facies results in a vertical sequence of the same facies. [Modified from: Selley (1970) Ancient Sedimentary Environments, Chapman & Hall, Fig. 5.6, p. 86]

2.6. A integralidade do registro rochoso

- Contato ou limite = uma superfície que separa corpos contíguos
- Superfície de contato
 - Variação de textura/cor → continuidade
 - interrupção sedimentação → descontinuidade

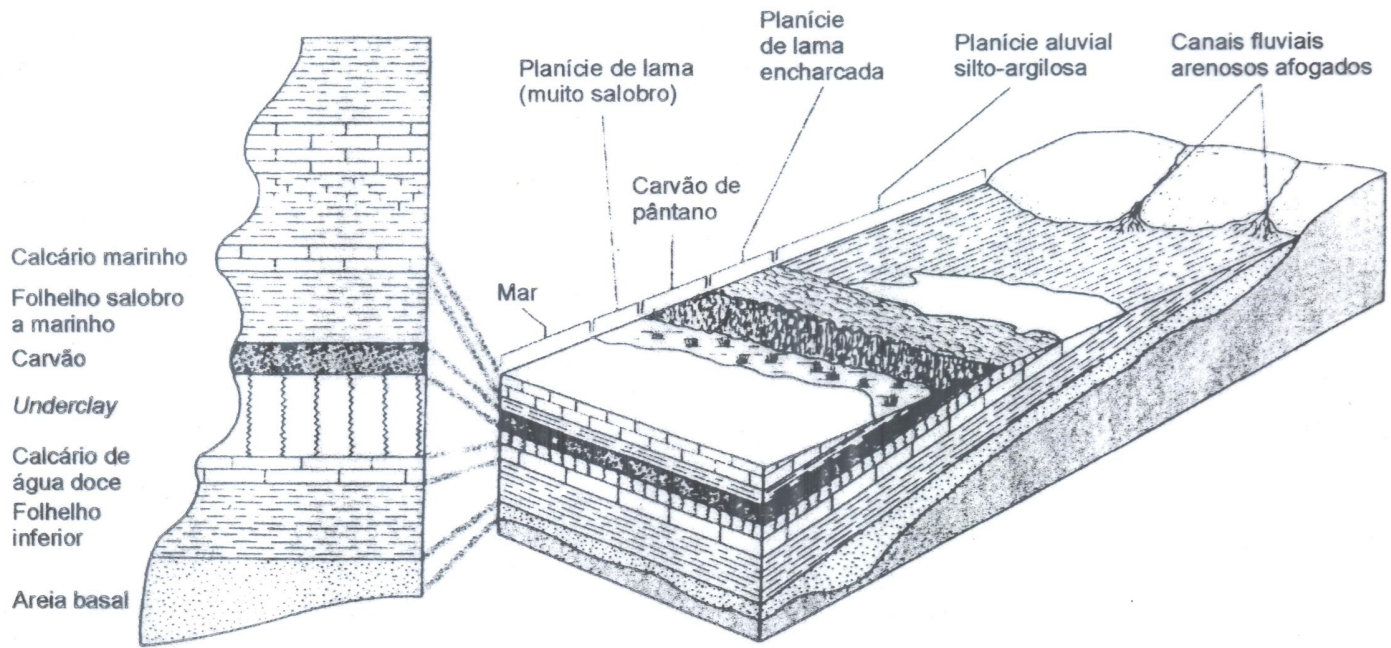


Figura. De acordo com a Lei de Walther, as fácies que ocorrem lateralmente em ambientes sedimentares adjacentes também ocorrem na vertical.

Interpreting the Stratigraphical Record

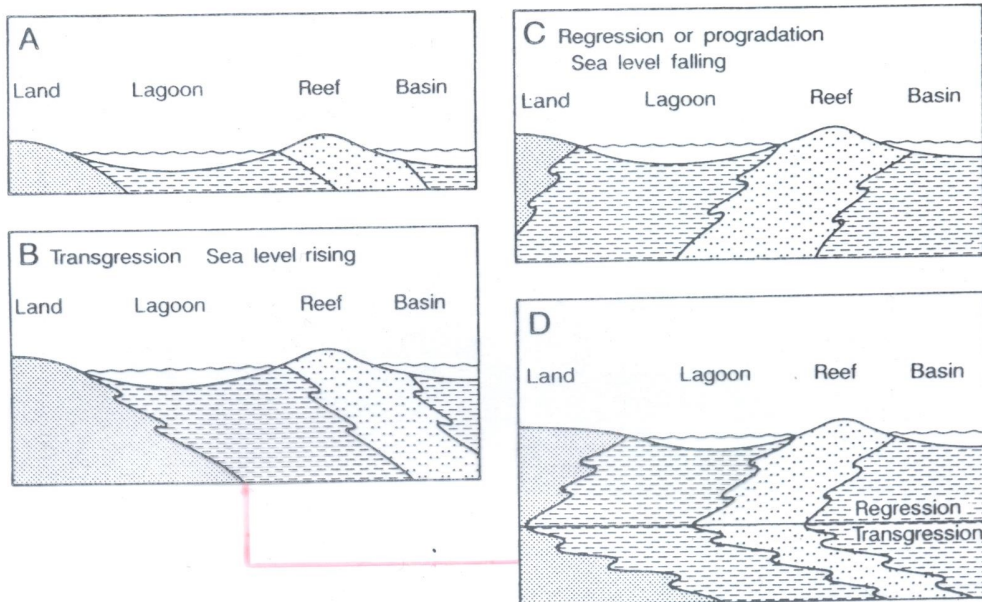
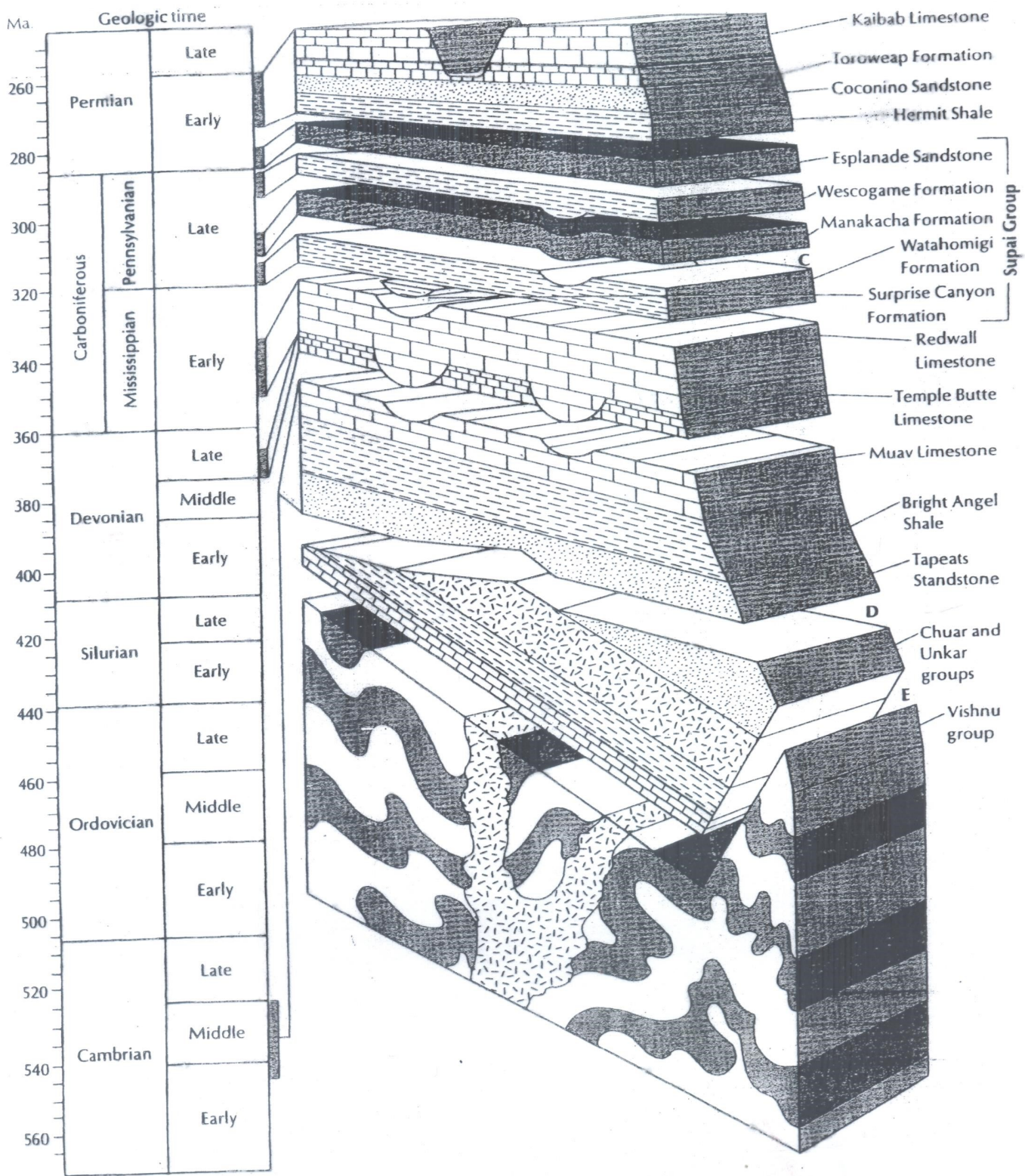


Figure 5.4 Facies patterns caused by transgressions and regressions of the sea. **A:** Distribution of facies. **B:** The facies pattern caused by a rise in sea level. **C:** The facies pattern caused by a fall in sea level. **D:** The facies pattern caused by a transgression and regression of the sea. [Modified from: Stanley (1986) *Earth and Life through Time*, Freeman, Fig. 5.9, p.125]



- Hiato = interrupção do registro geológico em um dado ambiente deposicional.
- Vacuidade de erosão = o espaço - tempo correspondente ao material destruído pela erosão.

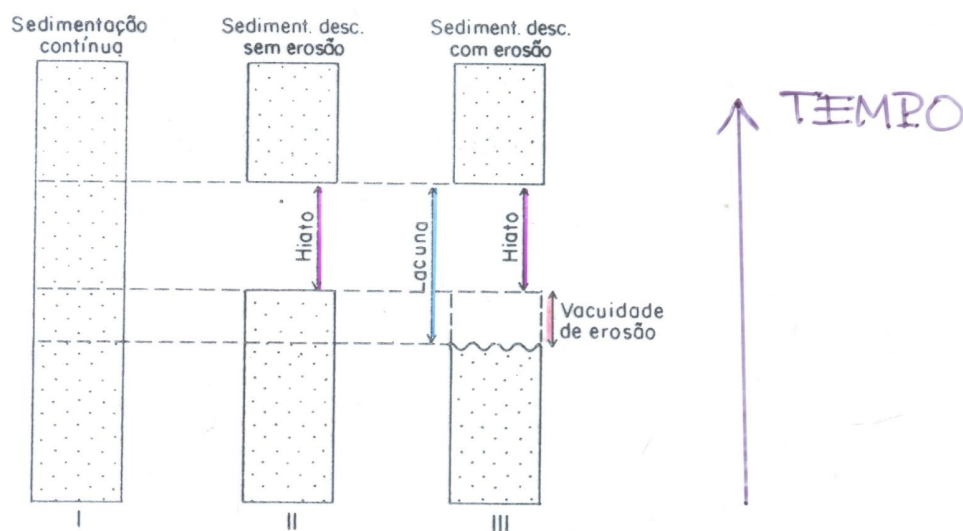


Fig. 13.5 — Hiato e lacuna. Explicação no texto; desc. — descontínua.

- Descontinuidades

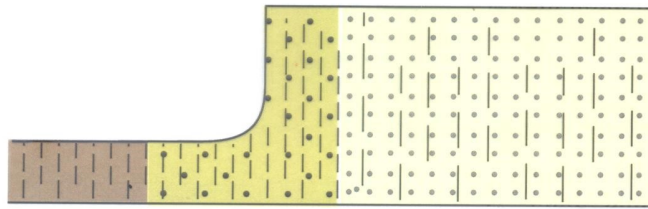
- menores = **diastemas**
- maiores = **discordâncias**

> **desconformidade (disconformity)** ou discordância paralela (parallel unconformity)

> **para conformidade**

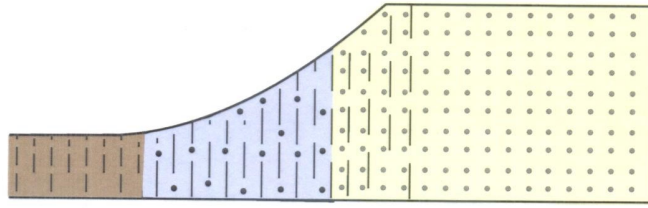
RELAÇÕES VERTICAIS ENTRE UNIDADES DE ROCHA

Gradacional
Misto



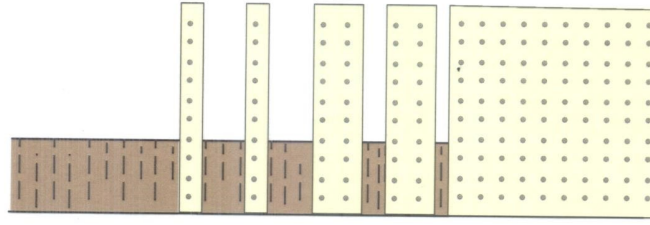
Ag St Ar

Gradacional
Contínuo



Ag St Ar

Intercalado



Ag St Ar

RELAÇÕES VERTICAIS ENTRE UNIDADES DE ROCHA

Relações de conformidade (continuidade)

Quando não há evidências significantes de interrupção de deposição entre unidades adjacentes:

Abrupto; Gradacional; Intercalado

- Contato Abrupto.

Normalmente não persiste em grandes áreas passando lateralmente para relações de descontinuidade (não conformidade). Associados a áreas de sedimentação lenta.

- Contato Gradacional.

Misto: mistura de termos finais entre arenito e argila.

Contínuo: diminuição gradativa da granulometria: arenito → argila (granodecrescência).

- Contato Intercalado.

Unidade de arenito com intercalações de argila a qual predomina na vertical.

> discordância angular (angular unconformity)

> inconformidade (nonconformity)

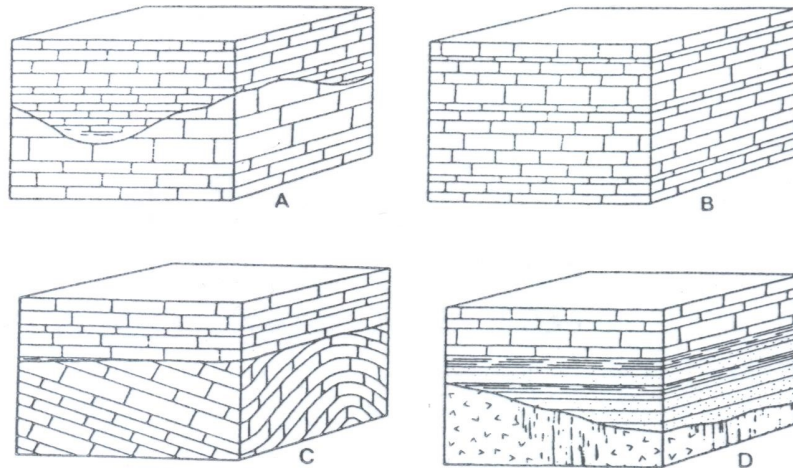
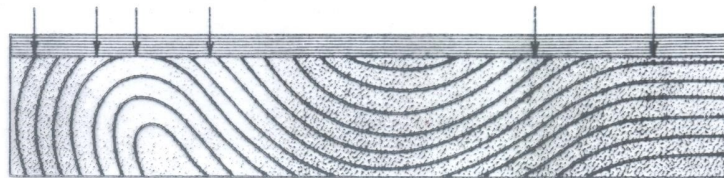


Fig. 13.6 — Tipos de discordância: A — discordância paralela ou desconformidade; B — paraconformidade; C — discordância angular; D — inconformidade. (Segundo Dunbar e Rodgers, 1957.)

FIGURE 1.17 Drawing illustrating that the angle of contact in an angular unconformity depends on the position within the fold and not on the amount of missing time. From C. O. Dunbar and J. Rodgers, 1957, *Principles of Stratigraphy*, Wiley, New York, Fig. 64, p. 123. Copyright © 1957. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.



DISCORDÂNCIAS

- Uma discordância é uma superfície que separa rochas de idades significativamente diferentes.
- Essa superfície representou, em determinado tempo, uma parte exposta subaereamente da superfície da Terra, ou a superfície da rocha sob um corpo de água (lago ou mar) e rochas mais novas foram depositadas sobre essa superfície.
- Justaposição de rochas de diferentes idades causada por falhamento não origina uma discordância.
- Uma discordância representa uma substancial quebra ou brecha no registro deposicional, local ou regional.
- Essa quebra no registro pode ter sido causada por erosão de rochas previamente depositadas ou por um longo período de não deposição de sedimentos: isto é, um período longo o suficiente de tal forma que a ausência de sedimentos de idade relevante pode ser reconhecida.
- Alguns autores sugerem que o termo diastema é uma quebra de menor duração no registro geológico.

Estratigrafia de eventos

▷ - Produtos de eventos catastróficos →geologicamente instantâneos
→pontuações da coluna estratigráfica →planos de tempo.

▷ - Horizontes isócronos →horizontes de eventos →Estratigrafia de eventos.

▷ - Eventos:

- Físicos: tefra ou leitos de cinzas

Tempestades

Tsunamis

Impactos meteoritos

Movimentos de massa

Reversão do campo magnético →magnetoestratigrafia

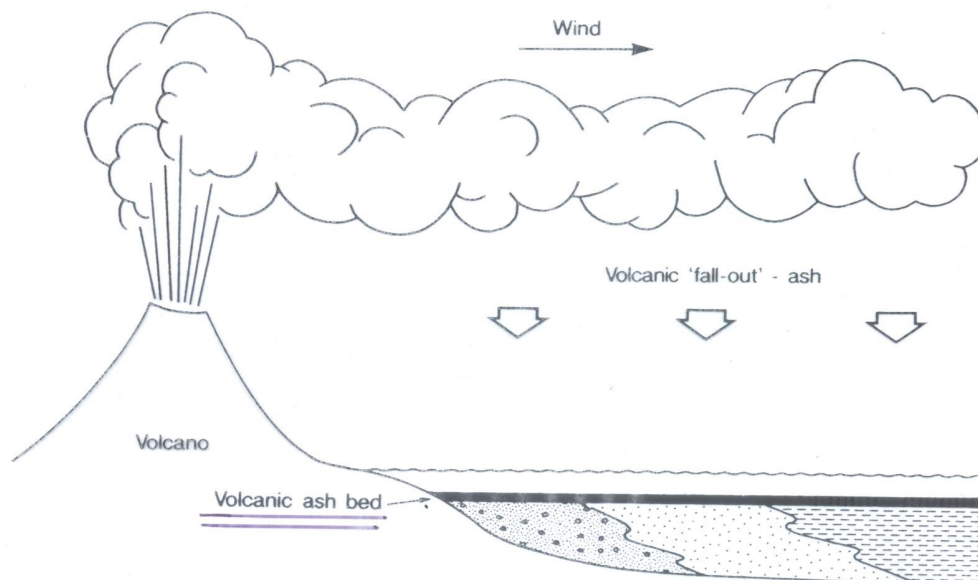


Figure 4.5 Tephrostratigraphy: an example of event stratigraphy. The layer of volcanic ash is deposited across several different depositional environments or facies and provides an isochronous horizon

- **Químicos**: quimioestratigrafia → concentrações não usuais de certos isótopos estáveis.

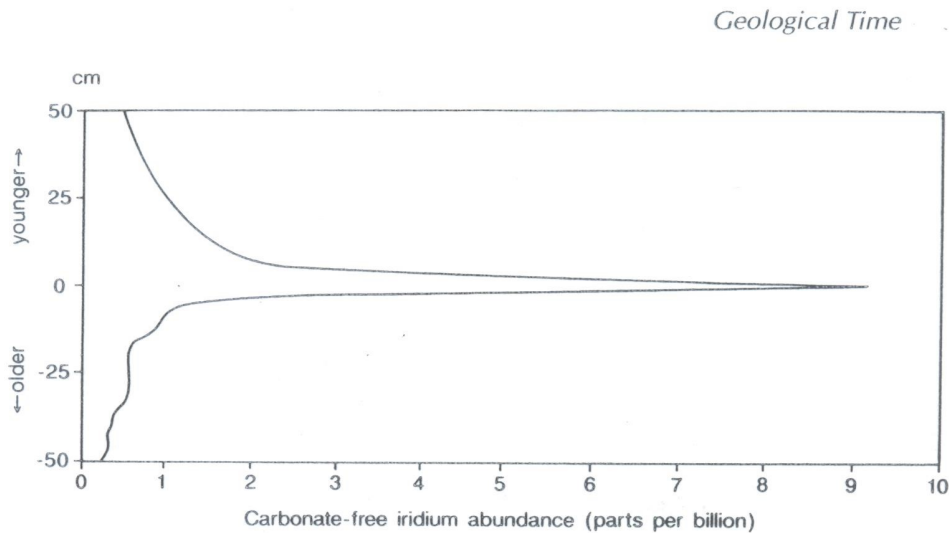


Figure 4.7 A chemical event horizon. The element iridium is concentrated into a distinct layer, and is detected through geochemical analysis as an anomaly or 'spike'. This layer of iridium has been considered to be a product of a major meteorite impact and forms an isochronous surface or event horizon. [Modified from: Alvarez & Asaro (1992) In: Bourriau (Ed.) Understanding Catastrophe, Cambridge University Press, Fig. 3. p. 35]

- **Biológicos**: colonização rápida de ambientes particulares. Normalmente associados com extinção em massa.
- **Compostos**: combinação F, Q, B