



# Geografia

## Geologia Geral

Marcus Vinícius Chagas da Silva  
Andrea Bezerra Crispim



Geografia



História



Educação Física



Química



Ciências Biológicas



Artes Plásticas



Computação



Física



Matemática



Pedagogia



# Geografia

## Geologia Geral

Marcus Vinícius Chagas da Silva  
Andrea Bezerra Crispim

1ª edição  
Fortaleza - Ceará



2019



Geografia



História



Educação  
Física



Química



Ciências  
Biológicas



Artes  
Visuais



Computação



Física



Matemática



Pedagogia

Copyright © 2019. Todos os direitos reservados desta edição à UAB/UECE. Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, dos autores.

Editora Filiada à



**Presidente da República**

Jair Messias Bolsonaro

**Ministro da Educação**

Abraham Bragança de Vasconcellos Weintraub

**Presidente da CAPES**

Abilio Baeta Neves

**Diretor de Educação a Distância da CAPES**

Carlos Cezar Modernel Lenuzza

**Governador do Estado do Ceará**

Camilo Sobreira de Santana

**Reitor da Universidade Estadual do Ceará**

José Jackson Coelho Sampaio

**Vice-Reitor**

Hidelbrando dos Santos Soares

**Pró-Reitora de Graduação**

Marcília Chagas Barreto

**Coordenador da SATE e UAB/UECE**

Francisco Fábio Castelo Branco

**Coordenadora Adjunta UAB/UECE**

Eloísa Maia Vidal

**Diretor do CED/UECE**

José Albio Moreira de Sales

**Coordenador da Licenciatura em Geografia**

Edilson Alves Pereira Jr.

**Coordenadora de Tutoria e Docência em Geografia**

Denise Cristina Bomtempo

**Editor da EdUECE**

Erasmo Miessa Ruiz

**Coordenadora Editorial**

Rocylânia Isídio de Oliveira

**Projeto Gráfico e Capa**

Roberto Santos

**Diagramador**

Francisco José da Silva Saraiva

**Conselho Editorial**

Antônio Luciano Pontes

Eduardo Diatahy Bezerra de Menezes

Emanuel Ângelo da Rocha Fragoso

Francisco Horácio da Silva Frota

Francisco José Camelo Parente

Gisafran Nazareno Mota Jucá

José Ferreira Nunes

Liduína Farias Almeida da Costa

Lucili Grangeiro Cortez

Luiz Cruz Lima

Manfredo Ramos

Marcelo Gurgel Carlos da Silva

Marcony Silva Cunha

Maria do Socorro Ferreira Osterne

Maria Salette Bessa Jorge

Silvia Maria Nóbrega-Therrien

**Conselho Consultivo**

Antônio Torres Montenegro (UFPE)

Eliane P. Zamith Brito (FGV)

Homero Santiago (USP)

Ieda Maria Alves (USP)

Manuel Domingos Neto (UFF)

Maria do Socorro Silva Aragão (UFC)

Maria Lírida Callou de Araújo e Mendonça (UNIFOR)

Pierre Salama (Universidade de Paris VIII)

Romeu Gomes (FIOCRUZ)

Túlio Batista Franco (UFF)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Sistema de Bibliotecas

Biblioteca Central Prof. Antônio Martins Filho

Lúcia Oliveira – CRB-3 / 304

Bibliotecário

S586g Silva, Marcus Vinícius Chagas da  
Geologia Geral / Marcus Vinícius Chagas da Silva, Andrea  
Bezerra Crispim. - Fortaleza : EdUECE, 2015.  
140 p. : il. ; 20,0cm x 25,5cm. (Geografia)  
Inclui bibliografia.  
ISBN: 978-85-7826-526-7  
1. Geologia. 2. Geografia física. 3. Tempo geológico. I. Crispim,  
Andrea Bezerra. II. Título. III. Série.

CDD 550

Editora da Universidade Estadual do Ceará – EdUECE  
Av. Dr. Silas Munguba, 1700 – Campus do Itaperi – Reitoria – Fortaleza – Ceará  
CEP: 60714-903 – Fone: (85) 3101-9893  
Internet: www.uece.br – E-mail: eduece@uece.br  
Secretaria de Apoio às Tecnologias Educacionais  
Fone: (85) 3101-9962

# Sumário

<b>Apresentação</b> .....	<b>5</b>
<b>Capítulo 1 – Bases conceituais da Geologia</b> .....	<b>7</b>
1. Considerações Gerais .....	9
1.2. Histórico da Geologia.....	10
2. A Grande Explosão – o Big Bang .....	11
2.1. O Sistema Solar .....	12
2.2. Formação da Terra.....	13
<b>Capítulo 2 – Tempo Geológico</b> .....	<b>15</b>
1. A Compreensão do Tempo Geológico.....	17
2. O Estabelecimento da Escala de Tempo, o Fóssil e a Sucessão Faunal e Datação Relativa e Absoluta .....	31
2.1. Fósseis e a Escala de Tempo .....	31
2.2. Princípios e Métodos de Datação Absoluta .....	35
<b>Capítulo 3 – Mineralogia</b> .....	<b>41</b>
1. Considerações Gerais .....	43
2. Aspectos Cristalográficos.....	43
3. Propriedades Físicas e Químicas dos Minerais.....	45
3.1 Classificação dos Minerais .....	46
4. Minerais e a sua Exploração.....	49
<b>Capítulo 4 – Formações Rochosas</b> .....	<b>51</b>
Rochas Ígneas ou Magmáticas.....	56
Rochas Ígneas Intrusivas (Plutônicas).....	56
Rochas Ígneas Extrusivas.....	57
Rochas Sedimentares.....	57
Rochas Metamórficas .....	60
Ciclo das Rochas .....	62
<b>Capítulo 5 – Estrutura e Interior da Terra</b> .....	<b>65</b>
Introdução .....	67
Movimentos Internos .....	74
<b>Capítulo 6 – Processos Internos</b> .....	<b>79</b>
Introdução .....	81
Processos Internos .....	81
Tectónica de Placas .....	81
Vulcanismo.....	86
Para Fixar.....	87

<b>Capítulo 7 – Orogênese e Epirogênese.....</b>	<b>89</b>
Introdução .....	91
Orogênese.....	91
Epirogênese .....	95
Para fixar .....	96
<b>Capítulo 8 – Processos Externos.....</b>	<b>97</b>
Introdução .....	99
Processos Externos .....	99
Intemperismo Físico.....	100
Processo Externo – Intemperismo Químico .....	101
Processo Externo – Intemperismo Biológico .....	102
Ação Da Gravidade – Movimentos de Massa.....	103
Para Fixar.....	106
<b>Capítulo 9 – Geologia Ambiental .....</b>	<b>109</b>
1. Bases Introdutórias .....	111
2. Conceitos Básicos .....	113
3. Riscos Geológicos .....	114
3.1 Avaliação de Risco.....	115
3.2 Prevenção de Acidentes Geológicos .....	116
<b>Capítulo 10 – Províncias Estruturais .....</b>	<b>119</b>
Introdução .....	121
Antecedentes .....	121
As Províncias Brasileiras .....	123
Para Fixar.....	124
<b>Capítulo 11 – Leitura e Interpretação de Mapas .....</b>	<b>125</b>
1. A importância dos mapas temáticos .....	127
2. Tipos Gerais de Mapas Geológicos .....	134
2.1. Mapas de Reconhecimento Geológico.....	135
2.2. Mapas de Geologia Regional.....	135
2.3. Mapas Geológicos Detalhados .....	136
2.4. Mapas Especializados .....	136
<b>Sobre os autores .....</b>	<b>140</b>

# Apresentação

Este material didático inaugura o leque de disciplinas da geografia física do curso de licenciatura a distância em Geografia da Universidade Aberta do Brasil. Esta importância deve-se ao fato de que todas as ações da natureza deixam marcas na Terra, essas evidências são estudadas pela Geologia. Além disso, a Geologia é a base do conhecimento técnico em geografia física.

O material foi estruturado em 11 capítulos e tendo como foco a educação a distância. Ao final de cada um dos capítulos, existem sites de consulta com reconhecido destaque nacional/internacional. Esses sites servem para aprofundamento da leitura além de realizar uma aproximação entre o conhecimento teórico, visto no presente material e o que se realiza nas instituições de pesquisa. Além disso, neste livro há revisões e questões para fixação do conhecimento. Essa estrutura foi proposta para que você tenha maior autonomia na hora de realizar seu estudo.

No capítulo 1, é abordada a formação do sistema solar, a formação do nosso planeta e os processos que envolvem tanto a formação do sistema solar quanto da Terra. É tratado ainda o histórico e a estruturação da Geologia enquanto ciência e suas subdivisões.

No capítulo 2, você aprenderá sobre o tempo geológico e sua diferença entre as demais formas do tempo. Verá que a escala temporal é muito importante para determinar a época das grandes alterações na configuração dos continentes na Terra. Saberá também sobre a cronoestratigrafia e sua importância.

No capítulo 3, será mostrado o conceito, o tipo, as características e a classificação dos minerais. As propriedades físicas e químicas foram trabalhadas, no final do capítulo, sobressaltando-se a importância econômica dos minerais para a humanidade.

No capítulo 4, evidenciou-se a formação das rochas. Abordou-se também sobre as diferenças entre os tipos de rochas e como a humanidade se apropria diferentemente dos espaços de acordo com o tipo da rocha.

No capítulo 5, você aprenderá quais são os principais processos envolvidos na estruturação interna do planeta Terra. Saberá identificar a influência da estrutura interna na ocorrência de fatos geológicos na superfície.

No capítulo 6, foram mostrados quais os processos internos da dinâmica da Terra que configuram o relevo terrestre e como esses processos influenciam na dinâmica da energia para a formação do relevo mundial.

No capítulo 7, será capaz de compreender que o interior da Terra não é estático, mas que possui movimentos. Esses movimentos são denominados de epirogênese e de orogênese. Serão, então, trabalhadas as diferenças de cada um desses movimentos e suas repercussões na crosta terrestre.

No capítulo 8, você entenderá quais são os principais processos da dinâmica externa da Terra que configuram o relevo terrestre, o que influencia e o que é influenciado pela dinâmica externa. Aprenderá também sobre o intemperismo (o que é e quais são suas diferenças) e reconhecerá quando ocorre um movimento de massa.

No capítulo 9, será apresentada a Geologia ambiental e qual a aplicação dela para os estudos ambientais. O capítulo 10 conclui a parte conceitual do material didático com a abordagem sobre as províncias estruturais brasileiras. O entendimento, a evolução, os conceitos envolvidos e sua importância na evolução do relevo do território brasileiro foram evidenciados.

E, finalizando o material, o capítulo 11 aborda a cartografia geológica. Neste capítulo, você será capaz de entender os tipos gerais de mapas geológicos e de identificar os métodos de representação.

O objetivo principal, ao final desta disciplina, é que você seja capaz de entender como os principais aspectos geológicos influenciam na configuração da Terra. Esse conhecimento é a base da geografia física, sobretudo para geomorfologia e pedologia. Conto com a sua força de vontade para assimilar os conhecimentos expostos aqui e repassá-los para quantas pessoas puder.

**Os autores**

**Capítulo**

**1**

# **Bases conceituais da Geologia**



## Objetivos

- Compreender como se deu o processo de formação do sistema solar e da Terra, bem como seus pressupostos teóricos;
- Entender os conceitos da Geologia e suas subdivisões.

## 1. Considerações Gerais

A Geologia é a ciência que estuda a Terra, sua composição, sua estrutura, sua história e vida no passado geológico. Essa ciência, por ser muito ampla e multidisciplinar, divide-se em: Geologia Física – que considera os materiais constituintes da Terra; estrutura e feições superficiais; processos envolvidos na estrutura e aparência; e a Geologia Histórica – que aborda a história da Terra (idade e a vida no passado geológico).

Devido à sua amplitude, a Geologia divide-se em vários ramos são eles:

- Mineralogia – estudo da composição, das propriedades, da formação e da ocorrência dos minerais;
- Petrologia – estudo da origem e da ocorrência das rochas;
- Petrografia – subdivisão da petrologia que estuda a descrição das rochas e da análises estruturais;
- Geofísica – estuda a estrutura, a composição e a dinâmica da Terra por métodos físicos (magnetometria, gravimetria e sismologia);
- Geologia Marinha – estudo da geomorfologia do substrato oceânico, dos processos associados à interação entre oceano e continente, e das feições geomorfológicas costeiras;
- Estratigrafia – caracterização das unidades estratigráficas e correlações com os processos evolutivos da Terra;
- Paleontologia – estuda a vida no tempo pré-histórico e sua evolução durante o tempo geológico;
- Geologia Médica – (recente) estuda os fatores e riscos geológicos à saúde humana e animal;

## 1.2. Histórico da Geologia

Desde o início da humanidade, o homem sempre teve interesse pelas rochas como fonte de matéria-prima para suas necessidades (facas, machados, gemas, vasilhas). Os estudos geológicos ganharam grande desenvolvimento por meio dos estudos desenvolvidos pelos gregos: Xenófanos (540 a. c.), que descreveu fósseis de peixes e conchas encontrados em depósitos nas montanhas; Aristóteles (384-322 a. c.), que reconheceu o processo de erosão e de deposição dos materiais, do qual acreditava que erupções vulcânicas e terremotos eram causados pelo escape de ventos provenientes do interior da Terra; Empédocles e Plínio, que descreveram erupções no Etna e em Pompéia.

Até o século XV, houve pouco desenvolvimento, visto que as pesquisas desenvolvidas tinham que ser aprovadas pela Igreja, que, até então, era a instituição de maior poder. Porém, ainda nesse período, foram desenvolvidas teorias que buscavam a origem das rochas, como:

- Netunismo – todas as rochas se formaram a partir de um grande oceano primordial – rochas com minerais menos solúveis se formaram no início; rochas mais solúveis, à medida que o oceano evaporasse – Abraham Werner;
- Plutonismo – considerava 3 processos formadores de rochas: sedimentar, magmático e metamórfico; importância do calor no interior da Terra na formação das rochas; propôs o ciclo das rochas (determinada rocha pode dar origem à outra) – James Hutton;

Outro conceito utilizado na Geologia é o Uniformitarismo, estabelecendo que o presente é a chave para o passado. Esse conceito foi proposto por James Hutton, considerado o pai da Geologia moderna, em 1785. Em outras palavras, esse conceito estabelece que os processos geológicos, que atualmente ocorrem na Terra, são os mesmos que ocorreram no passado geológico. Nos dias atuais, admite-se que a intensidade e a frequência desses processos estão sujeitas a mudanças naturais ou induzidas artificialmente.

No fim do século XVIII, os cientistas concordaram com a ordem das formações rochosas na Europa e aceitaram as seguintes sequências estratigráficas: 1. Terciária ou vulcânica; 2. Secundária; 3. Transição; 4. Primitiva.

Charles Darwin, em 1859, sugeriu um período longo para que as espécies pudessem evoluir. Esse cientista tentou estimar a taxa de erosão num grande vale ao sul da Inglaterra. Ele obteve um tempo de aproximadamente 300Ma. Assim, afirmou ser a Terra um planeta velho com idade da ordem de bilhões.

## 2. A Grande Explosão – o Big Bang

Os estudos desenvolvidos buscavam explicar a origem do universo. Na Antiguidade e na Idade Média, várias teorias foram desenvolvidas, porém a maioria era marcada por mitos e crenças religiosas.

Herman Bondi (1919-2005), Thomas Gold (1920-2004) e Fred Hoyle (1915-2001) propuseram que o universo era estacionário em todas as direções e imutável no tempo. Assim, ele se expandia e se contraía entre períodos de 40 bilhões de anos pela formação de massa. O termo Big Bang foi proposto por Fred Hoyle, em 1950, para o evento de início do universo.

Por meio do conhecimento existente sobre matéria e energia, radiações, partículas elementares, e fazendo uso dos recursos da Física teórica, incluindo modelagens e simulações, os cientistas reconstruíram, com grande precisão, as etapas sucessivas à Grande Explosão (TEIXEIRA, 2000). A figura 1 demonstra as etapas que ocorreram após o Big Bang.

Atualmente, esta é a teoria mais aceita para a origem do cosmo (estrelas, planetas, gases, poeira cósmica etc.). Postula que, há cerca de 14 bilhões de anos, toda a matéria do universo se concentrava em um único minúsculo ponto menor, que a cabeça de um alfinete.

Tempo	Raio do universo (metros)	Temperatura (K)	Eventos
Zero (inicial)	Zero	Infinita	Aparecimento de espaço, tempo e energia.
$5,4 \times 10^{-44}$ s	$1,6 \times 10^{-35}$	$10^{32}$	Fim do período Planckiano.
$10^{-43}$ s	$3 \times 10^{-35}$	$10^{31}$	Separação da Gravidade.
$10^{-35}$ s	$3 \times 10^{-27}$	$10^{28}$	Separação das forças Nuclear-Forte e Elétrica-Fraca.
$10^{-33}$ a $10^{-32}$ s	$3 \times 10^{-27}$ até 0,1	$10^{27}$ até $10^{32}$	Fase inflacionária.
$10^{-10}$ s	0,13	$10^{15}$	Separação das forças Nuclear-Fraca e Eletromagnética.
$10^{-9}$ s	0,4	$7,5 \times 10^{14}$	Estabilizam-se os quarks do tipo t (massa = 50 u).
		$7,5 \times 10^{13}$	Estabilizam-se os quarks do tipo b (massa = 5 u).
$10^{-8}$ s	300	$1,3 \times 10^{13}$	Estabilizam-se os quarks do tipo c (massa = 1,8 u).
		$3,3 \times 10^{12}$	Estabilizam-se os quarks do tipo s, d e u (massas 0,5 a 0,4 u).
		$\sim 10^{12}$	Estabilizam-se prótons e nêutrons.
$10^{-7}$ s	300.000	$1,4 \times 10^{10}$	Estabilizam-se os núcleos ${}^2\text{H}$ (energia de ligação = 1,7 MeV).
10 s	$3 \times 10^9$	$4,1 \times 10^9$	Estabilizam-se os elétrons (massa = 0,00055 u).
100 s	$3 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^9$	Estabilizam-se os núcleos ${}^3\text{He}$ e ${}^4\text{He}$ .
800.000 anos	$6,6 \times 10^{21}$	3.000	Captura de elétrons pelos núcleos. Formação de átomos de H e He e moléculas $\text{H}_2$ . O Universo torna-se transparente para a luz.

Obs:  $u = 1,660540 \times 10^{-27}$  kg.

Figura 1 – Cronologia do Big Bang.

Fonte: TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI.

Lemaître, padre belga, propôs, em 1927, que toda a matéria do universo estivesse concentrada no que ele chamou de átomo primordial, o qual se partiu em vários pedaços até formar os átomos presentes no universo. O modelo proposto por Lemaître estava errado, porém inspirou os cosmologistas modernos.

Muitas dúvidas surgem sobre a origem do universo. Teria ele surgido do nada?

Teorias modernas abordam o “nada quântico”, onde universos bebês podem surgir ocasionalmente do “multiverso” ou “megaverso”.

Algumas versões do multiverso afirmam que ele é eterno, portanto, excluindo a primeira causa (não criado). Flutuações de energia a partir do nada dando origem a pequenas bolhas de espaço (universos-bebês). A maioria dessas flutuações desaparecem retornando à sopa quântica de onde vieram. Nos tempos primordiais do Big Bang, o cosmo era tão quente e denso que as diversas forças vistas atualmente agiam como uma só. Naqueles tempos, essa força poderia ser descrita por uma única teoria. Atualmente, a teoria das supercordas é cotada como a principal teoria unificada que possa responder essas questões do início do universo. Essa teoria propõe que o universo, numa visão profunda, é composto de laços de cordas tão pequenos (10- 33cm) que vibram constantemente. Dependendo do seu modo de vibração, pensa-se que elas dão origem às propriedades observadas nas partículas conhecidas (quark ou elétron).

Existem duas formas de se calcular a idade do Big Bang: olhando para as estrelas mais velhas (globular cluster), a partir da massa das estrelas – intensidade do brilho comparado com o sol; e medindo a taxa de expansão do universo extrapolando o início do Big Bang (Hubble Constant -  $H_0$ ).

O Sistema Solar se formou graças a condensação de matéria que forma estrelas assim como o Sol dentro da nossa galáxia. Explosões, aglutinações formam planetas e cinturões de asteroides, bem como gás e poeira. Nesse processo, diversos corpos colidiram, formando grandes planetas, luas e asteroides.

## 2.1. O Sistema Solar

O Sol é uma estrela de média grandeza, ocupando a posição central do sistema. Encontra-se formando Hélio, pela queima, e Hidrogênio há cerca de 4,6 bilhões de anos.

Os demais corpos que pertencem ao Sistema Solar (planetas, satélites, asteroides, cometas, além de poeira e de gás) formaram-se ao mesmo tempo em que sua estrela central. Isso confere ao sistema uma organização harmônica no tocante à distribuição de sua massa e às trajetórias orbitais de seus corpos maiores, os planetas e os satélites (TEIXEIRA, 2000).

As diferenças fundamentais entre os planetas internos e externos podem ser atribuídas à sua evolução química primitiva. Basicamente, os últimos são gigantes gasosos, com constituição química similar à da nebulosa solar, enquanto que os mais internos são constituídos por materiais mais densos (TEIXEIRA, 2000).

Alguns modelos determinam que a origem do Sistema Solar remonta de uma nebulosa de gás e de poeira cósmica, com composição química correspondente à abundância solar dos elementos.

## 2.2. Formação da Terra

Há cerca de 4.6 Ga uma nuvem (nebulosa) em forma de disco que orbitava o Sol, rica em poeira e em gelo, deu origem aos planetas, satélites, asteroides e cometas, por acreção.

Pensava-se que a Terra primordial era composta por Hidrogênio, porém a leveza do elemento e seu alto grau de reação o dissiparia. A Terra é o único planeta com a superfície azul visível, fato que pode ser explicado pela temperatura precisa, pela pressão atmosférica constante e pela distância do Sol.

A formação da Terra se deu de acordo com as seguintes etapas:

- Resfriamento (4,5 Ga – 3,5 Ga)– Elementos leves flutuam e pesados afundam para o interior – Processo de diferenciação por densidade;
- Formação do núcleo interno (Ferro e Níquel);
- Colisões constantes na Terra jovem;
- 4 Ga – Formação da crosta terrestre rica em rochas SiO<sub>2</sub>; Atividades vulcânicas;
- Atmosfera primordial – Liberação de CO<sub>2</sub> do interior e acreção de gases do espaço, inclusive por impacto de cometas;
- Composição – CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (vapor), N<sub>2</sub>; Condensação de gases e esfriamento dão origem às primeiras chuvas (sopa primordial);
- Oceanos se formam em aproximadamente 3,8 Ga – surgem as primeiras formas de vida;
- 3,5 Ga em diante - CO<sub>2</sub> incorporado às rochas (depósitos de rochas carbonáticas) e aos oceanos;
- Atmosfera contém O<sub>2</sub> significativo, oriundo da fotossíntese das cianobactérias.

## Leituras, filmes e sites



UNESP:

<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter02.html>

Fundamentos de Geologia:

[http://www.oocities.org/fundamentos\\_geologia/index.html](http://www.oocities.org/fundamentos_geologia/index.html)

Universidade Federal de Juiz de Fora:

<http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/conteudo/astronomia/big-bang/>

## Atividades de avaliação



1. Qual a importância do estudo geológico na atualidade?
2. Quais as subdivisões da Geologia? Explique-as.
3. Explique o processo que originou o universo, bem como o Sistema Solar.

## Referências



GLEISER, M. **A dança do universo**: dos mitos de Criação ao Big Bang - São Paulo : Companhia das Letras, 1997.

TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

2

Capítulo

Tempo Geológico



## Objetivos

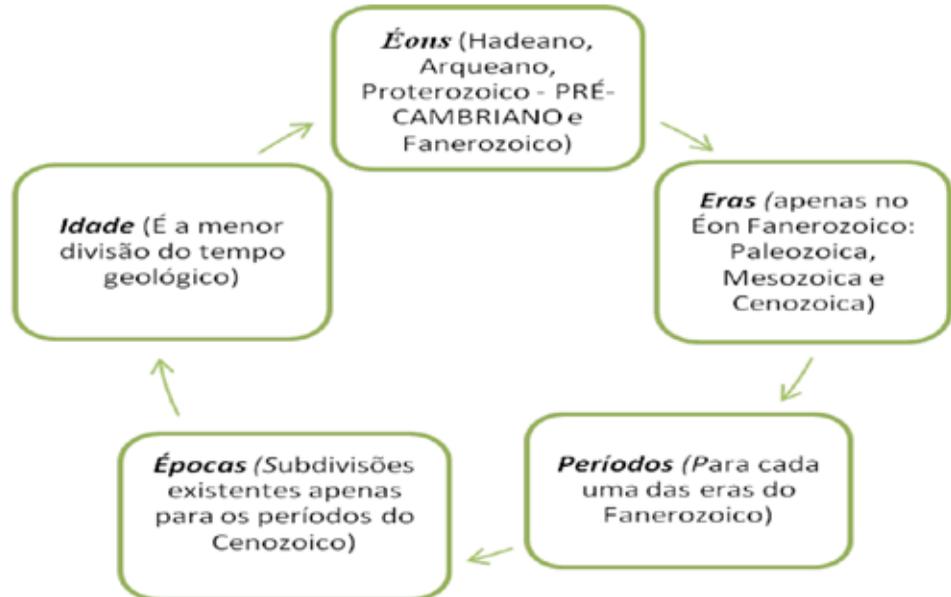
- Entender a importância do tempo geológico unidades cronoestratigráficas;
- Compreender os eventos da escala do tempo geológico.

### 1. A Compreensão do Tempo Geológico

O planeta Terra possui uma dinâmica particular. Desde a sua origem, passando pelo surgimento da vida no planeta e pelo cenário atual físico-natural que a Terra apresenta, não observamos, em nenhum outro planeta do Sistema Solar, o equilíbrio para condições da manutenção das condições de vida dos seres vivos. Mas devemos lembrar que nem sempre foi assim.

A compreensão de como o planeta Terra evoluiu ao longo dos milhões de anos passa por uma visão de tempo, que, conforme Press *et al.* (2006), iremos perceber a partir de um trajeto pela visão geológica do tempo. De acordo com os autores, os geólogos estimam que a Terra tem cerca de 4,5 bilhões de anos. Antes disso, há 3 bilhões de anos, células vivas desenvolveram-se sobre a Terra, mas nossa origem humana ocorreu há apenas poucos milhões de anos. Para entendermos tal questão, viajaremos um pouco sobre a escala do tempo geológico.

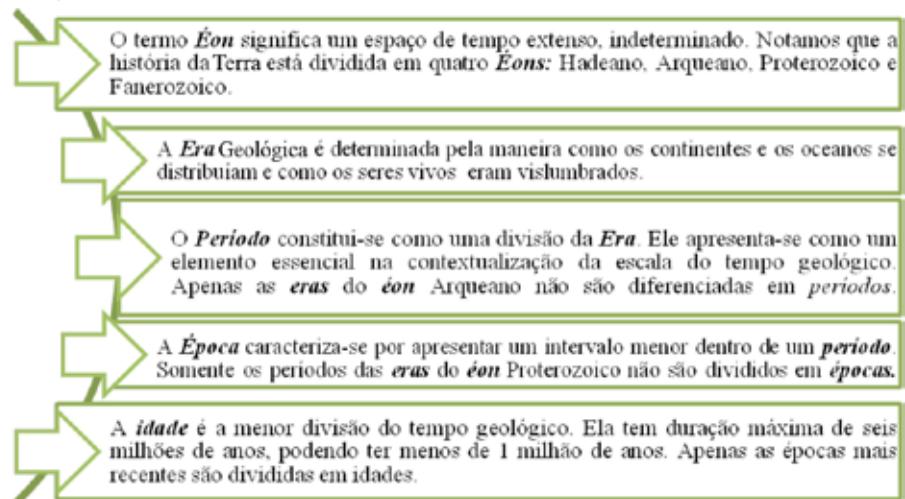
A escala de tempo geológico concebe a linha do tempo desde o período atual até a formação da Terra. Ela está dividida, para fins de estudo e de entendimento da evolução da Terra, em intervalos menores, chamados unidades cronoestratigráficas, sendo divididas em:



**Esquema 01** – Unidades Cronoestratigráficas.

Fonte: Elaboração dos autores.

As unidades cronoestratigráficas se fundamentam nos grandes episódios geológicos da história da evolução do planeta. Nesse sentido, entendemos que:



**Esquema 02** – Definições sobre as unidades cronoestratigráficas.

Fonte: CPRM (2009).

Nesse sentido, as delimitações cronológicas realizadas devem servir de padrão cronológico absoluto à ciência geológica, porém ainda não existe consentimento entre os cientistas quanto aos nomes e aos limites de suas divisões. Entendemos que:

As sub-classificações foram estabelecidas ainda antes do desenvolvimento dos métodos de datação absoluta. As subdivisões de tempo definidas, assim, não representam intervalos de tempo análogos, porém conjecturam a possibilidade de descobrir os detalhes da evolução geológica em todos os tempos.

O mais atual registro geológico é mais completo e apresenta maior número de fósseis, permitindo delimitar intervalos temporais menores.

O registro da evolução geológica antiga é muito mais fragmentado e, com a ausência de fósseis, possibilita apenas a delimitação de intervalos de tempo maiores, marcados por grandes eventos globais.

### Esquema 03 – Perspectiva sobre as divisões das unidades cronoestratigráficas.

Fonte: Elaboração dos autores.

#### Saiba mais



Você sabia que as informações sobre o Éon Hadeano são quase inexistentes. Deste modo, não existem subdivisões oficiais. Dessa maneira, as principais divisões da escala de tempo geológico lunar ocorreram no Hadeano; a partir disso, muitos cientistas utilizam como referência dos acontecimentos do tempo geológico lunar de modo não oficial, para fazer referência aos mesmos períodos de tempo na Terra.

Observando isso, compreende-se que definir o início da história da Terra é difícil, pois, conforme Popp (1995), dever-se-ia estabelecer em qual momento os elementos que compõem o nosso planeta, que foram criados em diversos estágios da evolução estelar, agruparam-se e se organizaram para formar a Terra.

#### Saiba mais



A Terra forma-se como planeta há aproximadamente 4,5 bilhões de anos. As rochas com idade de até 4 bilhões de anos foram resguardadas na sua crosta. A evidência mais antiga de vida foi encontrada em rochas com idade de cerca de 3,5 bilhões de anos. Há cerca de 2,5 bilhões de anos, a quantidade de oxigênio na atmosfera cresceu devido à fotossíntese dos vegetais primitivos. Os animais surgem de repente há cerca de 600 milhões de anos, diversificando-se rapidamente em uma grande explosão evolutiva. Em seguida; a evolução da vida foi marcada por uma série de extinções em massa, a última delas causada pelo impacto de um grande bólido há 65 milhões de anos, que extinguiu da Terra os dinossauros. Nossa espécie surgiu há 40 mil anos (PRESS, et al., 2006).

Assim, compreender o surgimento do universo, dos sistemas solares e dos planetas, particularmente, da Terra, a partir do “*Big Bang*”, é analisar a escala do tempo geológico. Observe a tabela 1 de escala do tempo geológico abaixo.

Tabela 1

Descrição dos eventos da Escola do Tempo Geológico	
PRÉ-CAMBRIANO (4.600 M.A.-542 M.A.) – Consiste no termo informal que compreende os três primeiros Éons desde a formação da Terra até o início do Cambriano. Envolve os Éons: Hadeano, Arqueano e Proterozoico.	
Éon Hadeano	<p>Designa-se Hadeano como os primeiros 600 milhões de anos da Terra. Nesse momento, ocorreu a formação de um núcleo de ferro circundado por um manto, no qual o resfriamento levou à formação de uma crosta com modificações constantes. A desintegração de elementos radioativos, como o urânio, resultou na formação do mineral mais antigo de que se tem conhecimento- o Zircão – datado da 4.400m.a. O Hadeano caracteriza-se, dessa forma, como a fase da história da Terra, iniciada há 4,54 bilhões de anos, quando começou a formação dos planetas do nosso sistema solar. Terminou há 3,85 bilhões de anos, quando apareceram as primeiras rochas. A União Internacional das Ciências Geológicas não reconheceu esse Eon, englobando o intervalo de tempo a que ele se refere no Arqueano. Porém, a divisão Hadeano/Arqueano é amplamente aceita por vários autores (POPP, 2012) (CPRM, 2009).</p>  <p>Figura 1 - Terra primitiva. Fonte: <a href="http://www.collectionfossilis.blogspot.com.br">www.collectionfossilis.blogspot.com.br</a></p>
Éon Arqueano	<p>É considerado o Éon de mais longa duração, abrangendo o tempo perpassado entre 4.000 m.a e 2.500 m.a. Ocorreram intensos vulcanismos e a formação da maior parte da crosta terrestre. A formação dos primeiros oceanos e a combinação do dióxido de carbono com os gases da atmosfera primitiva (amônia, sulfeto de hidrogênio e hidrogênio) deu lugar aos primeiros compostos orgânicos. Com eles, surgiram as primeiras formas de vida anaeróbica, os procariotas (células sem núcleo e assexuadas) (POPP, 2012). O Arqueano divide-se em quatro eras: Eoarqueano (3,85-3,6 bilhões de anos), fase em que a Terra era ainda muito bombardeada por meteoritos. Paleoarqueano (3,6 a 3,2 bilhões de anos), quando surgiram os primeiros continentes. Mesoarqueano (3,2 a 2,8 bilhões de anos). Neoarqueano (2,8 a 2,5 bilhões de anos). Era em que a tectônica de placas pode ter sido bastante similar à de hoje (CPRM, 2009).</p>  <p>Figura 2 - Atividade vulcânica na Terra primitiva. Fonte: <a href="http://paleoenciclopedia.blogspot.com.br">paleoenciclopedia.blogspot.com.br</a></p>

Data-se de 2.500 m.a. - 542 m.a. Caracterizou-se por ser uma fase de transição, em que o oxigênio se acumulou na litosfera, formando óxidos, principalmente de silício e de ferro. Surgem os seres eucariontes e, um bilhão de anos atrás, muitos outros tipos de algas começaram a aparecer, incluindo algas verdes e vermelhas. Rodínia foi o primeiro supercontinente formado há cerca de 1.100 m.a., dividindo-se no final do Proterozoico (750 m.a.). O Proterozoico pode ser dividido em três eras: Paleoproterozoico (de 2,5 a 1,6 bilhões de anos), quando surgiram os primeiros seres eucariontes. Mesoproterozoico (de 1,6 a 1,0 bilhão de anos). Era em que se formou o supercontinente Rodínia (figura abaixo) e surgiu a reprodução animal sexuada. Neoproterozoico (1,0 bilhão de anos a 542 milhões de anos). No fim dessa era, acaba o éon Proterozoico, merecendo destaque a conhecida fauna Ediacara, nome que originou a denominação do último período do éon, o Ediacarano (cuja idade situa-se entre 575 m.a. e 542 m.a.) Aparentemente, esses animais sofreram extinção em massa ainda nesta era.

Éon Proterozoico



Figura 03 - Supercontinente Rodínia.

Fonte: kennislink.nl/publicaties/aarde-gekanteld-door-superconti



ÉON FANEROZOICO (542 M.A – 2.000 ANOS) – Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).

Era Paleozoica

Período  
Ordoviciano (488  
m.a. – 443 m.a.)

Com duração de aproximadamente 44 milhões de anos, foi uma fase de enorme biodiversidade. O nome ordoviciano provém de uma tribo celta que habitava a região de Gales, conhecida como Ordovices. A maior área continental era o continente de Gondwana, localizado no polo Sul. Havia um grande oceano, o Pantalassa. O clima do ordoviciano mostrava temperaturas médias e atmosfera muito úmida. No final, porém, formaram-se grandes geleiras, o que causou provavelmente as extinções maciças que caracterizam essa fase. Cerca de 60% de todos os gêneros e 25% dos invertebrados marinhos de todas as famílias foram extintos.

Apareceram os primeiros vertebrados e animais gigantes, como artrópodes marinhos de dois metros, além dos primeiros peixes sem mandíbula e com pares de nadadeiras (CPRM, 2009).



Figura 5 - Terra no Ordoviciano.

Fonte: <http://www.avph.com.br/ordoviciano.htm>

ÉON FANEROZOICO (542 M.A - 2.000 ANOS) - Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).

Era Paleozoica

Período Siluriano  
(443 m.a. - 416 m.a)

O nome Siluriano também provém de uma tribo celta, ao sul de Gales, os Silures. No início desse período, na medida em que o gelo derretia, o nível do mar se elevava e as populações marinhas voltavam a se expandir, principalmente, nas regiões equatoriais, junto ao continente Euroamericano. Surgiram recifes de corais e os primeiros peixes com mandíbula. Os artrópodes aquáticos, aracnídeos e miriápodes surgiram junto com as plantas com sistema radicular primitivo, que conduzia água e alimento das raízes às folhas, as licophitas (CPRM, 2009) (POPP, 2012).

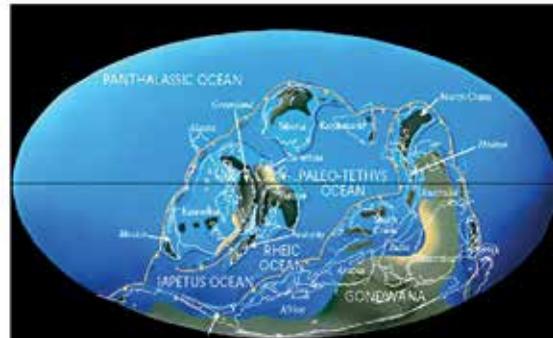


Figura 6 - Terra no Siluriano.

Fonte: <http://www.avph.com.br/cambriano>

Era Paleozoica

Período Devoniano  
(416 m.a - 359 m.a.)

As rochas foram estudadas pela primeira vez em Devon, região da Inglaterra. A Terra era dividida, nesse período, em três continentes: a) Euroamericano; b) Gondwana; e c) Siberiano. Nesse período, os peixes sofreram uma grande evolução, resultando nas formas pulmonadas e com nadadeiras lobadas, os crossopterígijs, ancestrais dos anfíbios. Também destacam-se as plantas com sementes, que se expandiram sobre a Terra (gimnospermas). Formaram-se as primeiras florestas no final do período, assegurando a vida de insetos voadores e de anfíbios que se locomoviam nesses ambientes.

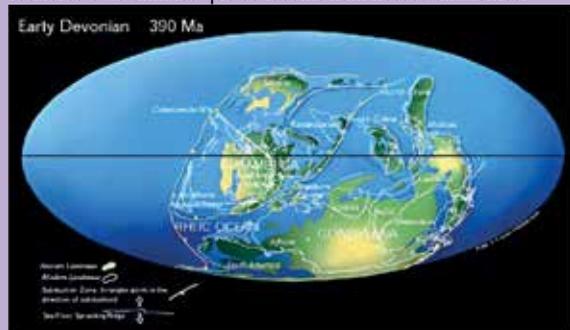


Figura 7 - Terra no Devoniano.

Fonte: <http://www.infoescola.com/historia/periodo-devoniano>

ÉON FANEROZOICO (542 M.A - 2.000 ANOS) – Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).

Era Paleozoica

Período Carbonífero  
(359 m.a. - 299  
m.a.)

A origem do nome deve-se as camadas de carvão que ocorrem na Europa Ocidental e no Reino Unido. Nele, apareceram os Montes Apalaches, pelo choque da Europa e África com a costa leste dos Estados Unidos.

Caracteriza-se como o período em que surgiram as grandes florestas e consequente formação das grandes jazidas de carvão. Árvores que caíam em pântanos eram soterradas sem se decomporem, pois havia pouco oxigênio. O soterramento levava a um aumento da temperatura, o que causava transformações químicas, resultando no carvão, através de várias etapas: turfa - linhito - hulha - antracito. No final do Carbonífero, os répteis adquiriram a capacidade de se reproduzir em terra (CPRM, 2009). Um dos maiores eventos do Carbonífero foi o aparecimento do ovo amniótico. Esses ovos têm uma membrana rija e impermeável à água. Nas áreas pantanosas, desenvolveram-se as pteridófitas (samambaias, esfenófitas e licófitas), que atingiram cerca de 30 metros de altura. O carbonífero pode ser dividido, na América do Norte, em dois subperíodos: o Mississippiano (Carbonífero inferior) e o Pensilvaniano (Carbonífero superior) (POPP, 2012).

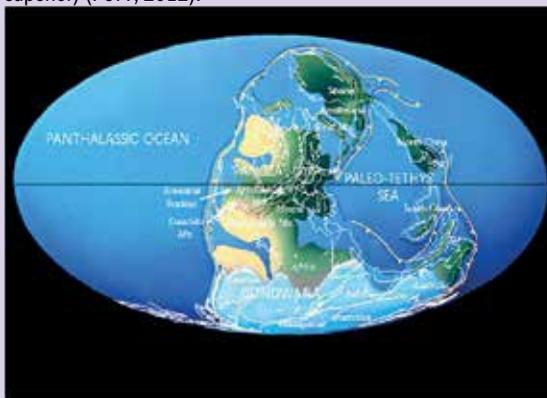


Figura 8 - Terra no Carbonífero.

Fonte: <http://www.avph.com.br/carbonifero.htm>



ÉON FANEROZOICO (542 M.A - 2.000 ANOS) - Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).

Era Mesozoica  
(251 m.a. - 65 m.a.)

Período Triássico  
(251 m.a. - 199 m.a.)

O termo triássico foi cunhado por Frederich Von Alberti, no ano de 1834, e refere-se às três camadas sedimentares existentes à noroeste da Alemanha e à noroeste da Europa. No Triássico médio, iniciou-se a desagregação do supercontinente Pangea e a separação do Gondwana e da Laurásia, acompanhadas por intensas atividades vulcânicas, ocasionando e longos derramamentos de lavas basálticas sobre os continentes, concomitantemente com a subducção do solo oceânico e a sua expansão. POPP, 2012) (CPRM, 2009).

Surge, nesse período, a cordilheira vulcânica, que se prolonga por toda a costa oeste do continente, desde o Alasca até o Chile, elevando os Andes e a Cordilheira Norte-Americana. Surgiram os primeiros dinossauros e os primeiros mamíferos ovíparos.



Figura 10 - Terra no Triássico.

Fonte: [www.fgel.uerj.br/dgrg/webdgrg/Timescale/Triassico](http://www.fgel.uerj.br/dgrg/webdgrg/Timescale/Triassico)

ÉON FANEROZOICO (542 M.A - 2.000 ANOS) - Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).

Era Mesozoica  
(251 m.a. - 65 m.a.)

Período Jurássico  
(199 m.a. - 145 m.a.)

O fenômeno da deriva continental continua, ocasionando a separação da África da América do Sul, juntamente com o intenso vulcanismo basáltico, formando diversos oceanos entre as placas litosféricas. Acontece um aumento do nível do mar em consequência do derretimento do gelo nos polos, ocasionando a inundação das plataformas continentais e permitindo a diversificação da vida marinha. Forma-se também o petróleo em diversas bacias, como no Mar do Norde do Golfo; nas costas brasileira, só ocorrerá no período Cretáceo. No continente, os dinossauros aumentam em quantidade e em variedade. Também no Jurássico surgiram os mamíferos marsupiais. No ar, desenvolveram-se os primeiros pássaros, a partir de pequenos dinossauros, como o Compsognathus. Os pterossauros eram comuns (POPP, 2012) (CPRM, 2009).



Figura 11 - Terra no Jurássico.

Fonte: <http://www.avph.com.br/jurassico.htm>

ÉON FANEROZOICO (542 M.A - 2.000 ANOS) - Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).

Era Mesozoica  
(251 m.a. - 65  
m.a.)

Período Cretáceo  
(145 m.a. - 65  
m.a.)

Denomina-se Cretáceo - do latim Creta, que significa giz, descrito em 1822 e referente a depósitos de gipsita na Bacia de Paris - a atividade tectônica que originou as cordilheiras meso-oceânicas, que estão ligadas à eriva continental, elevando o nível do mar, provocando as transgressões marinhas sobre os continentes. O clima, nesse período, era uniformemente quente, não havendo gelo nos polos, favorecendo condições favoráveis para o desenvolvimento da vida nos oceanos. A separação dos continentes ainda em curso determinou a grande diversidade da flora e da fauna que habitava tanto os continentes do norte como do sul, sendo relacionada a união dos oceanos Atlântico Norte e Sul no final do Cretáceo. Também surgiram répteis marinhos, como os ictiossauros e plesiossauros, além de peixes, como tubarões e arraias, que eram comuns. No continente, surgem as angiospermas, ou seja, as plantas com flores, caracterizando um importante avanço evolutivo que possibilitou a diversificação dos insetos. Os dinossauros alcançam o seu ápice de diversificação, destacando o surgimento dos tyrannosaurus e dos triceratops. Contudo, uma extinção em grandes proporções ocasionou o desaparecimento de aproximadamente 50% das espécies e 35% das famílias. As plantas quase não foram afetadas, e os mamíferos passaram a ocupar os espaços deixados pelos répteis. Algumas explicações surgiram para explicar essa grande extinção, também conhecida como evento K/Tr. Entre as hipóteses, surgem algumas explicações como: a) uma possível drástica troca de temperatura; b) variação da salinidade e do nível do mar; c) concentração do oxigênio; d) radiação cósmica e impactos de meteoritos. Evidências como a queda de um grande meteorito de dimensões entre 10 e 15 km na península de Yucatán, no México, e afloramentos de basaltos nos lagos de Decan, na Índia, podem ter gerado uma transformação abrupta do clima, gerando uma grande catástrofe natural (POPP, 2012).

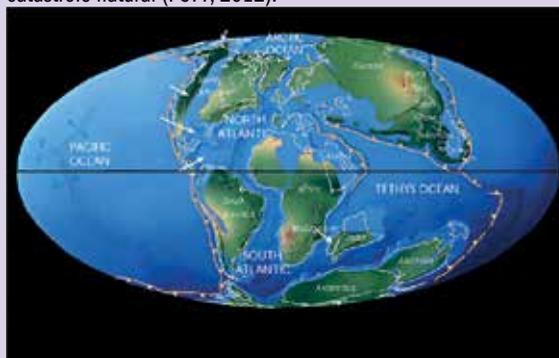


Figura 12 - Terra no Cretáceo.

Fonte: <http://www.avph.com.br/cretaceo.htm>

ÉON FANEROZOICO (542 M.A - 2.000 ANOS) - Compreende as eras Paleozoica (Período Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano); Mesozoica (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo); e Cenozoica (Período Paleógeno, Neógeno e Quaternário).		
Era Cenozoica (65 m.a. - 1.800.000 anos)	Período Paleógeno (65 m.a. - 23 m.a.)	A era Cenozoica, conhecida como a da nova vida, ou ainda, era dos mamíferos, quando os continentes assumem a sua configuração atual, e o surgimento dos primatas culminam na separação entre os macacos africanos e os hominídeos, entre aproximadamente 6 e 4 milhões de anos. Tratando-se do período paleógeno (nascimento antigo) (65 m.a. - 23 m.a.), englobando o conhecido Terciário superior e médio (Paleógeno, Eoceno e Oligoceno). Surgiram as gramíneas, fonte de alimento renovável para os animais herbívoros, ocasionando o desenvolvimento dos dentes molares. No final do período, a Antártica separa-se da América do Sul, fazendo com que a temperatura baixe rapidamente (POPP, 2012).
Era Cenozoica (65 m.a. - 1.800.000 anos)	Período Neógeno (23 m.a. 0 1.800.000 anos)	Divide-se em duas épocas: o Mioceno e Plioceno. Essa denominação significa "Novo Início", ressaltando a representação de quase todas as famílias de organismos modernos na Terra. Os continentes estão próximos da configuração atual. As Américas estão inter-ligadas pelo istmo do Panamá, e a distribuição e o barramento de correntes marinhas levam a um resfriamento dos oceanos (POPP, 2012).
Era Cenozoica (65 m.a. - 1.800.000 anos)	Período Quaternário (1.800.000 anos recentes)	É a última fase do tempo geológico e a mais recente. Divide-se em: Pleistoceno e Holoceno. O Pleistoceno corresponde à época em que se observam os episódios de glaciações sucessivas mais recentes, quando cerca de 30% da superfície da Terra estava coberta por gelo. O nível do mar apresenta-se baixo e proporciona a formação de grandes lagos. Finalizando o período Quaternário, inicia-se há 11.000 anos, a época chamada de Holoceno, considerado um período interglacial dentro da atual idade do gelo. Há cerca de 2 milhões de anos, surge o gênero Homo, e, há cerca de 130.000 anos surge o homem moderno - Homo Sapiens (POPP, 2012).

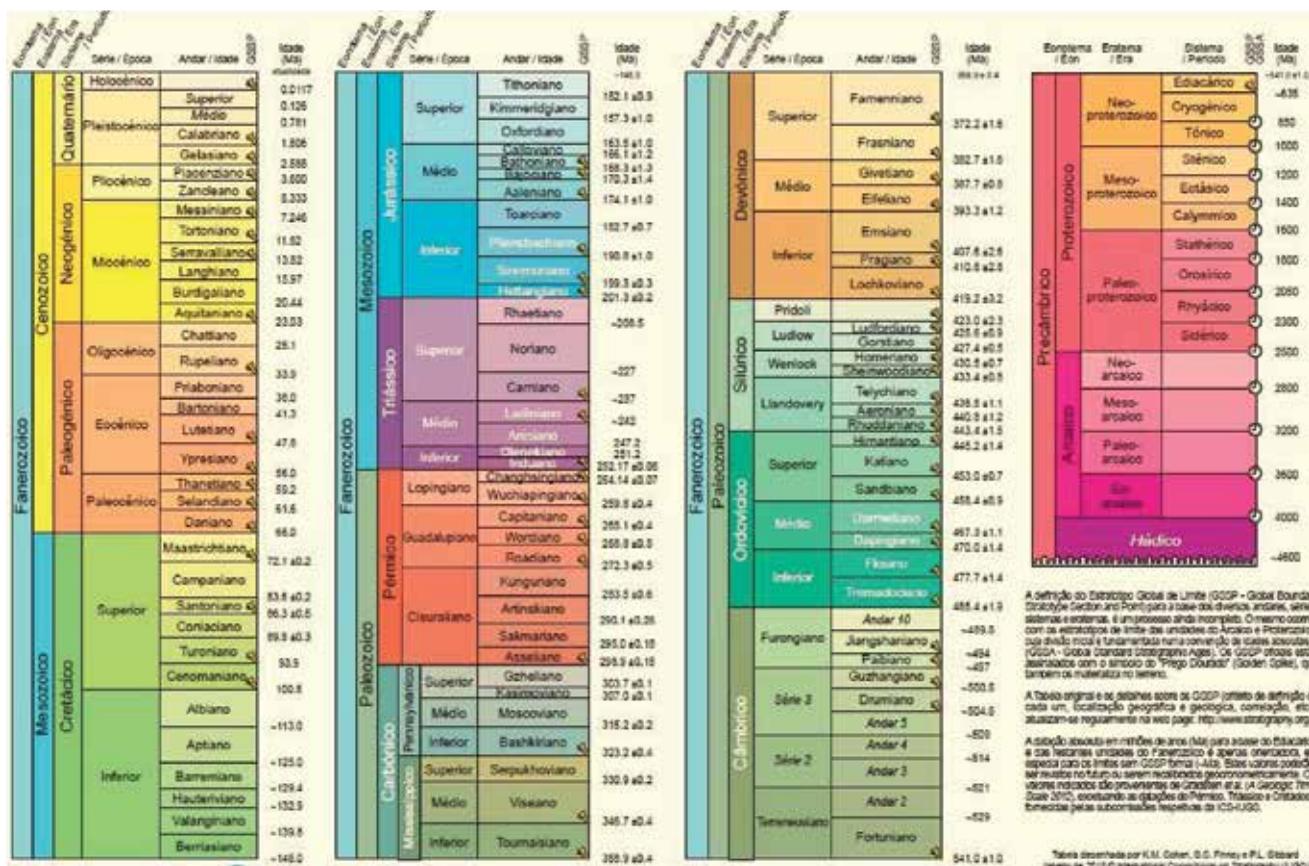


Figura 13 – Tabela Cronoestratigráfica Internacional.

Fonte: [http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2013-01Portuguese\\_PT.pdf](http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2013-01Portuguese_PT.pdf).

## Leituras, filmes e sites



O vídeo “A Água na Terra – a origem cósmica a partir do Big Bang” explica como surge a água em nosso planeta. Para conferir, acesse:

<<http://www.youtube.com/watch?v=l7GXrUcljck>>

## 2. O estabelecimento da Escala de Tempo, o fóssil e a sucessão faunal e datação relativa e absoluta

### 2.1. Fósséis e a Escala de Tempo

Para Fairchild *et al.* (2009), a ideia de que a Terra poderia ser extremamente antiga surge por volta do século XVIII, a partir do Iluminismo (pensamento científico moderno) e da Revolução Industrial. Em meados do século XVIII, no mundo ocidental, a bíblia e sua interpretação literal remetiam a um planeta Terra

com apenas alguns milhares de anos. Somente a partir da segunda metade do século XVIII, foram realizados estudos geológicos que evidenciaram que, em muitas áreas, encontravam-se camadas sucessivas de rochas sedimentares, contendo, em cada uma, fósseis peculiares que possibilitavam a correlação com rochas existentes em diferentes locais (POPP, 1987).

Nicolas Steno, considerado um dos precursores da geologia, durante o século XIX, divulgou, em 1869, que as rochas sedimentares se depositavam horizontalmente, camada por camada, observando que as camadas mais inferiores eram mais antigas que as que se encontravam nas partes superiores. Dessa forma, através desses princípios e das faunas e floras existentes nas rochas sedimentares, foi possível estabelecer uma coluna estratigráfica, ou seja, constituir uma sequência de rochas com seus fósseis, desde rochas mais antigas até as mais recentes (POPP, 1987).

Pesquisas realizadas em rochas estratificadas cederam a William Smith o título de “Pai da Geologia Inglesa” e de “Pai da Estratigrafia”. Smith, em seus trabalhos, de construção de canais na Grã-Bretanha, para escoar carvão em direção a crescente industrialização da sociedade, atividade esta que exigia muita observação do caráter e da ordem das camadas em escala regional, fez, após 20 anos de coleta de informações, a publicação do primeiro mapa do mundo retratando a geologia de uma nação inteira, em 1815. O mapa geológico elaborado por Smith (Ver figura ao lado) tornou-se referência mundial para a cartografia geológica. Esse mapa concretizou as técnicas de mapeamento geológico e introduziu o uso de fósseis para datar e correlacionar as rochas em escala regional. Ele também serviu de modelo para todos os mapas geológicos seguintes, como também foi base para a elaboração da escala de tempo geológico (FAIRCHILD *et al*, 2009).

Entre as contribuições mais importantes desse modelo, caracterizou-se pelo avanço no conhecimento proporcionado pelo princípio de sucessão fóssil (conhecida também como sucessão faunística, biótica ou florística).



**Figura 14:** Mapa da Grã-Bretanha elaborado por William Smith.

Fonte: <http://www.ib.usp.br/evosite/history/biostratigraphy.shtml>

Fósseis são encontrados em conjuntos característicos das sucessivas épocas em que os organismos viveram. Esses conjuntos aparecem sempre na mesma ordem, onde quer que os fósseis ocorram (FAIRCHILD *et al*, 2009).

Essa perspectiva de geologia foi reforçada na mesma época pelo francês e célebre paleontólogo Georges Cuvier e por A. Brogniart. A partir disso, foi estabelecido um novo princípio que dizia:

Esse princípio possibilitou determinar a idade relativa de rochas contendo fósseis em todo o mundo pela correlação Fossilífera ou Biostratigrafia. Mais tarde, também serviria como base para as duas teorias sobre a evolução biológica mais conhecidas e divergentes do século XIX:

#### I. O Catastrofismo de Georges Cuvier:

- Proposto em 1796, apontava que o registro fóssil teria resultado de sucessivas extinções cataclísmicas globais, norteadas pelo Criador, cada qual seguia, logo depois, pela criação de uma nova fauna e flora.



Figura 15: Georges Cuvier.

Fonte: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Georges\\_Cuvier](http://fr.wikipedia.org/wiki/Georges_Cuvier)

#### II. Evolução por Seleção natural de Charles Darwin:

- Publicada em 1859, observava que a grande diversidade do registro fóssil seria resultado da interação entre os seres e o meio ambiente com a sobrevivência e o sucesso das formas mais bem adaptadas, ou seja, por meio da seleção natural.

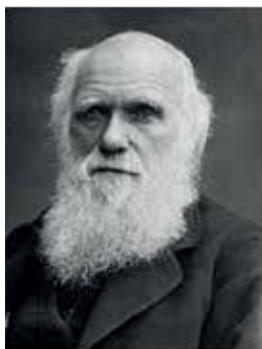


Figura 16: Charles Darwin.

Fonte: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Darwin](http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin)

O fóssil constitui qualquer evidência de vida passada, como evidências diretas, a exemplo dos restos de organismos preservados nas rochas, ou indiretas, como marcas deixadas por organismos nos sedimentos. Compreende-se também que a fossilização é um evento relativamente raro e geralmente seletivo que tende a preservar as partes mais resistentes de organismos, como

conchas, carapaças, ossos ou dentes de animais e troncos, esporos e grãos de pólen de plantas. Entende também que a preservação desses fósseis depende das condições físico-químicas, por meio das quais os organismos morreram e foram soterrados, como também da composição da intensidade e da duração dos fenômenos biológicos e dos ambientes de degradação, tais como: a) necrófagos e decompositores; b) correntes; c) ondas; d) acidez; e ) oxidação, dessecação; e f) clima etc. (FAIRCHILD *et al*, 2009).



Figura 17 – Processo de fossilização ao longo da escala de tempo.

Fonte: [http://spacestationnathan.blogspot.com.br/2011\\_08\\_01\\_archive.html](http://spacestationnathan.blogspot.com.br/2011_08_01_archive.html) (Adaptada).

Entre as infinidades de fósseis descobertos até os dias atuais, uma categoria merece destaque – os denominados fósseis-guias ou fósseis-índice. Essa categoria foi reconhecida primeiramente por Smith, na Inglaterra, e por Cuviere Brongniart, na França. Trata-se de fósseis que são facilmente reconhecidos e relativamente abundantes, de distribuição geográfica ampla e de distribuição temporal (ou estratigráfica ou geológica) restrita. Eles permitem correlações temporais precisas entre afloramentos isolados e antigas bacias sedimentares nas regiões mais diferentes do planeta Terra, pois foram organismos muito bem-sucedidos que se espalharam por diversas áreas de maneira rápida e evoluíram em um espaço curto de tempo para formas distintas ou se extinguíram. De modo geral, esses fósseis são microscópicos ou microfósseis (FAIRCHILD *et al*, 2009).

## Saiba mais



A Floresta de Fósseis - No meio do Cerrado nordestino, restos petrificados de plantas que viveram há mais de 250 milhões de anos contam a história da região em uma época em que os continentes estavam unidos e o mar chegava até ali.

Para saber mais, acesse:

[http://www.unesp.br/aci\\_ses/revista\\_unespciencia/acer-vo/23/fosseis](http://www.unesp.br/aci_ses/revista_unespciencia/acer-vo/23/fosseis).



## 2.2. Princípios e Métodos de Datação Absoluta

Henry Becquerel, físico francês, constatou, em 1896, emissões de raios X deixados em uma chapa fotográfica velada por um pacote de sais de urânio colocado sobre ela. Mais tarde, Marie Curie e Becquerel ganham o prêmio Nobel de Física em 1903, por descobrirem que, através desse fenômeno, determinadas rochas e minerais emitiam, espontaneamente, quantidades constantes de radioatividade e de energia. Tais cientistas denominaram esse fenômeno de radioatividade. Logo depois, na mesma época, Ernest Rutheford observou que a razão constante de desintegração de átomos de elementos radioativos instáveis poderia ser empregada como relógio natural para calcular a idade absoluta de uma rocha ou de um mineral. Observando isso, outros cientistas, como Bertram Boltwood, demonstraram que a idade desses materiais poderia ser determinada radiometricamente por métodos físicos (FAIRCHILD et al, 2009).

O ramo da geologia que estuda a datação das rochas é conhecido como Geocronologia. Para o cálculo da idade de uma rocha, de um mineral ou de um material orgânico, é possível aplicar vários métodos radiométricos, sendo que a escolha dependerá:

- a. da composição do material a ser datado;
- b. da noção geral da antiguidade da amostra;
- c. do tipo de problema geológico ou histórico sob investigação.

A tabela (abaixo) reúne alguns dos principais métodos radiométricos utilizados, as respectivas meias-vidas e os materiais empregados. Antes é importante ressaltar que o conhecimento da meia-vida de vários dos 25 isótopos radioativos que ocorrem naturalmente e a tecnologia existente para medir a atual razão entre as quantidades de átomos-pai e de átomos-filho em materiais naturais permitem a determinação de idades radiométricas (ou absolutas) de minerais e de rochas e, em alguns casos, de fósseis e de materiais biológicos (FAIRCHILD et al, 2009).

Principais Radioisótopos e materiais mais comumente utilizados nos principais métodos radiométricos de datação absoluta		
Método	Meia-Vida	Aplicação mais comum.
$^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$	1,25 bilhões de anos	Minerais potássicos de todos os tipos de rochas.
$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	1,25 bilhões de anos ( $^{40}\text{K}$ )	Minerais potássicos de todos os tipos de rochas.
$^{235}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}$	0,704 bilhões de anos	Minerais ricos em Urânio (zircão, titanita, monazita) de todos os tipos de rochas.
$^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$	4,47 bilhões de anos	Minerais ricos em urânio (zircão, titanita, monazita) de todos os tipos de rochas.
$^{234}\text{U}$ - $^{230}\text{Th}$	247 mil anos	Corais, espeleotemas (estalagmites, estalactites).
$^{147}\text{Sm}$ - $^{143}\text{Nd}$	106 bilhões de anos	Rochas ígneas, metamórficas, meteoritos
$^{87}\text{Rb}$ - $^{86}\text{Sr}$	48,8 bilhões de anos	Rochas ígneas, metamórficas, meteoritos
$^{187}\text{Re}$ - $^{187}\text{Os}$	43 bilhões de anos	Rochas ígneas, sulfetos e meteoritos
Radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ )	5.730 anos	Carvão, ossos, conchas, troncos, dentes, folhas, fósseis, papiro, papel, água, gelo

Tabela 1 – Principais radioisótopos e materiais mais comumente utilizados nos principais métodos radiométricos de datação absoluta.

Fonte: Adaptado de FAIRCHILD et al, 2009.

Esses métodos mencionados acima se tornaram possíveis devido aos avanços tecnológicos em instrumentos e na miniaturização de procedimentos químicos, entre outros. Compreende-se, então, que a harmonia na aplicação dessas técnicas deriva de suas especificidades e de suas aplicações. Assim, a geocronologia utiliza dessa estratégia para conhecer a história geológica do nosso planeta, particularmente, de seu passado distante.

Entre os métodos mais utilizados, Fairchild et al. (2009) destaca:

O método K/Ar, que faz uso de dois isótopos: o isótopo  $^{40}\text{Ar}$ , que é o elemento-filho produzido pelo isótopo radioativo  $^{40}\text{K}$ . Entende-se que, conhecendo a meia-vida e medindo-se as quantidades de cada isótopo em um mineral, é possível calcular a idade. Esse método tem sido muito usado porque o potássio é um dos elementos químicos mais comuns em minerais de rochas da crosta continental. Ele também tem se mostrado muito útil para retratar a cronologia de resfriamento de rochas ígneas, o término de processos metamórficos e o soerguimento da crosta, entre outros.

O método U-Pb é um dos mais precisos para datar eventos ígneos e metamórficos, assim como as rochas-fontes de material detrítico de rochas sedimentares.

O método de radiocarbono de datação, desenvolvido por J. W. Libby, em 1950, fundamenta-se na quantificação da atividade do  $^{14}\text{C}$  em materiais contendo carbono que originalmente interagiram com o gás carbônico da atmosfera.

## Leituras, filmes e sites



Livro digital de paleontologia:

<[http://www.ufrgs.br/paleodigital/Tempo\\_geologico.html](http://www.ufrgs.br/paleodigital/Tempo_geologico.html)>

Serviço Geológico do Brasil – breve história da Terra

<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1094&sid=129>>

Centro de excelência de pesquisa sobre armazenamento de carbono:

<<http://www.pucrs.br/cepac/download/ApresentacaoAndersonCEPAC.pdf>>

## Atividades de avaliação



### Exercício 01

- Assista ao documentário intitulado “Construindo o Planeta Terra”, produzido pela National Geographic, em 2010, disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=ZOPXnElwTao>>, e depois responda as seguintes perguntas:
1. Explique como ocorreu o processo de formação do Planeta Terra.
  2. Esclareça como a água surge em nosso planeta, a partir do documentário "Construindo o Planeta Terra".
  3. Qual a relação entre a água e o surgimento das primeiras formas de vida do Planeta?. Ressalte a importância desse acontecimento para a Terra.
  4. Discuta sobre o surgimento de formas de vida mais complexas no planeta Terra, destacando a importância das bactérias denominadas Estromatólitos.
  5. Explique como ocorreu o processo de formação do supercontinente Rodínia.
  6. Discorra sobre o surgimento do oxigênio atmosférico e a relação da vida terrestre com a origem da camada de ozônio.
  7. Como se deu a origem dos primeiros depósitos de carvão mineral?
  8. Explique como ocorreu a primeira extinção em massa da Terra, datada do período Permiano.
  9. Discorra sobre o surgimento dos dinossauros e como ocorreu a sua extinção no planeta Terra.

10. Após a extinção dos dinossauros, o que favoreceu para permanência dos mamíferos nas novas condições ambientais que surgiram no planeta Terra?
11. Discuta como ocorreu o processo de formação da Cordilheira do Himalaia.
12. Explique como surgiram os primeiros humanos na história da Terra.

## Exercício 02

- Leia o texto abaixo:

*Vivemos em um mundo no qual a humanidade pode ter se tornado uma força geológica, ou seja, um fenômeno capaz de transformar a paisagem planetária. Uma teoria científica afirma que uma nova era geológica se aproxima e em curto espaço tempo. A diferença é que, desta vez, as mudanças em curso são aceleradas por um ser vivo: os humanos. A partir disso, estaríamos em uma nova era geológica. Uma mudança radical no planeta, em um curto espaço de tempo, acelerada pela ação humana. Uma enorme pressão sobre a Terra. Essa Era é chamada de Antropoceno. Termo criado no início do segundo milênio pelo prêmio Nobel de Química, Paul Crutzen.*

*Em 4 milhões e meio de anos de existência, a Terra já passou por vários ciclos na escala geológica. E também sofreu devastações. A última ocorreu há 67 milhões de anos. A teoria é que um asteroide atingiu o planeta, o que provocou a alteração do clima e a extinção de espécies, como os dinossauros. A era Mesozoica, dominada pelos répteis, foi seguida pela era Cenozoica, dos mamíferos, o que inclui o aparecimento de nossos ancestrais: os primatas.*

*Vivemos uma nova era do planeta. A tese polêmica é defendida por vários cientistas. Nesse capítulo da história da Terra, chamado Antropoceno, as atividades dos seres humanos estariam influenciando as transformações no mundo, num ritmo acelerado. O nosso modo de vida, de produção e de consumo alertam os especialistas, estão mexendo com o clima. E podem aumentar o risco de aquecimento do planeta.*

*É um fato inédito um ser vivo, o ser humano, ter um impacto na intensidade das forças poderosas da natureza. Esse ponto de vista é atribuído à Revolução Industrial com o uso intensivo de máquinas e de combustíveis fósseis. Um indicador seria exatamente o uso do solo. Se nós olharmos as áreas naturais que tínhamos no passado e as que temos hoje, elas estão cada vez em menor escala. Toda essa movimentação de Terra, a transferência para uma área agrícola ou mesmo uma área urbana. Alguns estudos já apontam que nós estamos movimentando mais terra do que ocorreu na última glaciação. As condições do clima atual têm relação direta com as vegetações presentes nesses lugares. A alteração rápida do clima pode trazer consequências, como mais ou menos chuva. Isso afeta toda a dinâmica da produção agrícola.*

*Sabemos que os recursos naturais do planeta tem limites. A taxa de extinção de espécies produzida pela atividades dos homens é 50 vezes maior do que o ritmo anterior da natureza, destruindo a biodiversidade de espécies animais e vegetais. Como mudar essa realidade quando a tendência é de crescimento econômico dos países?*

*Nossa economia está baseada num sistema insustentável que é o consumismo. Essa maneira de organizar a vida não é inteligente porque faz com que objetos em plenas condições de uso sejam abandonados. Uma nova postura deveria ser tomada, baseada na recuperação de áreas degradadas, por um padrão de agricultura menos intensivo do solo e por práticas socioeconômicas sustentáveis (Texto adaptado. Antropoceno: uma nova era geológica da Terra. Fonte: <http://tvcultura.cmais.com.br/reportereco/antropoceno>).*

**Após a leitura do texto, escreva um texto dissertativo, com no mínimo, 20 linhas, a partir da seguinte temática: “A transição da Era Antropocena para uma Era Ecozoica – a relação sociedade-natureza no século XXI”.**

## Referências



FAIRCHILD, Thomas Rich, et al.. Geologia e a Descoberta da Magnitude do Tempo. In: TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra** – 2ª edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.

PRESS, S., et al. **Para Entender a Terra**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

POPP, José Henrique. **Geologia Geral**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

\_\_\_\_\_. **Geologia Geral**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Breve História da Terra**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1094&sid=129>>. Acesso em: 10/05/2014.



**3**

**Capítulo**

**Mineralogía**



## Objetivos

- Compreender a definição de mineralogia e sua composição;
- Propriedades Físicas e Químicas dos Minerais.

## 1. Considerações gerais

A Mineralogia é o ramo das Ciências Geológicas que se dedica ao estudo dos minerais, por meio das suas propriedades, da sua constituição, da sua estrutura, da sua gênese e dos seus modos de ocorrência.

Minerais são elementos ou compostos químicos com a composição definida dentro de certos limites, cristalizados e formados naturalmente por meio de processos geológicos inorgânicos, na Terra ou em corpos extraterrestres. A composição química e as propriedades cristalográficas bem definidas do mineral e, assim, recebe um nome característico (TEIXEIRA, 2000).

Apesar de ser uma Ciência relativamente recente, quando comparada com a Astronomia, a Física ou a Matemática, a Mineralogia, não obstante só se ter individualizado como ramo definido do conhecimento humano a partir do século XVIII, tem desempenhado papel importante no desenvolvimento da civilização.

Na Idade da Pedra, as pinturas rupestres em grutas eram feitas com pigmentos de hematita vermelha e óxido de manganês negro. As rochas eram cortadas de diversas maneiras e utilizadas como instrumentos e armas rudimentares, caracterizando a denominada Idade da Pedra Lascada. Posteriormente, o homem foi aperfeiçoando métodos que permitiram o polimento da pedra, tendo esse período sido designado como Idade da Pedra Polida. Com o emprego constante dessas substâncias naturais, o conhecimento das rochas e dos minerais foi progredindo, embora de modo empírico, mas que foi permitindo a extração de metais e de substâncias, que caracterizaram, sucessivamente, as denominadas Idades do Cobre, do Bronze, do Ferro e do Carvão.

A descoberta e a exploração de novas jazidas de minerais têm, por vezes exercido notável impacto no desenvolvimento de algumas regiões.

## 2. Aspectos Cristalográficos

A Cristalografia estuda a origem, o desenvolvimento e a classificação dos cristais naturais – os minerais que exibem formas externas geométricas – e artificiais.

Duas propriedades físicas atestam a organização interna dos minerais, são elas: o hábito cristalino, que é a forma geométrica externa natural do mineral, desenvolvida sempre que a cristalização se der sob condições calmas e ideais, e a clivagem, que é a quebra sistemática da massa mineral em planos pre-estabelecidos, que reúnem as ligações químicas mais fracas oferecidas pela estrutura do mineral.

O termo minério é utilizado apenas quando o mineral ou a rocha possuem valor econômico. Na natureza, os cristais perfeitos são raros e constituem joias de alto valor.

A simetria cristalográfica pode ser definida como a repetição sistemática dos motivos estruturais formados de átomos, íons ou moléculas. O estudo da simetria é feito com o auxílio dos elementos abstratos da simetria: planos, eixos e centros, e as operações de simetria: reflexão, rotação e inversão, (TEIXEIRA, 2000).

O conjunto dos possíveis elementos de simetria encontrados em um cristal é chamado de grau ou de classe de simetria ou ainda de grupo pontual, atualmente, existem 32 grupos de simetria na natureza, os quais estão agrupados em sete sistemas cristalinos, que variam do menos simétrico ao mais simétrico, são eles: o cúbico, o tetragonal, o trigonal, o hexagonal, o ortorrômbico, o monoclinico e o triclinico (figura 1).

Porém a divisão dos sistemas cristalinos brasileira é diferente da norte-americana, que considera apenas seis grupos, pois coloca o sistema trigonal como uma subdivisão do hexagonal.

Sistema	Constantes cristalográficas	Simetria principal	Exemplos de minerais
Cúbico (Isométrico)	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	4 eixos ternários	Diamante, granada, espinélio
Tetragonal	$a_1 = a_2 \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	1 eixo quaternário (eixo c)	Zircão, cassiterita, rutilo
Hexagonal	$a_1 = a_2 \neq a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = \delta = 90^\circ$ e $\gamma = 120^\circ$	1 eixo senário (eixo c)	Quartzo $\beta$ , berilo
Trigonal	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = \delta = 90^\circ$ e $\gamma = 120^\circ$	1 eixo ternário (eixo c)	Quartzo $\alpha$ , turmalina, coríndon
Ortorrômbico	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	1 eixo binário (eixo c); pode ter mais 2 eixos binários e até 3 planos	Olivina, ortopiroxênio, topázio
Monoclinico	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ e $\beta \neq 90^\circ$	1 eixo binário (eixo b); 1 plano contendo os eixos a e c	Ortoclásio, mica, clinopiroxênio, clinorfibólio
Triclinico	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	um centro de simetria ou sem simetria	Microclínio, plagioclásio

(a, b e c: dimensões da cela unitária,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$ : ângulos entre seus eixos. Nos sistemas hexagonal e trigonal, há quatro eixos, três no mesmo plano.)

Figura 1 – Sistemas cristalinos, constantes cristalográficas e simetria principal de alguns minerais.

Fonte: TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

### 3. Propriedades Físicas e Químicas dos Minerais

As propriedades físicas e químicas dos minerais dependem não só da natureza dos seus componentes e da geometria do seu empilhamento no espaço, como também do tipo e das intensidades das forças eletromagnéticas que unem as partículas elementares. A dureza, a solubilidade, a clivagem, a condutividade térmica e elétrica, etc., estão intimamente associadas aos tipos de ligação.

- **Ligação iônica:** os íons estão unidos na estrutura do cristal pela atração de suas cargas eletrostáticas diferentes (opostas). Apresentam as seguintes propriedades: dissolução em solventes polares, produzindo soluções condutoras contendo íons livres; dureza e densidade relativamente moderadas; pontos de fusão e de ebulição razoavelmente elevados; má condutividade de calor e de eletricidade; simetria do cristal resultante elevada. Exemplo: halita.
- **Ligação covalente:** elétrons são compartilhados. Tem como propriedades: a mais forte das ligações químicas; insolubilidade geral; grande estabilidade; ponto de fusão e de ebulição elevados. Os cristais não produzem íons em solução; não são condutores de eletricidade; têm simetria, em geral, mais baixa quando comparada à ligação iônica; C, Si, Al e S unem-se em ligações covalentes; apresentam alta dureza, o que é peculiar. Ex.: diamante.
- **Ligação metálica:** caracterizada pela mobilização de elétrons na massa de íons positivos. As propriedades são: conduz eletricidade – significa que os elétrons podem mover-se livremente, com grande rapidez, por meio da estrutura; os elétrons estão ligados fracamente na estrutura do metal (ex. efeito fotoelétrico: Cs, Rb, K); um elétron não pertence a qualquer núcleo; plasticidade, tenacidade, ductilidade e condutibilidade elevadas; dureza, pontos de fusão e de ebulição geralmente baixos.
- **Ligação de van der Waals:** as estruturas cristalinas são unidas por cargas residuais na superfície. Tem como propriedades: desenvolvimento de planos de clivagem; baixíssima resistência mecânica entre os planos de ligação. Exemplo: grafita (covalente + van der Waals), argilominerais/micas (covalente, iônica +van der Waals).

As propriedades físicas imediatamente observáveis em amostras de mão que possibilitam a identificação dos minerais são as seguintes:

- **Hábito do mineral**– aparência de um simples cristal ou de agregados de cristais;
- **Clivagem, partição e fratura** – são respostas de um material cristalino a uma força externa;

- Dureza (escala de Mohs) – resistência que um mineral oferece ao risco (método comparativo);
- Tenacidade – resistência que um mineral oferece ao ser rompido, esmagado, curvado ou rasgado – em suma, sua coesão;
- Densidade – consequência da natureza dos átomos e da sua estrutura (empilhamento). O bromofórmio ( $d = 2,9 \text{ g/cm}^3$ ) é largamente usado na separação de minerais leves e pesados;
- Cor – consequência da absorção de certos comprimentos de onda do espectro da luz branca que incide sobre ele;
- Traço – cor da impressão de um mineral sobre uma placa de porcelana (ou pó no almofariz);
- Brilho – reflexão à luz incidente. Há dois tipos: metálico e não metálico (submetálico ~ intermediário);
- Diafanidade – permeabilidade à luz (hialinos, transparentes, translúcidos, opacos);
- Luminescência – excitação do material por energia luminosa, geralmente no escuro;
- Magnetismo – atração (ferromagnéticos; ex. magnetita, pirrotita) ou não (diamagnéticos; ex. quartzo) por um ímã. Minerais levemente atraídos pelo ímã são paramagnéticos (ex. pirita, micas).

### 3.1 Classificação dos Minerais

A classificação mais usada na mineralogia, por melhor atender à necessidades científicas, uma vez que considera a estrutura e a composição química dos minerais, foi elaborada por Strunz (1935). Essa classificação subdivide os minerais em 12 grandes grupos, baseando-se na composição química, sendo que esses grupos são subdivididos com base na organização estrutural. Dessa forma, tem-se: elementos nativos; sulfetos; sulfossais; óxidos e hidróxidos; halogenetos; carbonatos; nitratos; boratos; sulfatos e cromatos; fosfatos, arsenietos e vanadatos; tungstatos e molibdatos; e silicatos (nesossilicatos, sorossilicatos, ciclossilicatos, inossilicatos, filossilicatos e tectossilicatos). São em torno de 200 os minerais mais comuns, embora sejam reconhecidos perto de 3000 espécies (figura 2).

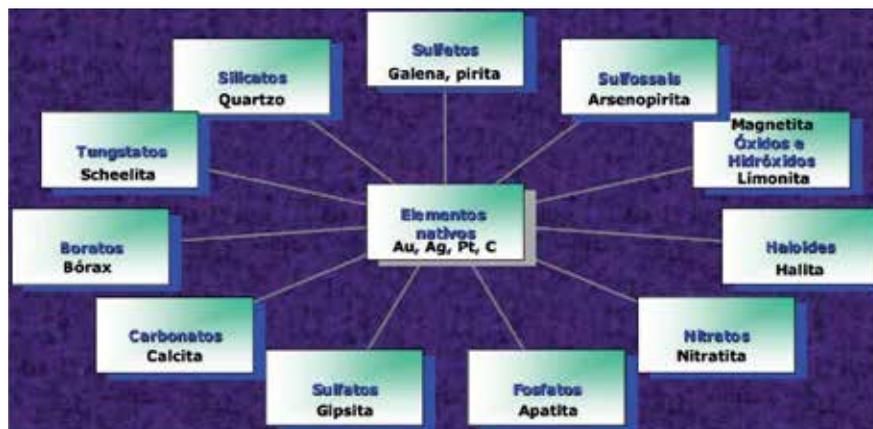


Figura 2 – Divisão dos grupos de minerais de acordo com a composição química.

Fonte: [https://www.ige.unicamp.br/site/aulas/109/Mineralogia\\_classificacao\\_propriedades](https://www.ige.unicamp.br/site/aulas/109/Mineralogia_classificacao_propriedades).

Acesso em: 03/06/2014.

Existem muitas outras classificações mineralógicas desenvolvidas para atender necessidades específicas, tais como a do elemento constituinte mais importante presente nos minerais, o modo de ocorrência deles na natureza, gêneses e associações paragenéticas, bem como as propriedades físicas.

### 3.1.1 Classificação de acordo com o elemento constituinte

Nesse caso, os minerais são agrupados de acordo com o elemento químico mais importante, não levando em consideração a composição química dos minerais, as propriedades cristalográficas e físicas. Assim, todos os minerais de Fe importantes vão estar reunidos em uma mesma classe: hematita -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (trigonal romboédrico), magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (isométrico), siderita  $\text{FeCO}_3$  (trigonal romboédrico), goethita  $\text{HFeO}_2$  (ortorrômbico), pirita  $\text{FeS}_2$  (isométrico), marcassita  $\text{FeS}_2$  (ortorrômbico), troillita ( $\text{FeS}$ ) (hexagonal), pirrotita  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  (hexagonal/ortorrômbico) etc. No caso do cobre, tem-se, no mesmo grupo, antlerita  $\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$  (ortorrômbico); atacamita  $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$  (ortorrômbico); malaquita  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$  (monoclínico), azurita  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  (monoclínico), bornita  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  (isométrico), calcocita  $\text{Cu}_2\text{S}$  (ortorrômbico), calcopirita  $\text{CuFeS}_2$  (tetragonal), covelita  $\text{CuS}$  (hexagonal), cuprita  $\text{Cu}_2\text{O}$  (isométrico), enargita  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$  (ortorrômbico), tetraedrita ( $\text{Cu, Fe, Zn, Ag}$ ) $_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  (isométrico) etc.

### 3.1.2 Classificação segundo a gênese e o tipo de ocorrência do mineral

Esta maneira de agrupar os minerais, baseando-se no modo de formação e no tipo de ocorrência, foi bastante usada pelos mineralogistas e geólogos e, ainda hoje, vem sendo usada especialmente na área da Geologia Econômica. Aqui, os minerais são classificados em magmáticos, metamórficos, sublimados, pneumatolíticos, hidrotermais e/ou formados a partir de soluções quentes ou frias.

- **Minerais magmáticos:** de um modo geral, a formação dos minerais nos magmas com o resfriamento e às mudanças no ambiente de pressão litostática ou de fluídos, entre outros fatores, é controlada especialmente pela concentração dos elementos e pela solubilidade dos constituintes na solução magmática. Quanto mais rápido for o processo de cristalização, menores serão as fases cristalinas e maior o volume de material não cristalino (obsidianas ou vidros vulcânicos), podendo chegar a resultar apenas em vidro; por outro lado, quanto mais lenta a cristalização, maiores serão os constituintes, gerando os pegmatitos. A cristalização dos magmas resultam nas diferentes rochas magmáticas (basaltos, gabros, granitos, dioritos, peridotitos, dunitos, sienitos, piroxenitos etc.).
- **Minerais metamórficos:** originam-se principalmente pela ação da temperatura, pressão litostática e pressão das fases voláteis sobre rochas magmáticas, sedimentares e também sobre outras rochas metamórficas. Os processos metamórficos (regional, contato, dinâmico, termal, de fundo oceânico, carga, impacto etc.) geram uma grande quantidade de minerais, dentre os quais muitos dificilmente seriam formados por outros processos, como é o caso do diopsídio, wollastonita, idocrásio, granada, estauroлита, andaluzita, cianita, sillimanita, epidoto, tremolita, actinolita etc.
- **Minerais sublimados:** são aqueles formados diretamente da cristalização de um vapor, como também da interação entre vapores e destes com as rochas dos condutos por onde passam. O exemplo mais comum de sublimação é a formação da neve, cristalização do gelo a partir de vapor d'água, já associado às atividades ígneas, pelo fato de os magmas possuírem voláteis, como a água, o enxofre, o gás carbônico, o cloro, o flúor, o boro e seus compostos voláteis. Além de outros constituintes menores, aparecem muitos minerais sublimados.
- **Minerais pneumatolíticos:** são formados pela reação dos constituintes voláteis oriundos da cristalização magmática, desgaseificação do interior terrestre ou de reações metamórficas sobre as rochas adjacentes. Nesse processo, podem ser formados topázio, berilo, turmalina,

fluorita, criolita, cassiterita, wolframita, flogopita, apatita, escapolita etc. Na formação da cassiterita, o composto volátil  $\text{SnF}_4$  reage com o vapor d'água, segundo a reação:  $\text{SnF}_4 + 2(\text{H}_2\text{O}) = \text{SnO}_2 + 4\text{HF}$ .

- Minerais formados a partir de soluções: originam-se pela deposição devido à evaporação, variações de temperatura, pressão, porosidade, pH e/ou eH. Esse processo ocorre na superfície da Terra e em diferentes profundidades. Na superfície da Terra, as soluções, quando não diretamente ligadas a atividades magmáticas, normalmente possuem temperaturas do ambiente, sendo consideradas frias e diluídas, enquanto que aquelas que circulam lentamente em profundidades e/ou estão associadas a atividades vulcânicas são quentes e possuem grande quantidade de cátions e ânions dissolvidos, podendo gerar importantes depósitos minerais.

## 4. Minerais e a sua exploração

Os minerais possuem valor econômico, uns são mais caros e outros, mais baratos. No entanto, independente de o mineral ser de maior ou de menor valor econômico, ele é um recurso natural não renovável. Tendo isso em vista, a extração de qualquer mineral do solo, subsolo ou do oceano requer estudo especializado de impacto ambiental. Se o impacto da extração for maior que o benefício de ter o mineral disponível, a mineração não é executada. Caso contrário, autoriza-se a extração mineral. Os minerais são agrupados em depósitos, os quais podem possuir diversas origens e são comumente chamados de minas.

### Leituras, filmes e sites



Museu da Ciência e Técnica Escola de Minas/UFOP:

<<http://www.museu.em.ufop.br/museu/mineralogia.php>>

Mineralogia Ótica:

<<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/elearn.html>>

Museu Heinz Ebert

<<http://www.rc.unesp.br/museudpm/>>

## Atividades de avaliação



1. Em um mundo sem luz, quais as propriedades capazes de definir um mineral?
2. O que são sistemas cristalinos?
3. Quais as propriedades físicas e químicas dos minerais?

## Referências



LEINZ, V. & AMARAL, S.E. **Geologia Geral**. 11ª ed. São Paulo: Editora Nacional, 1989.

TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

### Sites da internet:

<[https://www.ige.unicamp.br/site/aulas/109/Mineralogia\\_classificacao\\_propriedades](https://www.ige.unicamp.br/site/aulas/109/Mineralogia_classificacao_propriedades)>. Acesso em: 03/06/2014.

**Capítulo**

**4**

# **Formações Rochosas**



## Objetivos

- Entender o processo de formação das rochas;
- Compreender as classificações rochosas.

Observa-se que a crosta terrestre é constituída essencialmente de rochas, cujos constituintes, na maioria das vezes, são os minerais, podendo também apresentar os denominados mineraloides, como o vidro vulcânico, o carvão ou os outros compostos de origem orgânica (LEINZ & AMARAL, 2003).

Entre os conceitos existentes na literatura científica sobre o que são rochas, destacam-se os mencionados na tabela 1.

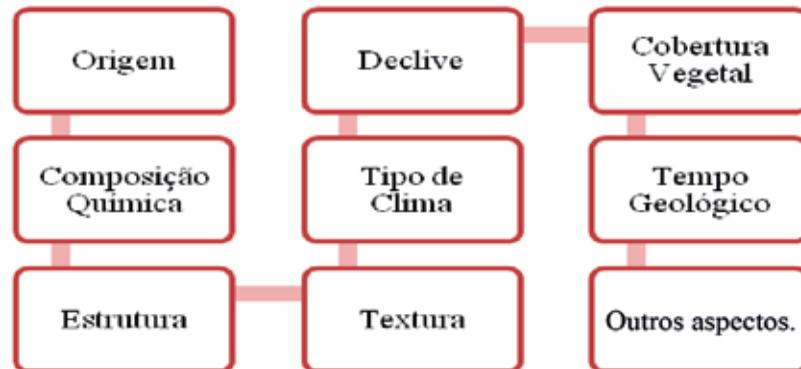
CONCEITO DE ROCHA	
LEINZ & AMARAL (2003)	É um agregado natural, formado de um ou de mais minerais (podendo, eventualmente, tratar-se de vidro vulcânico ou de matéria orgânica (que são os mineraloides), que constitui parte essencial da crosta terrestre e que é nitidamente individualizado (p. 33).
ANDRADE et al. (2009)	São agregados consolidados de minerais, formados por diversos processos da dinâmica terrestre (p.130).
PRESS et al. (2006)	É um agregado sólido de minerais que ocorre naturalmente (p. 103).
CPRM (2009)	Rocha é uma associação natural de minerais (geralmente dois ou mais), em proporções definidas e que ocorre em uma extensão considerável.
GUERRA & GUERRA (2011)	Conjunto de minerais ou apenas um mineral consolidado (p. 549).
FRAZÃO E PARAGUASSU (1998)	Rocha é um corpo sólido natural, resultante de um processo geológico determinado, formado por agregados de um ou mais minerais, arranjados segundo as condições de temperatura e de pressão existentes durante sua formação. Também podem ser corpos de material mineral não cristalino, como o vidro vulcânico (obsidiana), e de materiais sólidos orgânicos, como o carvão.
BERTOLINO et al. (2009)	Rocha é um material consolidado composto por um conjunto de minerais resultantes de um processo geológico determinado. Pode ser formada por um ou mais minerais, dispostos segundo as condições de temperatura e de pressão existentes durante sua formação. Pode também ser formada por material não cristalino, como o vidro vulcânico, e por material sólido orgânico, como o carvão.

Tabela 1 – Conceitos sobre rocha.

Fonte: Elaborado a partir de consulta às literaturas citadas.

Para Guerra e Guerra (2011), o estudo das rochas interessa a geólogos e a geógrafos. Enquanto, porém, os primeiros as estudam em si mesmas, analisando a composição química, o sistema de cristalização, a textura e a estrutura, os segundos as estudam, principalmente, tendo em vista a maneira como reagem aos vários tipos de intemperismo e de erosão. Compreende-se, assim, que as rochas que surgem na superfície do globo terrestre não apresentam sempre as mesmas características.

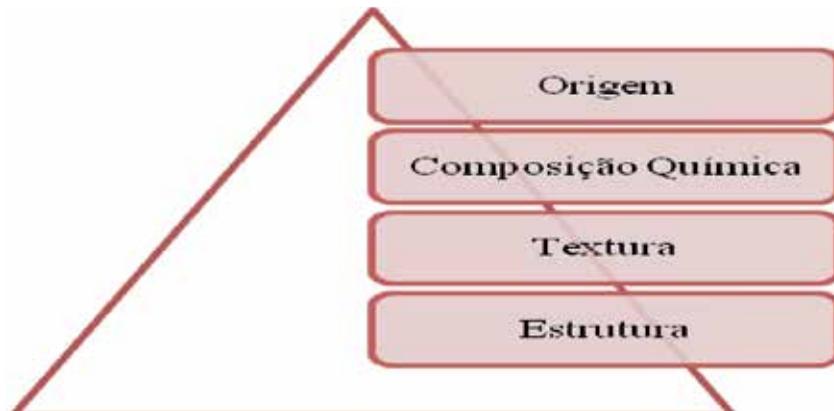
Observa-se que as diferenciações sobre os tipos de rochas estão ligadas a uma série de aspectos, tais como:



Esquema 1 – Fatores que são levados em consideração para a diferenciação das rochas.

Fonte: Adaptado de GUERRA & GUERRA (2011).

É importante entender que todos esses fatores interferem em grau maior ou menor nas diferenciações que as rochas superficiais possam apresentar. Entre as classificações mais diferentes que existem, realizadas por geólogos mineralogistas, geógrafos e engenheiros, sendo observada por cada especialidade uma série de critérios que satisfaçam suas necessidades, nota-se que as classificações mais comuns são pautadas na:

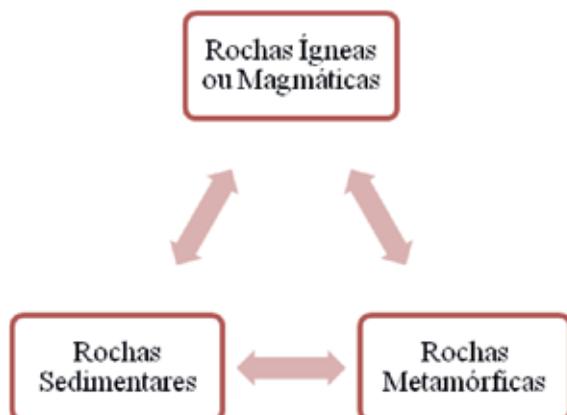


Esquema 2 – Critérios mais usados para classificar rochas.

Fonte: Adaptado de GUERRA & GUERRA (2011).

Quando se trata da composição química de uma determinada rocha, o assunto é bem complexo. Essa composição pode ser estimada por meio dos minerais que constituem uma rocha e da proporção entre eles. A escola americana é a partidária mais entusiasta dessa classificação. Um dos parâmetros químicos mais utilizados é o teor de sílica. Adotando esse parâmetro, as rochas podem ser classificadas em: a) Ácidas; b) Básicas; c) Neutras; e d) Ultrabásicas. Quando o parâmetro é o estado de cristalização da estrutura cristalina, podem ser divididas em: a) Holocristalina; b) Holoialina; c) Criptocristalina; e d) Hipocristalina. Quanto à textura, as rochas podem ser classificadas em: a) Granular; b) Porfiroide (microlítica e micrigranular); e c) Vítreas (GUERRA & GUERRA, 2011) (SZABÓ *et al.*, 2009).

Quanto à origem, as rochas podem ser classificadas em três grandes grupos:



Esquema 3 – Classificação das Rochas.

Fonte: Adaptado de GUERRA & GUERRA (2011).

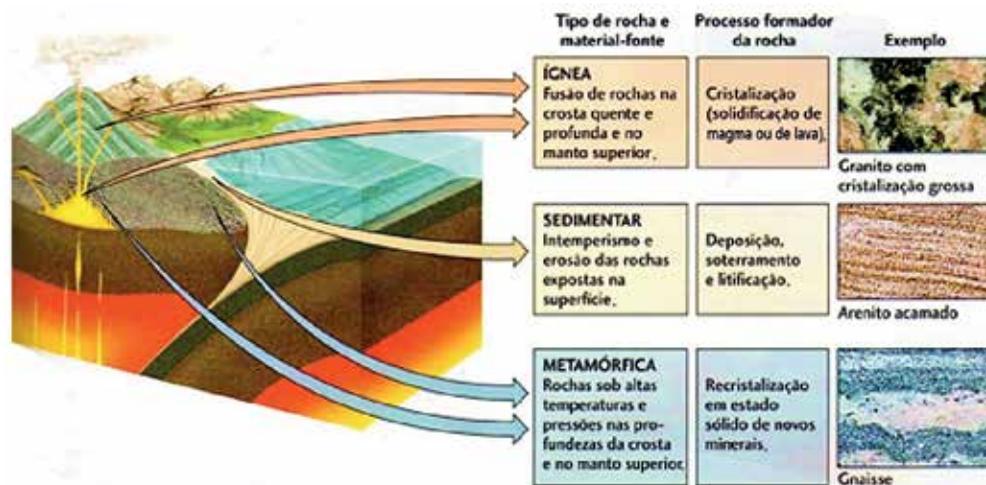


Figura 1 – Rochas ígneas, sedimentares e metamórficas a partir do material-fonte, do processo formador e do exemplo.

Fonte: PRESS *et al.* (2006).

Após observar a figura 1, analisaremos como esses três grandes grupos de rochas são caracterizados com base nos processos envolvidos em sua formação.

## Rochas Ígneas ou Magmáticas

As rochas ígneas ou magmáticas (do latim *ignis*, “fogo”) formam-se pela cristalização do magma, que se caracteriza por ser uma massa de rocha fundida que se origina em profundidade na crosta e no manto superior, com temperaturas atingindo os 700°C ou mais, que são fundamentais para fundir a maioria das rochas. As rochas ígneas podem conter jazidas de vários metais, como ouro, platina, cobre ou estanho, e trazem à superfície do planeta importantes informações sobre as regiões profundas da crosta terrestre e do manto. Os geólogos distinguem dois grandes tipos de rochas ígneas com base no tamanho de seus cristais: intrusivas e extrusivas (GUERRA & GUERRA, 2011) (SZABÓ *et al.*, 2009).

### Rochas Ígneas Intrusivas (Plutônicas)

Cristalizam-se quando o magma intrude em uma massa de rocha não fundida em profundidade na crosta terrestre. Cristais grandes crescem enquanto o magma esfria, produzindo rochas de granulação grossa. Esse tipo de rocha pode ser reconhecido por seus cristais grandes intercrescidos, os quais desenvolvem-se lentamente enquanto o magma é gradualmente resfriado. O granito, por exemplo, é uma rocha ígnea intrusiva (PRESS *et al.*, 2006).

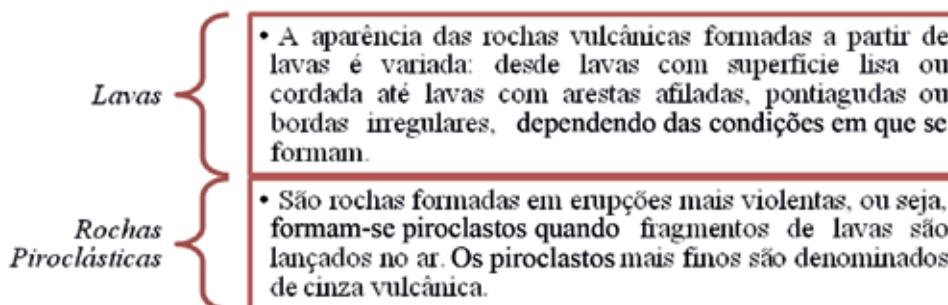


Figura 02 – Rocha intrusiva – Granito

Fonte: <http://espacociencias.com/site/>.

## Rochas ígneas Extrusivas

Formam-se pelo rápido resfriamento do magma que chega à superfície por meio de erupções vulcânicas. As rochas ígneas extrusivas, como, o basalto, são reconhecidas por suas texturas vítreas ou de granulometria fina. Essas rochas contêm proporções variáveis de vidro vulcânico, formam-se quando a lava, o outro material vulcânico, é lançada dos vulcões, sendo, por esse motivo, também conhecidas como rochas vulcânicas. Elas ainda podem pertencer a dois grupos:



Esquema 4 – Categorias principais das rochas ígneas extrusivas.

Fonte: PRESS *et al.* (2006).

### Saiba mais



*Modos de ocorrências das rochas magmáticas:* i) *Batólitos* - são grandes corpos de rochas plutônicas formados em profundidade, podendo ter mais de 100 km<sup>2</sup>; ii) *Lacólito* - são intrusões de rochas ígneas lentiformes, geralmente circulares ou subcirculares, concordantes com as rochas encaixantes; iii) *Dique* - intrusão de forma tabular discordante, preenchendo uma fenda aberta em outra rocha. Quando o dique é concordante com as rochas encaixantes, chama-se *sill*; iv) *Derrames de lavas* - podem ser subaquáticas ou aéreas, podem atingir milhares de km<sup>2</sup> em superfície; e v) *Neck Vulcânico* - corpos intrusivos discordantes formados pela consolidação do magma dentro de chaminés vulcânicas que, após erosão, sobressaem na topografia (BERTOLINO, *et al.* 2009).

## Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são originadas a partir da consolidação de sedimentos, que são materiais resultantes da ação do intemperismo, da erosão e de posterior transporte de uma rocha preexistente, ou da precipitação química ou ainda da ação biogênica. São comumente classificadas em: i) Clásticas; e ii) Químicas ou Bioquímicas, segundo sua origem (BERTOLINO *et al.*, 2009) (PRESS *et al.*, 2006).

### *Sedimentos Clásticos*

- São partículas depositadas fisicamente, como os grãos de quartzo e de feldspato derivados de um granito alterado. Esses sedimentos são depositados pela água corrente, pelo vento e pelo gelo, formando camadas de areia, de silte e de cascalho.

### *Sedimentos Químicos e Bioquímicos*

- São substâncias químicas novas que se formam por precipitação quando alguns dos componentes de rochas se dissolvem durante o intemperismo e são carregados pelas águas dos rios para o mar. Incluem-se, nesses tipos de sedimentos, as halitas (cloreto de sódio) e a calcita (carbonato de cálcio, encontrados frequentemente na forma de recifes e de conchas).

Esquema 5 – Tipos de sedimentos que originam as rochas sedimentares.

Fonte: (PRESS *et al.*, 2006).

É importante salientar que o processo que converte esses sedimentos em rocha sólida é denominado de *Litificação*. Tal processo pode, conforme Press *et al.* (2006), ocorrer do seguinte modo:

- a. *Compactação* – ocorre quando os grãos são compactados pelo peso do sedimento sobreposto, originando uma massa mais densa que a original.
- b. *Cimentação* – ocorre quando os minerais precipitam-se ao redor das partículas depositadas e agregam-se umas às outras.

Tratando-se das camadas de sedimentos, nota-se que os sedimentos e as rochas sedimentares são caracterizados pela estratificação, ou seja, pela formação continuada de camadas equivalentes de sedimentos à medida que as partículas depositam-se no fundo do mar, de um rio ou da superfície do terreno. Compreende-se também que as rochas sedimentares, devido ao fato de serem formadas por processos superficiais, encontram-se recobrimdo grande parte dos continentes e do fundo dos oceanos. Contudo, a proporção de volume dessas rochas é menor que o das rochas magmáticas e metamórficas (constituem o principal volume da crosta terrestre) (PRESS *et al.*, 2006).

Para Bertolino *et al.* (2009), as rochas clásticas são, em geral, denominadas, segundo o tamanho dos grãos (Pettijohn, 1975), de conglomerado e de brecha (mais de 25% dos grãos com tamanho >2 mm), de arenito (mais de 50% dos grãos com tamanho entre 2 e 0,06 mm), de siltito (0,06 e 0,004 mm) e de argilito (<0,004 mm). Folhelho é a denominação para siltito e argilito com maior grau de fissilidade. Essas rochas são, muitas vezes, friáveis, devido à baixa coesão dos constituintes, interferindo diretamente nas características mecânicas dessas rochas. Os minerais mais abundantes nas rochas sedimentares clásticas são o quartzo, o feldspato e os argilominerais.

As rochas de procedência química são os calcários e os dolomitos, formados por mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita ou dolomita). São classificados segundo o teor mineralógico (calcário dolomítico, dolomi-

to calcítico) e a granulometria (calcirudito, calcarenito, calcissiltito, calcilutito). São muito empregadas como matérias-primas para as indústrias cimenteira, vidreira, siderúrgica, corretivo de solo, entre outras. As formações ferríferas evidenciam revezamento de bandas ricas em quartzo e em óxido de ferro, sendo a fonte de minério de ferro explorado no Brasil. As rochas derivadas de processos químicos e bioquímicos são evaporitos (precipitação de sais, como halita e gipsita), cherts (precipitação de sílica), fosforitos (fosfatos), diatomitos (compostos da acumulação de carapaças silicosas de diatomáceas) e carvão (desenvolvido pela decomposição de restos de vegetais que foram soterrados) (BERTOLINO *et al.*, 2009).



Figura 3 – Tipos de rochas sedimentares.

Fonte: <http://www.cientic.com>

## Saiba mais



Você sabia que os sedimentos e as rochas sedimentares clásticos são classificados pelo tamanho de suas partículas? Pois é, essa classificação leva em consideração o tamanho de partículas, como cascalhos e conglomerados; areias e arenitos; siltes e siltitos; lamais, lamitos e folhelhos; argilas e argilitos. É importante salientar que esse método de classificação dos sedimentos enfatiza a importância da energia corrente, no processo de transporte e de deposição dos materiais sólidos. Já as rochas sedimentares e os sedimentos químicos e bioquímicos são classificados com base na sua composição química, como as rochas carbonáticas (calcário e dolomito – classe mais abundante desse tipo de rocha); evaporitos; sedimentos silicosos, como o sílex; fosforitos; formações ferríferas; turfas e outras matérias que são transformadas em carvão, óleo e gás (PREES *et al.*, 2006).

## Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são formadas quando as altas temperaturas e pressões das profundezas da Terra atuam em qualquer tipo de rocha (ígnea, sedimentar ou outra rocha metamórfica), para mudar sua mineralogia, textura ou composição química, embora mantendo a sua forma sólida. Salienta-se que as temperaturas do metamorfismo estão abaixo do ponto de fusão das rochas, que é aproximadamente 700°C, mas são altas o suficiente (acima de 250°C), para modificar as rochas por recristalização e por meio de reações químicas.

### *Metamorfismo de Asoalho Oceânico*

- Também denominado de metassomatismo, é frequentemente associado às dorsais mesoceânicas. Está relacionado com a percolação de fluidos de alta temperatura que metamorfizam as várias rochas crustais.

### *Metamorfismo de Baixo Grau (Soterramento)*

- Ocorre quando as rochas sedimentares profundamente soterradas são alteradas pelo aumento mais ou menos normal da pressão e da temperatura com a profundidade na crosta.

Os geólogos caracterizam as rochas metamórficas com base nas circunstâncias geológicas em que foram formadas. Entendendo isso, observam-se os seguintes tipos de metamorfismo:

### *Metamorfismo Regional*

- Ocorre quando grandes áreas são metamorfizadas por altas pressões e temperaturas geradas durante as orogêneses. Ele é uma feição característica de ambiente de tectônica de placas convergentes. Ele ocorre dentro de arcos de ilhas vulcânicas, como as montanhas dos Andes, na América do Sul, e no núcleo de cadeias de montanhas produzidas durante a colisão de continentes, como as montanhas do Himalaia, localizadas na Ásia Central.

### *Metamorfismo de Contato*

- Acontece quando as intrusões ígneas metamorfizam as rochas imediatamente circundantes, propagando seu calor para fora, submetendo os minerais da rocha preexistente a novas condições.

### *Metamorfismo de Alta Pressão e de Pressão Ultra-Alta*

- Acontece quando as rochas podem ser submetidas a pressões grandes, como 40kbar (kilobar), correspondente a profundidades maiores que 120 km.

### *Metamorfismo de Impacto*

- São resultantes do impacto de meteoritos, fazendo com que as rochas encaixantes sejam despedaçadas pela propagação das ondas de choque, e, nesse processo, o quartzo pode ser transformado nas suas formas mais densas, de alta pressão, que são a coesita e a stishovita.

Esquema 6 – Tipos de metamorfismo.

Fonte: PRESS *et al.*, (2006).



Figura 4 – Xisto

Fonte: <http://www.cienciahoje.pt>

É importante compreender que muitas rochas metamorfizadas regionalmente, como os xistos, têm uma foliação, ou seja, superfícies onduladas ou planares produzidas quando a rocha foi deformada estruturalmente por dobras. As texturas granulares são as mais típicas da maioria das rochas de metamorfismo de contato e de certas rochas de metamorfismo regional formadas por temperatura e por pressão muito altas.



Figura 5 – Rochas metamórficas.

Fonte: <http://www.cientific.com/>

Observa-se também que as rochas metamórficas possuem duas classes texturais principais: as foliadas (que mostram clivagem de fratura, xistosidade ou outras formas de orientação dos minerais. Exemplo: ardósias, filitos, xisto, gnaisse e migmatito) e as granoblásticas ou não foliadas (compostas por cristais que cresceram em formas equidimensionais, como cubos e esferas. Exemplo: cornubianito, quartzitos, mármore, greenstones, anfibolito e granulitos) (PREES *et al.*, 2006).



## Saiba mais

*Intracrustal* – rocha magmática consolidada no interior da crosta terrestre. É sinônimo de rocha plutônica, abissal ou mesmo endógena. As rochas intracrustais são o oposto das supracrustais, que se formam na superfície da crosta.

*Intrusão* – penetração de rochas eruptivas ou em fusão, entre outras formações.

*Rocha Encaixante* – rocha mais antiga em relação a um corpo de rocha mais recente que a penetrou (intrudiu).

*Clivagem* – consiste no fato de alguns minerais se partirem mais facilmente ao longo de certos planos (GUERRA & GUERRA, 2011).

## Ciclo das Rochas

O ciclo é resultado das interações entre dois dentre os três sistemas fundamentais da Terra: o sistema tectônica de placas e o sistema clima. O ciclo relaciona os processos geológicos para cada um dos três tipos de rochas (ígneas, sedimentares e metamórficas) a partir dos outros. Observa-se que o processo se inicia em qualquer ponto do ciclo.



Figura 6 – Ciclo das rochas

Fonte: <http://revistaescola.abril.com.br/>

O ciclo das rochas inicia-se com a formação das rochas ígneas pela cristalização do magma no interior da Terra. Em seguida, as rochas ígneas são soerguidas para a superfície no processo de formação de montanhas. Logo, elas são expostas aos processos de intemperismo e de erosão, que ocasionam a produção de sedimentos. Tais sedimentos são levados de volta para as profundezas da Terra por soterramento e litificam, para formar uma rocha sedimentar. O soterramento profundo leva ao metamorfismo ou à fusão. Quando chega a esse ponto, o ciclo se inicia novamente, sendo a tectônica de placas a força motriz para que esse mecanismo do ciclo ocorra.

### Leituras, filmes e sites



Rochas ornamentais:

<<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4104/1466>>

Revista de Geologia da USP:

<[http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1519-874X&lng=pt&nrm=iso](http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1519-874X&lng=pt&nrm=iso)>

Museu de Geociências da USP:

<<http://www.igc.usp.br/museu/home.php>>

### Atividades de avaliação



#### Exercício 01

1. Como ocorre o processo de formação das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas?
2. Explique o que são rochas ígneas, diferenciando os seus dois tipos de ocorrência.
3. Esclareça sobre a diferença entre metamorfismo regional e de contato.
4. Quais são as diferenças existentes entre as rochas sedimentares clásticas e químicas ou biogênicas?
5. Descreva como ocorre o processo de transformação de sedimentos em rochas sedimentares.

## Exercício 02

### *Atividade de Pesquisa*

Sabendo que, entre as várias maneiras pelas quais a sedimentação pode ser classificada, os geólogos acabaram estabelecendo o conceito de ambientes de sedimentação, que caracteriza-se pelo lugar geográfico configurado por uma combinação particular de processos geológicos e condições ambientais, pesquise em *sites* ou em livros sobre os ambientes de sedimentação: *continentais, costeiros, marinhos, clásticos e químicos e bioquímicos*. O trabalho deverá ser entregue em formato *Power Point*, contendo capa, introdução, desenvolvimento (descrição dos tipos de ambientes de sedimentação), considerações e bibliografia.

## Referências



- ANDRADE, F. R. D. et al.. A Terra sólida de minerais e rochas. In: TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra** – 2ª edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.
- BERTOLINO, L. C. et al.. Geologia. In: ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. da. **Manual de agregados para construção civil**. 2009.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1094&sid=129>. Acesso em: 10/05/2014.
- FAIRCHILD, Thomas Rich., et al.. Geologia e a Descoberta da Magnitude do Tempo. In: TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra** – 2ª edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.
- FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B.. Materiais Rochosos para Construção. In: Antônio Manoel dos Santos Oliveira; Sérgio Nertan Alves de Brito. (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1998.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. 9ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- PRESS, S., et al. **Para Entender a Terra**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- SZABÓ, G. A. J., et al.. Magma e seus produtos. In: TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra** – 2ª edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.

**Capítulo**

**5**

# **Estrutura e interior da Terra**



## Objetivos

- Compreender os principais processos envolvidos na estruturação interna do planeta Terra;
- Identificar a influência da estrutura interna na ocorrência de fatos geológicos na crosta.

## Introdução

A maior parte do interior da Terra é inacessível à observação direta, o que restringe sua investigação à utilização de métodos indiretos. Estudos sismológicos, entre outros aspectos, possibilitam estimativas da densidade das rochas que compõem o interior do planeta.

A partir das propriedades físicas e de simulações, a sismologia revela que a estrutura interna da Terra é composta por camadas concêntricas que compõem a crosta, o manto e o núcleo. Neste sentido, é possível inferir a composição mineralógica de acordo com as condições de pressão e de temperatura, uma vez que o calor interno e os processos de sua redistribuição no planeta são fatores importantes para compreender a dinâmica do movimento dentro e entre as camadas que a compõem (PACCA e MCREATH, 2008, p.84).

O formato aparente do planeta Terra é o de uma esfera perfeita, no entanto, sua forma mais precisa aproxima-se a de um elipsoide de rotação, cujo diâmetro na zona equatorial é de 12.756,776 m e de 12.713.824 m na zona polar. Seu volume estimado é de  $1,1 \times 10^{12}$  Km<sup>3</sup>, com uma massa de 6 sextilhões de toneladas. A temperatura aumenta em um gradiente de um grau a cada 30m, podendo atingir 6000 graus no núcleo (THOMAS, 2013).

Muito do que se conhece sobre o formato e a estrutura da Terra está relacionado com a influência da força de gravidade. Os estudos sobre a Gravidade do planeta tomaram maior consistência com a formulação da Teoria da Gravitação Universal de Isaac Newton. A gravitação é uma propriedade fundamental da matéria, cuja manifestação é exercida independente da escala de grandeza, desde a atômica até a cósmica.

De acordo com a Lei de Newton, massas esféricas, com densidades uniformes em seus interiores, atraem-se em razão direta do produto de suas massas e na razão inversa do quadrado das distâncias entre seus centros. As massas tendem a movimentar-se entre si em uma aceleração que depende

da distância entre os corpos, conforme atue o campo de aceleração gravitacional em torno dos corpos (ERNESTO e MARQUES, 2008, p.64).

No caso da Terra, o movimento de rotação exerce influência em função da aceleração centrífuga. Qualquer ponto do seu interior ou de sua superfície sofre efeito da aceleração centrífuga, a qual atua perpendicularmente ao eixo de rotação. Os únicos locais onde não há aceleração centrífuga são aqueles situados sobre o eixo de rotação, ou seja, nos polos. Os demais pontos da Terra sofrem aceleração centrífuga proporcional à distância do eixo de rotação, que atinge valores máximos na linha do Equador (ERNESTO e MARQUES, 2008, p.65).

A medida do campo de gravidade do planeta Terra possibilitou a obtenção de importantes informações sobre seu interior e suas características, tais como a forma e as interações com outros corpos do sistema solar. A direção e a intensidade da força da gravidade variam conforme o posicionamento sobre a superfície. Embora o componente gravitacional possua intensidade quase constante, sua direção varia, é praticamente radial e aponta para o centro da Terra. A força centrífuga ocasionada pelo movimento de rotação tem direção sempre perpendicular ao eixo, e sua intensidade varia de acordo com a latitude, sendo mais forte em direção à linha do Equador e mais fraca em direção aos polos (ERNESTO e MARQUES, 2008, p.65).

Com uma maior intensidade da gravidade nos polos e maior força centrífuga na Linha do Equador, a Terra assumiu formato esferoidal achatado, de modo que seu raio equatorial é ligeiramente maior que o polar, 6.378 e 6.357, respectivamente. Tal fato forneceu informações fundamentais para o conhecimento do interior do planeta, a exemplo dos indícios de que seu interior comporta-se como um fluido, cuja plasticidade permitiu o achatamento dos polos e expansão equatorial em escala geológica (ERNESTO e MARQUES, 2008, p.66).

### Saiba mais



O conhecimento do interior do planeta Terra é relativamente recente. No século XIX, cientistas especulavam sobre a constituição interna, a exemplo de Charles Darwin. Por meio de observações de erupções e de terremotos nos Andes, ele sugeriu que a Terra seria composta por uma fina camada superficial sobreposta a uma massa fundida, de modo semelhante à forma como é considerada atualmente. No final daquele século, admitiu-se que a Terra teria um núcleo composto por uma liga metálica de ferro e níquel, envolvido por um manto de silicatos de ferro e magnésio (PACCA E MCREATH, 2008, p.84).

Outro aspecto primordial para o conhecimento da estrutura interna do planeta Terra é o Princípio da Isostasia. O conceito de isostasia baseia-se no princípio de equilíbrio hidrostático, no qual um corpo, ao flutuar sobre a água, desloca uma massa equivalente à sua própria. Neste sentido, os blocos rochosos da litosfera, por exemplo, flutuariam sobre um substrato mais denso, fluido e viscoso (astenosfera).

O equilíbrio isostático é atingido quando a carga de perda de massa acumulada existente na parte emersa é, respectivamente, contrabalanceada por perdas de massa ou por acúmulos de carga na parte submersa. De tal modo, as porções mais elevadas da crosta possuem "raízes" submersas de massas equivalentes, cujo equilíbrio isostático é atingido pela variação da espessura da camada superior. Há, no entanto, compensação isostática ajustada de acordo com a variação da densidade dos blocos rochosos sem que, necessariamente, haja projeção do bloco para porções mais profundas do manto (ERNESTO e MARQUES, 2008, p.70).

Portanto, devido à diferença de composição e de densidade entre a crosta continental e oceânica, e, em especial, à isostasia, a primeira mantém-se acima do nível do mar, mesmo após a atuação dos agentes exógenos de desgaste da superfície (figura 1). Em outras palavras, à medida que a superfície é desgastada, ocorre lento soerguimento. Uma confirmação desse fato é possível a partir da observação de afloramentos de rochas originadas em grandes profundidades (ERNESTO e MARQUES, 2008, p.70).

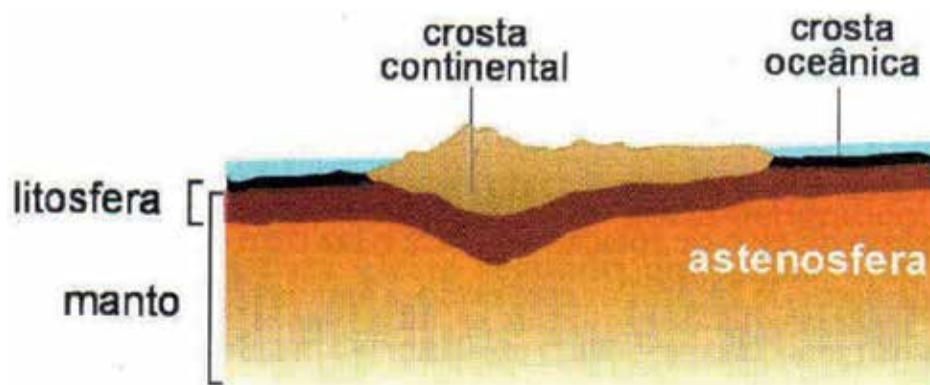


Figura 1 – Modelo de compensação isostática, no qual é representada a porção interna de blocos crustais em relação à sua porção exposta. As montanhas possuem raízes mais profundas e são compostas por rochas menos densas em relação à crosta oceânica, o que justifica seu posicionamento topograficamente mais baixo.

Fonte: Ernesto e Marques (2008).

A litosfera pode sofrer deformações para manter o equilíbrio isostático, seja por determinadas condições de adição ou de remoção de cargas (figura 2). A adição ocasionada pela formação de calotas de gelo, derrames basálticos

ou grandes acúmulos de sedimentos podem provocar rebaixamentos (subsidiências) de blocos rochosos. De modo oposto, podem ocorrer soerguimentos resultantes da remoção de cargas existentes na superfície da crosta, como no caso do degelo de calotas glaciais ou da erosão intensa de áreas montanhosas.



Figura 2 – Modelo de movimentos verticais da litosfera por adição e remoção de uma carga na superfície. A linha pontilhada representa o valor da gravidade antes da adição da carga. A linha tracejada refere-se à variação da gravidade com a adição e remoção da carga quando ainda não ocorreu a compensação isostática.

Fonte: Ernesto e Marques (2008).

De modo sistemático, a sismologia acumulou conhecimentos sobre o interior da Terra, com base em observações diretas e indiretas. As principais descobertas baseiam-se em estudos de ondas, bem como em estudos que tratam da resposta de cada camada interna à emissão delas em diferentes frequências. Associadas a observações diretas possíveis, foram elaborados modelos de estrutura e da composição.

O desenvolvimento dos estudos sismológicos em rede mundial permitiram o conhecimento de novas interfaces no interior terrestre e a compreensão de que ele se comporta de modo heterogêneo. Já foram realizadas sondagens tanto nos oceanos como nos continentes, em trabalhos que envolvem altos investimentos, o que força observações indiretas e outras evidências diretas. A exposição de rochas na crosta por meio de forças compressivas internas e agentes erosivos na superfície contribuem para maiores conhecimentos sobre a composição interna, com o auxílio de modelos sísmicos (PACCA e MCREATH, 2008, p.85).

De acordo com Pacca e McReath (2000), do ponto de vista químico, a estrutura interna pode ser dividida em crosta (continental e oceânica), manto (superior e inferior) e núcleo (externo e interno) (figura3).

A crosta continental apresenta espessura variável, desde valores entre 30 e 40 Km nas zonas sismicamente estáveis até 60 e 80 Km nas cadeias de montanhas. É constituída principalmente por silicatos de magnésio, ferro, alumínio e sílica livre (SIAL). Na porção mais superficial, é composta por sedimentos, rochas xistosas e granitoides. Em uma porção mais abaixo, é constituída por gnaisses, anfibolitos, migmatitos e intrusões máficas. Em seguida, há rochas máficas, ultramáficas e gnaisse.

Evidências sísmicas levam a crer que, em algumas regiões cratônicas, a crosta continental se divide em duas partes maiores pela chamada descontinuidade de Conrad. Nessa zona, ocorre um ligeiro aumento das velocidades sísmicas com a profundidade que as separam, ou seja, rochas de densidade menor na crosta superior e de densidade maior na crosta inferior (PACCA e MCREATH, 2008, p.86).

A crosta oceânica mede 7,5 Km de espessura em termos médios; é composta principalmente por teores mais elevados de cálcio, magnésio e ferro (SIMA) em relação à crosta continental. É também definida pela presença de três camadas rochosas sobre o manto. A primeira é composta por sedimentos inconsolidados, que é sucedida por uma camada intermediária de rochas vulcânicas. A camada inferior é, provavelmente, composta por rochas plutônicas e é sucedida pelo manto superior. Há, contudo, zonas nas quais a espessura da crosta oceânica atinja até quatro vezes a espessura média.

De acordo com Pacca e McReath (2000, p. 84), há uma descontinuidade que separa a crosta do manto, denominada descontinuidade de Mohorovicic, que consiste em uma faixa, em que as propriedades clásticas do material apresentam brusca variação. Sabe-se que ela varia de 5 a 10 km abaixo da crosta oceânica e de 30 a 80 Km abaixo da crosta continental.

O manto superior situa-se abaixo da denominada descontinuidade de Mohorovicic e vai até a primeira descontinuidade metálica abrupta, que se manifesta a uma profundidade em torno de 400 Km. Sua densidade varia de 3,2 g/cm<sup>3</sup> no topo até algo em torno de 3,6 - 3,7 g/cm<sup>3</sup>. É composto por silicatos ricos em magnésio ou de sulfetos e óxidos. Entre as rochas terrestres conhecidas, as ultramáficas são ricas em olivina magnésiana e piroxênio, que apresentam densidades semelhantes a essas (PACCA e McREATH, 2008, p.85).

Estudos de Geofísica demonstram a existência de uma zona chamada manto transicional no intervalo entre 400 e 650 Km de profundidade. Nela há algumas descontinuidades, caracterizadas por aumento na densidade, que podem ser causados por mudanças na composição química do manto, em que determinados elementos químicos mais densos começam a predominar em relação a outros (PACCA e McREATH, 2008, p. 89).

O manto inferior inicia-se desde aproximadamente 650 km e vai até algo em torno de 100-300 Km da descontinuidade de Gutenberg a 2.900 Km de profundidade. Acredita-se que seja composto por silicatos ferromagnesianos com estrutura densa, predominantemente, mas em menor quantidade, por silicatos cálcio alumínio, bem como por óxidos de magnésio, ferro e alumínio também densos.

O estudo do manto inferior é marcadamente especulativo, porém estudos recentes indicam que essa zona pode ter superfícies superior e inferior

regulares e que as porções mais espessas podem acumular-se em volumes semelhantes aos continentes na crosta.

O núcleo terrestre é relativamente homogêneo, composto por uma liga metálica de ferro e níquel (NIFE). Corresponde a uma esfera gigante metálica, com raio de 3.485 Km equivalente ao do planeta Marte.

O núcleo externo começa abaixo de 2.900 Km, após a descontinuidade de Gutenberg, com densidade aproximada de 10 g/Cm<sup>3</sup>. É provavelmente fluido, conduz calor e eletricidade até melhor do que o cobre e possui viscosidade semelhante à da água.

O núcleo interno possui um raio de 1.220 Km, é sólido e deve também ser composto pela liga de ferro-níquel, uma vez que sua densidade corresponde à densidade calculada. É possível que ele cresça pela solidificação do núcleo externo e gire com velocidade maior que o restante do planeta.

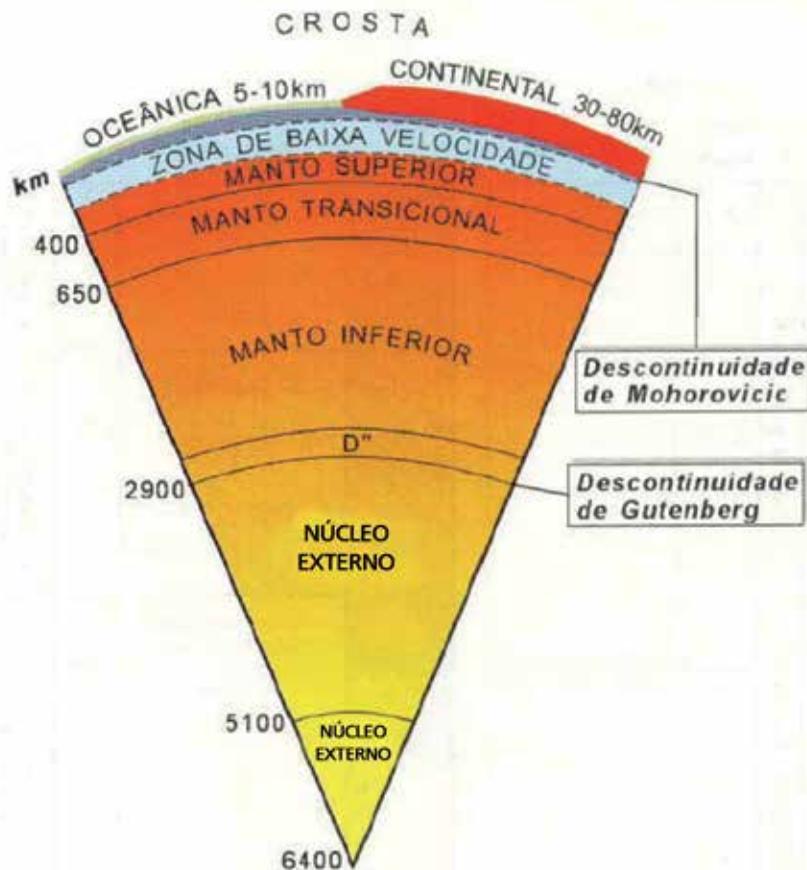


Figura 3 – Modelo clássico da divisão interna da Terra, conforme a composição química.

Fonte: Pacca e McReath (2008).

Quanto ao comportamento físico, é possível dividir o planeta Terra em **litosfera**, **astenosfera**, **mesosfera**, **núcleo externo** e **núcleo interno** (figura 4). Esse modelo caracteriza as camadas concêntricas conforme propriedades físicas, tais como rigidez e espessura.

A **litosfera** corresponde a uma zona composta pela crosta e pela parte mais externa do manto. Possui consistência sólida e flutua sobre a astenosfera, em virtude da presença de rochas fundidas dentro dessa estrutura sólida em sua maior parte.

A **astenosfera** é uma zona de baixa rigidez e de comportamento plástico, posicionada a cerca de 350 Km no manto superior, abaixo da litosfera .

A **mesosfera** - Trata-se de uma espessa camada sólida, com densidade muito superior à das rochas superficiais da crosta, que compreende parte do manto superior, a partir da base da astenosfera, passando ao manto transicional, até o limite do manto inferior com o núcleo.

A **endosfera** coincide com as características gerais dos núcleos externo e interno, portanto, em sua maior parte, possui consistência líquida, enquanto a parte mais interna conhecida apresenta consistência sólida.

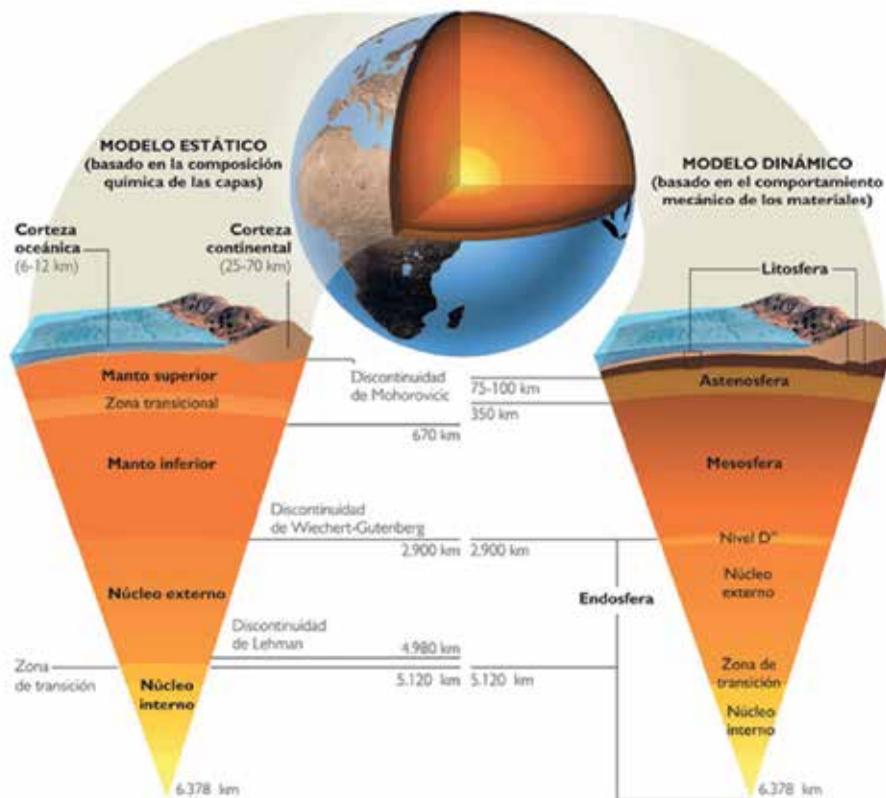


Figura 4 – Comparação entre as divisões estática (química) e dinâmica (física) do interior do planeta Terra.



## Saiba mais

### O ser humano ainda não chegou muito longe no rumo do centro da Terra

Na década de 1970, a ex União Soviética deu início ao projeto conhecido como poço super profundo de Kola. A investida tinha como objetivo a perfuração (até onde fosse possível) da crosta, para extração de amostras de rochas do período arqueano. A Península de Kola está localizada no norte da Rússia e ficou conhecida por abrigar a mais profunda cavidade já feita pelo ser humano. Em princípio, a pretensão era atingir 15.000 m; em 1982, as perfurações atingiram 12.000 m, e, em 1989, os soviéticos alcançaram 12.262 m. O projeto foi abandonado, entre outras razões, pelas altas temperaturas àquela profundidade, chegando aos 180o. Caso atingisse os 15.000 m, é provável que as temperaturas chegassem a 300o.

Disponível em: [www.curiosomundo.com.br/a-cavidade-mais-profunda-ja-perfurada-pelo-homem/](http://www.curiosomundo.com.br/a-cavidade-mais-profunda-ja-perfurada-pelo-homem/)

## Movimentos internos

A análise de ondas sísmicas indica que, pelo menos, parte do núcleo da Terra é fluido, e a movimentação dele é responsável pela geração de correntes elétricas que induzem o campo magnético. De acordo com o modelo desenvolvido por Bullard e Elsasser, o núcleo do planeta funciona como um dínamo autossustentável, cujo mecanismo converte energia mecânica em energia elétrica. Uma das prováveis fontes de energia seria a movimentação do fluido causada pelo seu resfriamento, com a cristalização e fracionamento de fases minerais densas, o que promove a liberação de energia potencial.

A diferença de temperatura e composição do fluido produz movimentos convectivos, os quais são mantidos em um movimento contínuo (figura 5). O movimento de rotação exerce força no fluido do núcleo, denominada força de Coriolis, a qual é responsável pelos movimentos ciclônicos do ar e das correntes marinhas. A massa é acelerada em direção perpendicular ao seu movimento, produzindo espirais de material condutor, que geram o campo magnético, com resultante quase paralela ao eixo de rotação (ERNESTO e MARQUES, 2008, p. 78).

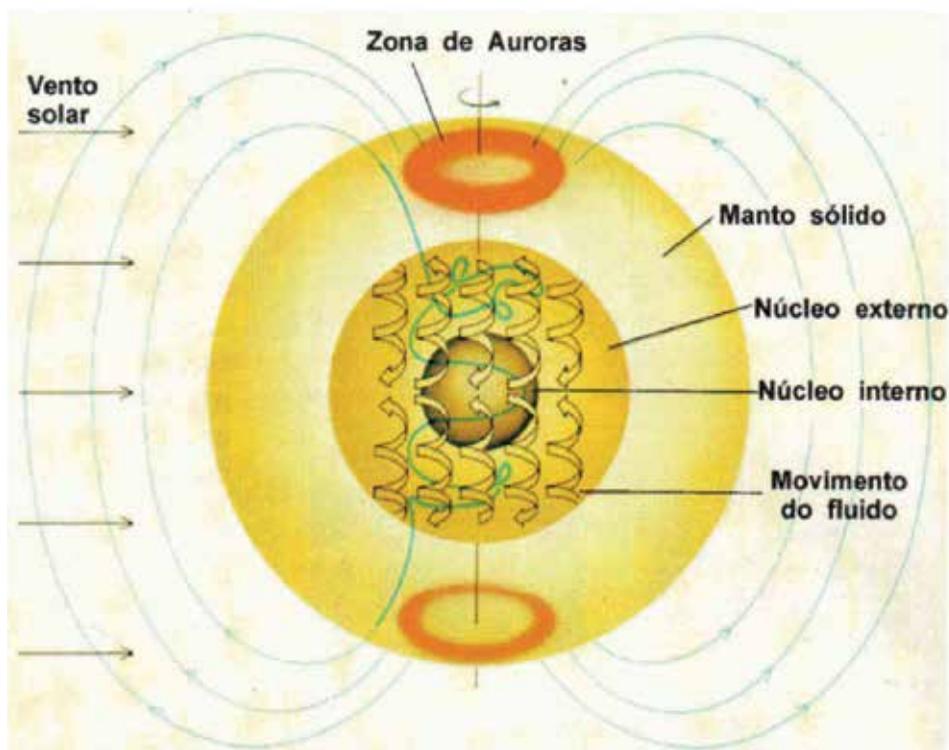


Figura 5 – Movimento do fluido condutor do núcleo externo e geração do campo magnético.

Fonte: Jeanloz, 1983 apud Ernesto e Marques (2000).

A movimentação interna também é ocasionada por diferenças térmicas, com significativas influências nas camadas concêntricas que compõem o globo terrestre. A teoria das correntes de convecção baseia-se na ideia de que movimentos verticais e horizontais da litosfera são originados por correntes e por deslocamentos de massas que se substituem nas profundidades abaixo da crosta. Os blocos superficiais seriam, portanto, movimentados por meio de tais correntes em fluxo horizontal, em soerguimentos ou abatimentos (LEINZ e AMARAL, 1975, p.348).

O princípio básico de uma célula de convecção é diminuição da densidade de determinada massa, o que ocasiona sua ascensão relativamente a massas contíguas de menor temperatura. As massas mais frias tendem a descer para ocupar o lugar das que subiram, instalando uma circulação de fluidos que segue o fluxo das correntes térmicas. De forma análoga, porém muito lenta, ocorre o movimento das massas rochosas, que, em dadas condições de temperaturas elevadas, comportam-se como material plástico-viscoso (TASSINARI, 1975, p.103).

Acredita-se que trata-se de correntes convecionais térmicas, conduzidas pelo aumento de temperatura das massas mais profundas do manto ou da desintegração radioativa. Disso seriam gerados impulsos ascendentes, conforme o princípio de Arquimedes. De modo oposto, as massas mais elevadas tendem a afundar. Diferenças térmicas tendem a provocar correntes no substrato plástico, ocasionando deslizamentos de um ramo que ascende por baixo dos continentes. Por conseguinte, ocorre deslocamento do ramo para o fundo dos oceanos, gerando-se daí uma corrente de convecção cíclica abatimentos (LEINZ e AMARAL, 1975, p.349).

O atrito produzido pelas correntes térmicas é transmitido à porção rígida, a qual sofre deformações, ora arrastando, ora adelgaçando a crosta. Em outras áreas, ocorre a convergência das correntes, produzindo sucção da crosta e seu afundamento abatimentos (LEINZ e AMARAL, 1975, p.349).

Outro aspecto importante das correntes de convecção é a força interna que ocasiona o movimento das placas tectônicas, especialmente em uma relação específica entre a litosfera e a astenosfera (figura 6).

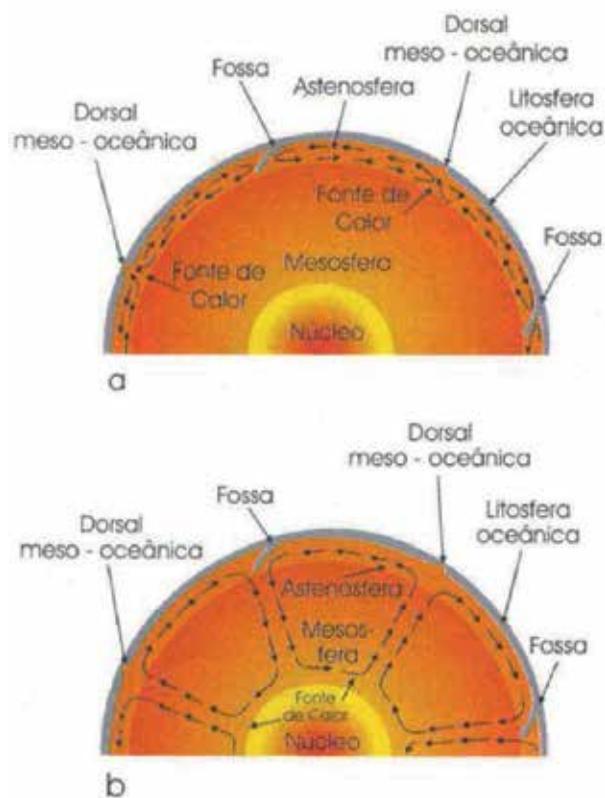


Figura 6 – Modelos representativos das correntes de convecção do interior da Terra. Em (a), correntes de convecção que ocorrem na astenosfera; em (b), correntes de convecção que ocorrem em todo o manto.

Fonte: Tassinari (2008).

## Leituras, filmes e sites



Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro:

[http://www.geologia.ufrj.br/index.php?module=pagemaster&PAGE\\_user\\_op=view\\_page&PAGE\\_id=50](http://www.geologia.ufrj.br/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=50)

Hypescience:

<http://hypescience.com/ha-um-oceano-de-agua-no-interior-da-terra-concluiu-estudo-com-diamante-brasileiro/>

Sociedade Brasileira de Geofísica:

<http://www.sbgf.org.br/geofisica/geofisica.html>

## Atividades de avaliação



1. Discorra sobre como é possível o conhecimento do interior da Terra, levando em consideração a impossibilidade de observações diretas.
2. Quais são os modelos que explicam a estrutura interna da Terra e o que os diferencia?
3. Quais as principais influências da gravidade para a forma e a estrutura da Terra?
5. Explique como se manifesta a influência das correntes de convecção no interior da Terra.

## Referências



ERNESTO, M; MARQUES, L. S. Investigando o interior da Terra. In: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M. C. M., FAIRCHILD, R. T., TAIOLI (orgs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos. 1a ed. p. 63-82. 2008.

LEINZ, V; AMARAL, S, E. Geologia Geral. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 6a ed. 1975.

PACCA, I. L.; McREATH, I. Composição e o Calor da Terra. In: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M. C. M., FAIRCHILD, R. T., TAIOLI (orgs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos. 1a ed. p. 84-96. 2008.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Geologia e geofísica de petróleo**. Rio de Janeiro: Universidade Petrobrás. 2013.

[mariagalvancmc.blogspot.com.br/p/nuestro-planeta-la-tierra.html](http://mariagalvancmc.blogspot.com.br/p/nuestro-planeta-la-tierra.html)

[www.curiosomundo.com.br/a-cavidade-mais-profunda-ja-perfurada-pelo-homem/](http://www.curiosomundo.com.br/a-cavidade-mais-profunda-ja-perfurada-pelo-homem/)

Capítulo

6

# Processos Internos



## Objetivos

- Entender quais os processos internos da dinâmica da Terra que configuram o relevo terrestre;
- Compreender e diferenciar processos internos de externos.

## Introdução

Os processos internos formam os grandes relevos, e os processos externos modelam esses relevos. Explicando, o que gera uma cadeia montanhosa é o processo interno, e o que vai modelar as vertentes em formas mais aguçadas ou arredondadas, formar os vales fluviais encaixados e as áreas de depressão intermontana é o processo externo.

A rocha, independente do seu tipo (metamórfica, ígnea ou sedimentar), está sujeita a ação dos processos internos e dos processos externos. Eles podem acontecer alternadamente na rocha ou não. São esses processos que vão desagregar e decompor a rocha em fragmentos menores. Esses fragmentos vão tornando-se cada vez menores até formar o solo. O solo é formado, então, pela desagregação e pela decomposição de uma rocha-mãe e pela deposição do material desagregado e decomposto.

## Processos Internos

Os processos internos são explicados pelo tectonismo e pelo vulcanismo. Para cada um desses fatores, existem relevos derivados com características marcantes. Os processos internos são controlados pela dinâmica interna da Terra. Eles necessitam de mais energia para acontecer.

## Tectônica de placas

A teoria da tectônica de placas foi o resultado da junção de outras teorias, como a de expansão do assoalho oceânico, proposto por H. Hess em 1962, e a teoria de deriva dos continentes, proposta por Wegener em 1912 (REED, 2011).

Já foi estudado nos capítulos anteriores, a composição da Terra. A litosfera (crosta terrestre) rígida está sobre a astenosfera, que é líquida, acarretando uma deposição instável. A litosfera, desta forma, é capaz de se movimen-

tar. Quando ela movimenta-se, quebra-se em número reduzido de partes. A essas partes chamamos de placas tectônicas (figura 1).

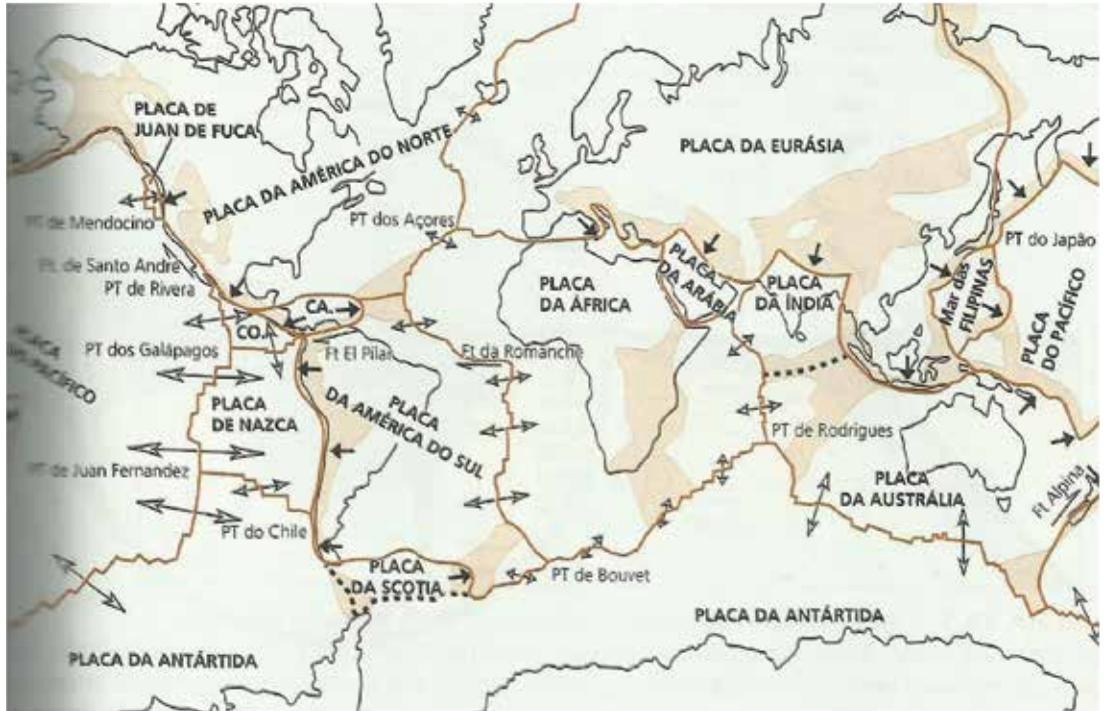


Figura 1 – Placas tectônicas do mundo.

Fonte: REED (2011).

O Brasil está completamente inserido na placa sulamericana. Note que todo o território nacional não está em zona de limite de placa tectônica, ou litosférica. Estas zonas de limites são instáveis tectonicamente, ocasionando terremoto e vulcanismo. Como o Brasil não está em zona de limite de placa, não possui relevantes terremotos ou vulcanismos.

O movimento das placas promovido pela astenosfera faz com que elas se separem, choquem-se, ou deslizem uma ao lado da outra. Esses movimentos são classificados em movimentos convergentes, divergentes e conservativos (figuras 2 e 3).

- a. Divergentes: movimentos marcados pelo distanciamento entre placas oceânicas a partir das dorsais meso-oceânicas, com a formação de nova crosta oceânica. Placa oceânica – oceânica. Ex.: Oceano Atlântico.
- b. Convergentes: as placas litosféricas tectônicas colidem uma com a outra. Após a colisão, a porção da placa oceânica mais densa mergulha sob a outra, continental (menos densa), ou oceânica. Em con-

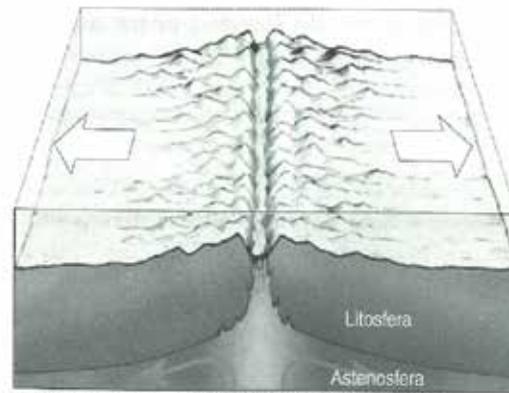
comitância, podem-se ter eventos de magmatismo associados com sismos. Arcos de ilhas (Japão), fossas submarinas e cadeias de montanhas (Cordilheira Andina) são tipos de relevos derivados. Tipo placa oceânica – continental; Tipo placa oceânica - placa oceânica.

- c. Conservativos: Tipo placa continental - placa continental. As placas tectônicas deslizam por tensão lateralmente uma em relação à outra, sem destruição ou geração de crosta oceânica ou continental. O deslocamento se dá ao longo das falhas transformantes. Ex.: Falha de Santo André na Califórnia.

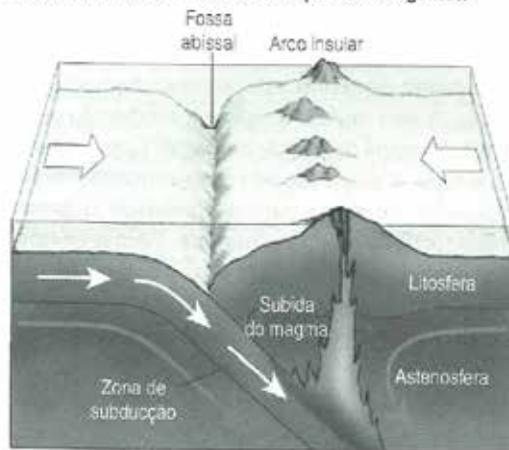
TIPO DE LIMITE	TIPOS DE PLACAS ENVOLVIDAS	FISIOGRAFIA	EVENTOS GEOLÓGICOS	EXEMPLOS ATUAIS
Divergente	Oceano-Oceano	Cordilheira Meso-oceânica com <i>Rift-Valley</i> Central.	Expansão do assoalho oceânico, ascensão de magma básico, vulcões, terremotos rasos.	Cadeia do meio-atlântico
	Continente-Continente	<i>Rift-Valley</i>	Fragmentação de continentes, ascensão de magma, vulcões, terremotos.	Grande <i>Rift</i> africano
Convergente	Oceano-Oceano	Arco de ilhas e fossas	Subdução, ascensão de magma, vulcões andesíticos, terremotos, deformação crustal.	Aleutas, oeste
	Oceano-Continente	Montanhas e fossas oceânicas	Subdução, ascensão de magma, vulcões andesíticos, deformação crustal, terremotos profundos	Costa oeste sul-americana (Andes)
	Continente-Continente	Montanhas	Deformação crustal, metamorfismo, terremotos profundos.	Himalaia, Alpes
Transformante	Oceano-Oceano	Deslocamentos do eixo das cordilheiras oceânicas.	Terremotos	Fratura Kane
	Continente-Continente	Deformação ao longo da falha, pequenas montanhas.	Deformação de rochas, terremotos.	Falha de Santo André

Figura 2 – Tipos de movimentos, limites entre placas tectônicas e formas de relevo derivadas.

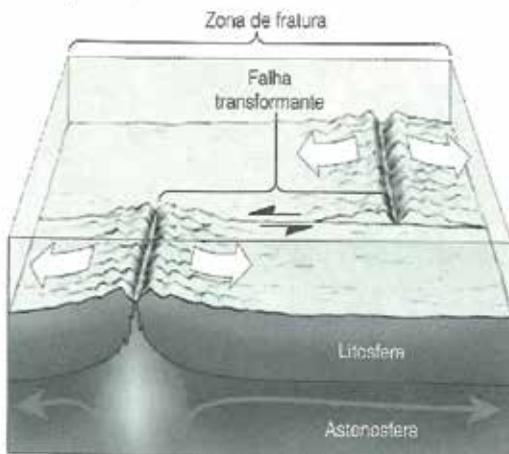
Fonte: Penha (2001).



Dorsal oceânica em uma borda de placas divergentes.



Fossa abissal e arco insular em uma borda de placas convergentes.



Falha transformante conectando duas bordas de placas divergentes.

Figura 3 – Limites entre placas tectônicas.

Fonte: Miller Jr (2007).

No momento em que ocorre o choque entre as placas, podem acontecer terremotos. Os terremotos “são vibrações naturais da crosta terrestre que se propagam por meio de vibrações, podendo ser percebidos diretamente com os sentidos ou por meio de instrumentos” (LEINZ & AMARAL, 2003 p. 305) (figura 4).

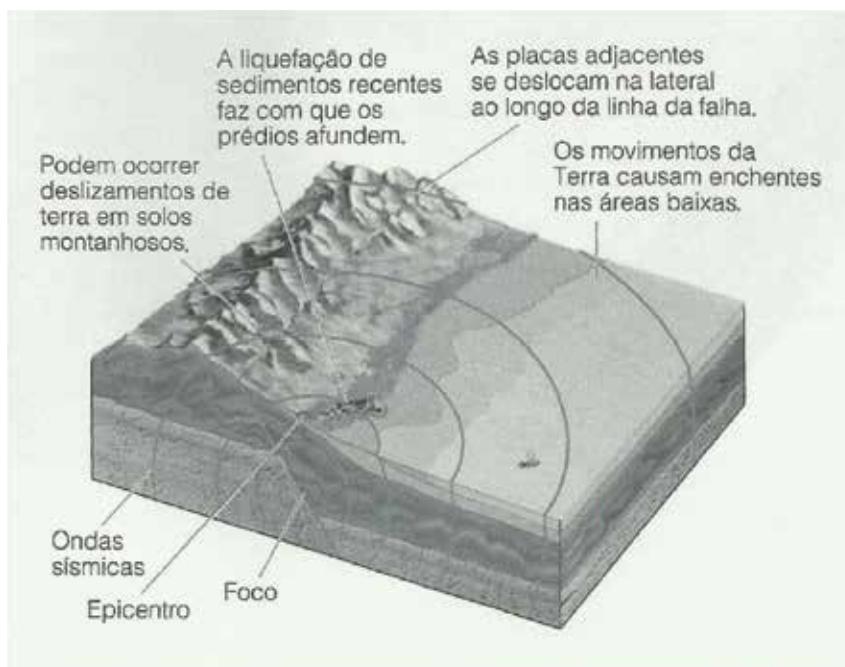


Figura 4 – Ocorrência de um terremoto e seus efeitos.

Fonte: Miller Jr. (2007).

Os terremotos são sentidos a partir da propagação das ondas sísmicas. As rochas, como possuem elasticidade, propagam essas ondas sísmicas, que são de três tipos: ondas P, ondas S e ondas L, as quais são as abreviações de *prima*, *secunda* e *longa*. As ondas P são as primeiras a serem registradas, pois são rápidas e vibram no sentido da propagação. As ondas S são as segundas que chegam, visto que são mais lentas e vibram ortogonalmente à propagação. E, por último, as ondas L são as mais destrutivas para a população humana, já que vibram somente na superfície, com uma grande capacidade de destruição (LEINZ & AMARAL, 2003).

Epicentro é porção geográfica situada logo acima do foco de um sismo, ou terremoto, a qual sofre com os feitos da propagação de energia liberada. Quanto mais povoada for uma determinada área sobre o foco do sismo, maior é o seu poder de devastação.



## Saiba mais

### *Os terremotos são medidos pela escala Richter*

“A escala de Richter foi desenvolvida em 1935 pelos sismólogos Charles Francis Richter e Beno Gutenberg, ambos membros do California Institute of Technology (Caltech), que estudavam sismos no Sul da Califórnia. Ela representa a energia sísmica liberada durante o terremoto e se baseia em registros sismográficos. A escala Richter aumenta de forma logarítmica, de maneira que cada ponto de aumento significa um aumento 10 vezes maior. Dessa forma, um sismo de magnitude 4 é 100 vezes maior que um de 2. No entanto, é importante salientar que o que aumenta é a amplitude das ondas sismográficas e não a energia liberada. Em termos gerais, a energia de um terremoto aumentaria um fator 33 para cada grau de magnitude, ou aproximadamente 1000 vezes a cada duas unidades.”

**Fonte:** <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=274>

*Os terremotos* que ocorrem no distrito de Jordão, no município de Sobral, aqui no Ceará, são originados pela acomodação das rochas sobre uma falha normal, por isso, são de pequena intensidade. Não são ocasionados pelos movimentos orogênicos.

## Vulcanismo

O vulcanismo é todo tipo de processo associado com a efusão do magma sobre ou dentro da crosta terrestre, rompendo-a ou não. Esse magma pode chegar à superfície de maneira explosiva ou passiva. Se o fizer de maneira explosiva, existe a ocorrência de piroclastos. Se o fizer de maneira passiva, o magma derrama-se sobre a superfície, ocasionando vales e planícies (POPP, 1998).

Os vulcões ocorrem nas zonas de limites de placas ou nos pontos-quentes. A estrutura de um vulcão pode ser visualizada na figura 5 e compreende cratera, chaminé, cone-parasita e bolsão (POPP, 1998).

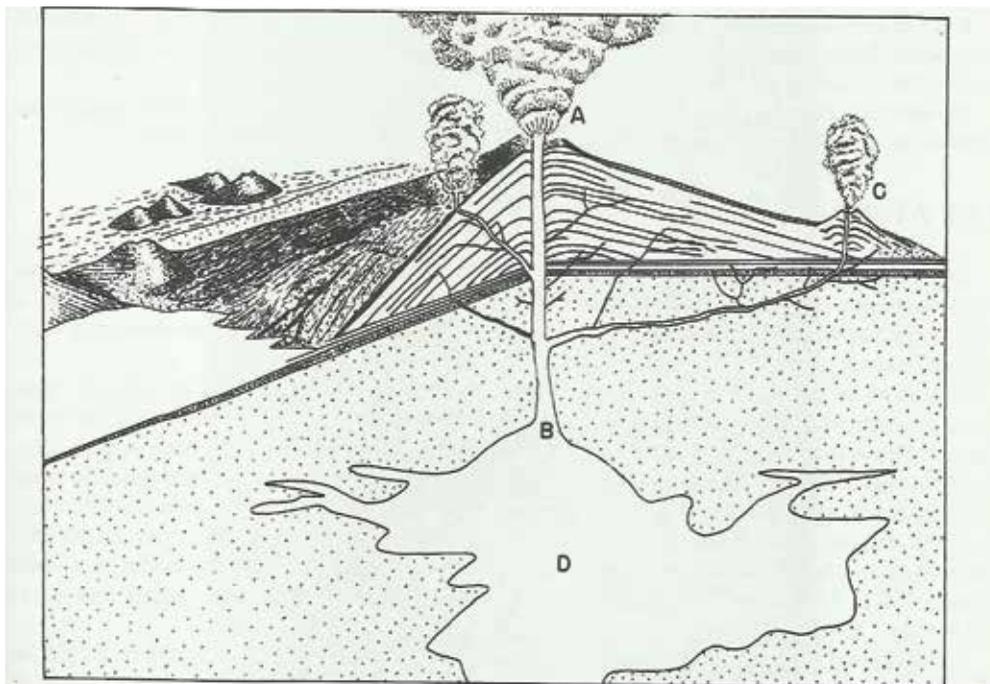


Figura 5 – Estrutura de um vulcão.

Fonte: POPP (2008).

O que sai de um vulcão? Vapor d'água, magma e rochas.

Você sabia? Hotspot são pontos fixos na Terra que expelem lavas. Sua explicação ainda não está muito clara, mas as placas tectônicas, ao “flutuarem” sobre esses pontos quentes, podem ficar com vulcões. Os vulcões originados por pontos quentes são de pequena magnitude, contudo bastante impactantes na paisagem ao redor.

No Ceará, há vulcões!!! O serrote do Pão de Açúcar, Japapara e Salgadinho, em Caucaia, e o morro Caruru, em Aquiraz, são resíduos de vulcões. O mesmo ponto quente gerou o arquipélago de Fernando de Noronha.

### Para Fixar

Processos internos são a tectônica de placas e o vulcanismo. Processos externos são todos os tipos de intemperismo. O processo interno faz o relevo, e o processo externo modela-o, sendo fortemente controlado pelo clima.

## Atividades de avaliação



1. O Brasil está situado sobre que tipo de placa tectônica?
2. Por que o Brasil não é um país vulnerável à ocorrência de sismos?
3. Quais são os tipos de movimentos limitantes entre placas tectônicas?
4. O que são sismos, ou terremotos?
5. O que é vulcanismo? Há registro de vulcões no Ceará?

## Leituras, filmes e sites



Serviço geológico americano: [http://www.usgs.gov/natural\\_hazards/](http://www.usgs.gov/natural_hazards/)

Departamento de Astronomia da Universidade de São Paulo: <http://www.iag.usp.br/>

Serviço geológico do Brasil: <http://www.cprm.gov.br/Aparados/index.htm>

Cultura Mix: <http://meioambiente.culturamix.com/natureza/intemperismo-processo-fisico-e-quimico>

## Referências



REED, Wicander; MONROE, James S. **Fundamentos de Geologia**. PETERS, E. Kirsten (colaboração). São Paulo: Cengage Learning, 2011.

PENHA, H.M. Processos endógenos na formação do relevo. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001.

POPP, José Henrique. **Geologia Geral**. 5ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1998. Reimpressão em 2007.

LEINZ Viktor & AMARAL, Sérgio Estanilau do. **Geologia Geral**. 14ª edição revisada. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.

MILLER JR., G.T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

# 7

## Capítulo

# Orogênese e Epirogênese



## Objetivos

- Compreender que o interior da Terra não é estático;
- Os movimentos internos são comandados pela epirogênese e orogênese.

## Introdução

Os movimentos das placas tectônicas deixam marcas na superfície da Terra. São cadeias de montanhas, vulcanismos, falhas na crosta, rochas dobradas, enfim, são movimentos que sempre atuaram e sempre atuarão na Terra. Esses movimentos são classificados em dois tipos: orogenéticos e epirogenéticos (POPP, 1998).

A orogênese é a causadora dos movimentos orogenéticos, e a epirogênese, dos movimentos epirogenéticos. Esses movimentos possuem diferença em relação à sua velocidade, e cada um gera um tipo de relevo diferente na superfície.

## Orogênese

Orogenia é o termo usado pelos geólogos para a formação de uma cadeia de montanhas onde ocorrem dobramentos e metamorfismo das rochas. É acompanhado pelo reposicionamento de batólitos e, espessura da crosta terrestre (REED, 2011).

As atividades orogenéticas atuais ocorrem ao longo de cinturões orogenéticos, como o Alpino-Himalaio e o do Pacífico. Note que, nesses locais, ocorre o choque de placas continental-continental e continental-oceânica respectivamente. Relembrando que a orogênese, o choque das placas, pode ser entre placas continental-continental, continental-oceânica e oceânica-oceânica. A seguir, vamos detalhar o que ocorre com o choque entre essas combinações diferentes de placa na lição de (Reed, 2011).

**Oceânica-Oceânica:** a orogênese entre duas placas oceânicas gera um arco de ilhas vulcânicas. A deformação da placa ocorre quando o sedimento depositado junto ao limite da placa é deformado e friccionado contra o fosso. Isso produz um relevo elevado de rochas dobradas e o surgimento do arco de ilhas. Se as placas continuarem a convergir, o que é chamado de “retroarco” será comprimido contra o continente e fará parte dele (figura 1).

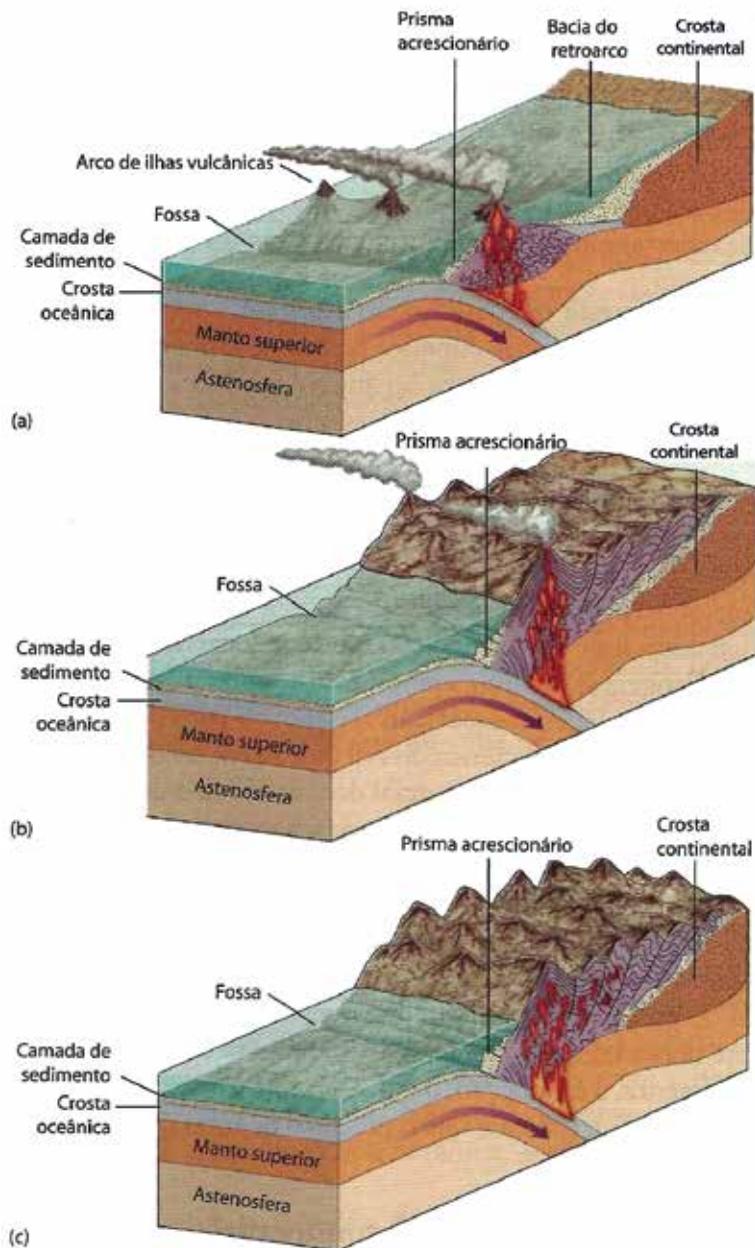


Figura 1 – Coque entre placas oceânica-oceânica e ciclos posteriores.

Fonte: Reed (2011).

**Continental-Oceânica:** É o processo mais comum na formação de várias cordilheiras do mundo, como a Cordilheira dos Andes e os Alpes na Europa. Esse movimento, quando ocorre entre duas placas diferentes, possui uma característica peculiar, o peso específico. O peso específico da crosta oceânica é maior do que o peso específico da crosta continental. Isso faz com que, na zona de subsidência, a crosta oceânica mergulhe e a crosta continental se dobre.

## Saiba mais



Zona de subsidência é a região onde a crosta terrestre mergulha ao encontro da astenosfera. No mundo, ocorrem onde as placas são convergentes.

Quando a crosta continental se dobra, o material se eleva, formando a cordilheira. Ocorre também vulcanismo, derivado da subsidência da crosta oceânica. Quando as rochas da crosta oceânica encontram as zonas de altas temperaturas, fundem-se, e tende a ocorrer um movimento convectivo dessa fusão (figuras 1 e 2).

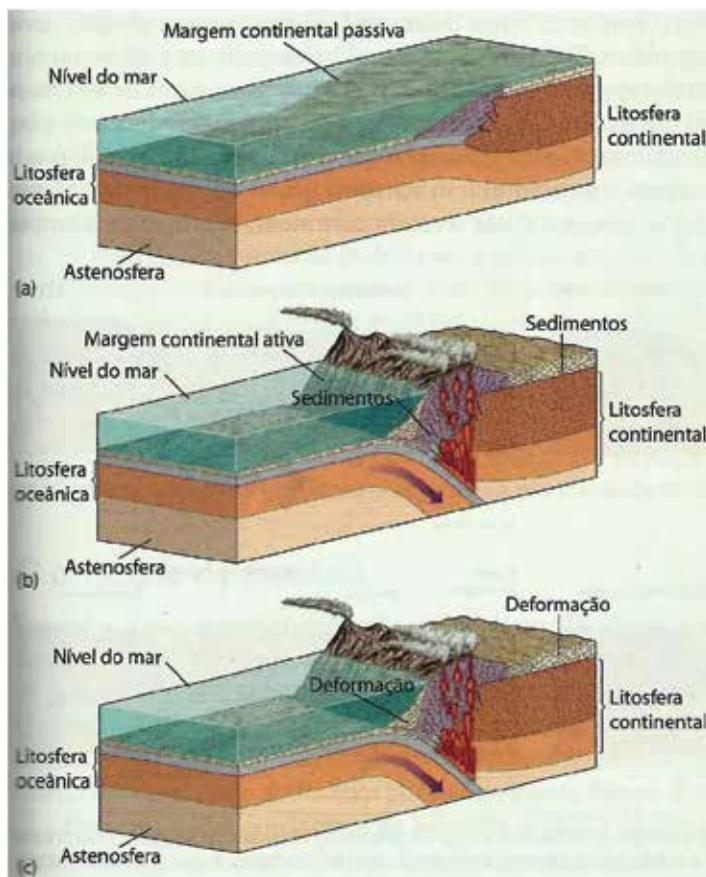


Figura 2 – O desenvolvimento da Cordilheira dos Andes.

Fonte: Reed (2011).

**Continental-Continental:** O exemplo mais significativo deste choque é a cordilheira do Himalaia. Em um passado geológico, a Ásia e a Índia eram separadas por uma bacia oceânica. Quando a placa indiana se moveu para o Norte, foi criada uma zona de subdução, e a sua porção oceânica

foi consumida. Assim, a parte continental da Índia se chocou com a parte continental da Ásia, derivando os dobramentos e a elevação de ambas as crostas continentais (figura 3), por terem o mesmo peso específico. Existem também outras montanhas formadas dessa forma, como os Urais, na Rússia, e o Apalache, na América do Norte.

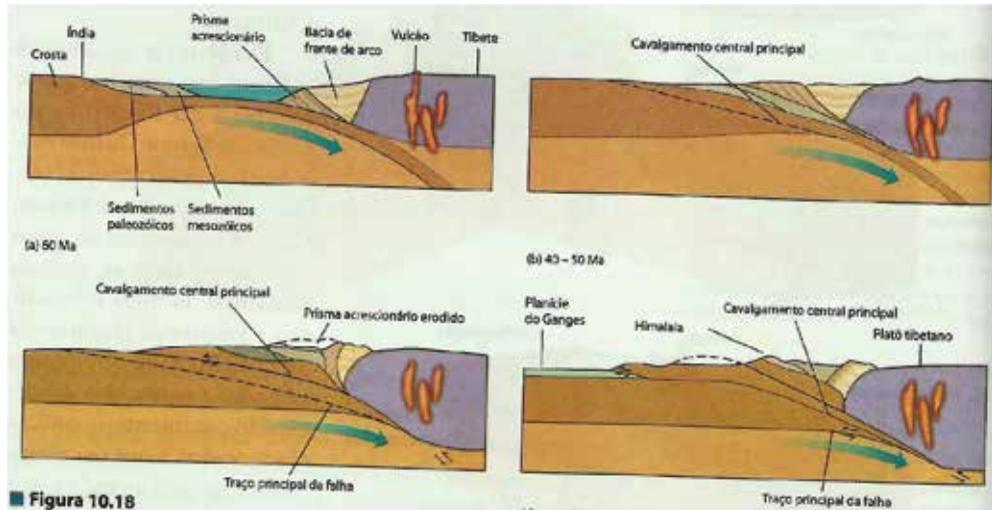


Figura 3 – Surgimento do Himalaia.

Fonte: Reed (2011).

As rochas no movimento orogénico se dobram, como mencionado anteriormente. Abaixo, há uma foto de uma estrutura geológica dobrada.



Figura 4 – Dobramento.

Fonte: <http://www.mundoeducacao.com/geografia/orogenese-epirogenese.htm>

## Epirogênese

Na lição de Leinz & Amaral (2003, p. 335), epirogênese “caracteriza-se por movimentos no sentido vertical de vastas áreas continentais, sem perturbar localmente a disposição e a estrutura geológica das formações que compõem os blocos afetados por esses movimentos”. Esse movimento produz grandes arqueamentos ou depressões de leve grau de envergadura. O arqueamento de uma parte do continente é sempre acompanhado do rebaixamento em outra. A esse movimento da crosta dá-se o nome de isostasia.

Este é um movimento muito lento e de difícil percepção em um primeiro momento, pela ausência de um referencial de nível. As principais análises são feitas à beira-mar, por ser um referencial de nível com oscilação já conhecida; no entanto, não é a subida ou a descida do mar que causa a epirogênese (POPP, 1998).

Você sabia? Transgressão é a elevação do nível do mar sobre o litoral, e regressão é o rebaixamento do nível do mar. O fator principal que causa essa variação é o clima, também ocorrendo em menores proporções a partir de um tectonismo submarino.

A epirogênese é positiva quando ocorre uma elevação do bloco terrestre e é negativa quando ocorre um rebaixamento do bloco terrestre. Como esse movimento não é causado pelo choque de placas, mas em áreas estáveis geologicamente, associa-se a orogênese a áreas instáveis e a epirogênese a áreas estáveis tectonicamente.

Os relevos específicos gerados pela epirogênese são denominados de *horst* e *graben*. *Horst* é a elevação de um bloco, e o *graben* é o rebaixamento. "É mais comum acontecerem quando associados a falhas na crosta terrestre.

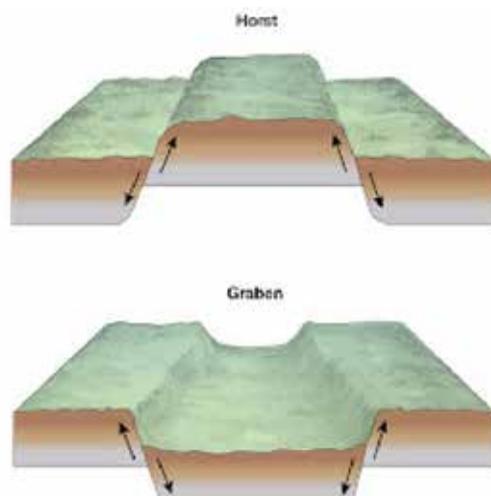


Figura 5 – Exemplo de horst e graben.

Fonte: <http://soumaisenem.com.br/geografia/estrutura-interna-e-litosfera/geologia-movimento-das-placas-tectonicas-epirogenese-e>

## Para fixar

Orogênese é o choque entre placas tectônicas, forma montanhas e associa-se um vulcanismo. A Epirogênese é o movimento lento de elevação ou de rebaixamento de grande curvatura em uma área muito extensa da crosta.

### Leituras, filmes e sites



Educação pública Fundação CECIERJ: [http://www.educacaopublica.rj.gov.br/oficinas/geologia/geologia\\_geral/unid2\\_cap1.htm](http://www.educacaopublica.rj.gov.br/oficinas/geologia/geologia_geral/unid2_cap1.htm)

Infopédia de Portugal: [http://www.infopedia.pt/\\$orogense.jsessionid=nTOefML00UD45UxzpbuNrA\\_\\_](http://www.infopedia.pt/$orogense.jsessionid=nTOefML00UD45UxzpbuNrA__)

Revista Brasileira de Geociências:

<http://www.ibitipoca.tur.br/pesquisas/14orogense.pdf>

### Atividades de avaliação



1. Diferencie orogênese de epirogênese.
2. Quais os grandes relevos do mundo gerados pela orogênese?
3. No Brasil, ocorre algum desses movimentos? Por quê?

### Referências



LEINZ Viktor & AMARAL, Sérgio Estanilau do. **Geologia Geral**. 14ª edição revisada. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.

POPP, José Henrique. **Geologia Geral**. 5ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1998. Reimpressão em 2007.

REED, Wicander; MONRE, James S. **Fundamentos de Geologia**. PETERS, E. Kirsten (colaboração). São Paulo: Cenage Learnig, 2011.

8

Capítulo

# Processos Externos



## Objetivo

- Entender quais são os principais processos da dinâmica externa da Terra que configuram o relevo terrestre.

## Introdução

Os agentes e os processos externos são responsáveis pelo modelado dos relevos terrestres. São responsáveis pelas formas de encostas ou de vertentes mais aguçadas ou arredondadas do relevo, e formam os vales fluviais abertos, ou “v”, as áreas aplainadas pela erosão. As fontes de energia que movem a ação dos processos externos estão associadas indiretamente à energia solar e à gravidade. Os principais processos correspondem à erosão e ao desgaste das rochas, ao transporte de materiais erodidos e desagregados e à deposição de sedimentos em grandes áreas topográficas deprimidas (figura 1).

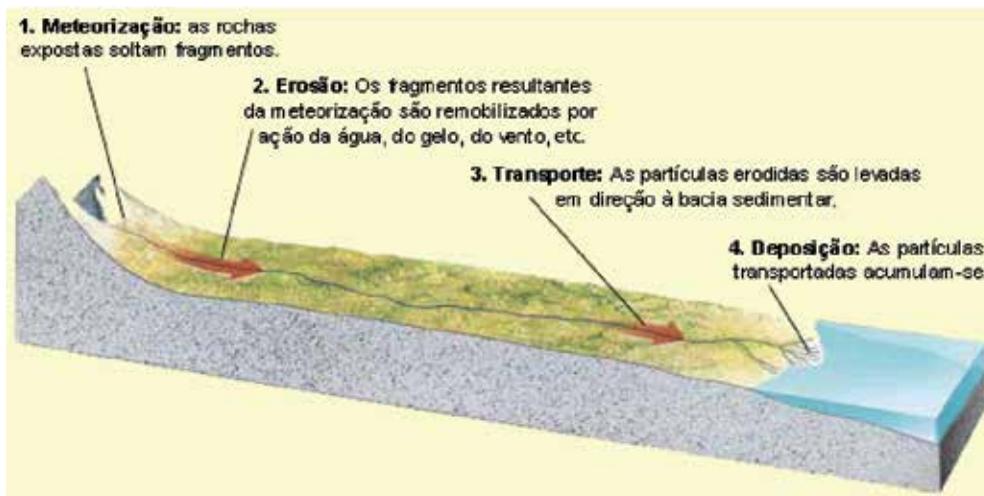


Figura 1 – A atuação dos processos externos da Terra.

Fonte: [http://omelhordageografia.blogspot.com.br/2012\\_08\\_01\\_archive.html](http://omelhordageografia.blogspot.com.br/2012_08_01_archive.html).

## Processos Externos

Os processos externos são explicados pelo intemperismo, seja ele físico, químico ou biológico. O intemperismo é composto por um conjunto de processos controlados por agentes geológicos diversos, que promovem a decomposição e desagregação das rochas. O fator controlador principal desses processos

é o clima, é e expresso pelo Ciclo Hidrológico (figura 2). Existe na Terra, variação em relação à temperatura, à quantidade de precipitação, a umidade, a insolação, aos ventos, enfim. As variáveis do clima são de grande relevância para a execução do intemperismo. O intemperismo necessita de menos energia que os processos internos e é o grande responsável por moldar o relevo nas feições identificadas.

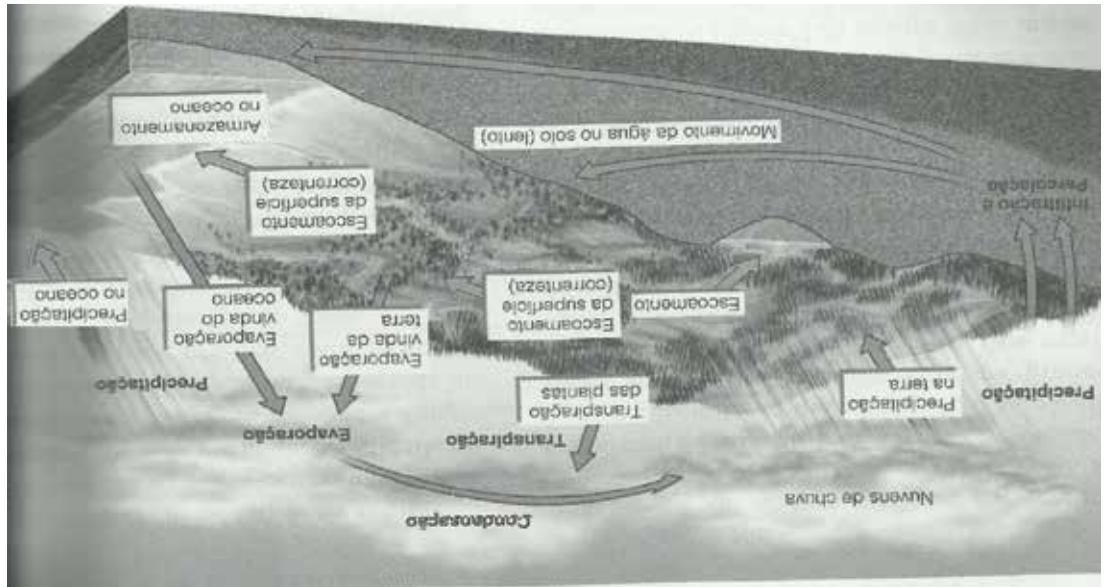


Figura 2 – Ciclo Hidrológico.

Fonte: Miller Jr (2007).

Vale ressaltar que, dificilmente, ocorre somente um tipo de intemperismo em uma paisagem. O que existe é um tipo de intemperismo predominante e os outros ocorrendo paralelamente com menos importância. Os tipos de intemperismo abordados aqui estão baseados em Leinz & Amaral (2003).

## Intemperismo Físico

Entende-se por intemperismo físico qualquer processo capaz de desagregar fisicamente a rocha sem alterar sua composição química. É a transformação de fragmentos maiores em menores. Esse tipo de intemperismo pode ocorrer de acordo com a variação da temperatura, a cristalização de sais, a congelamento e os agentes físico-biológicos.

1. **Varição da temperatura:** também conhecida como termoclastia. É ocasionada pela diferença térmica diária à qual a rocha fica submetida. Como a rocha é composta por diferentes minerais, possui, portanto,

diferentes coeficientes de dilatação térmica. Apesar de a diferença entre os minerais ser de micros/metro, deve-se pensar que essa diferença é diária “durante séculos e séculos” (LEINZ & AMARAL, 2003, p. 58), fazendo com que a camada superficial se dilate e se destaque da rocha.

- 2. Cristalização de sais:** em regiões mais secas, os sais não são dissolvidos pela água, eles são carregados para os fundos dos níveis de base local devido à escassa precipitação. Com isso, dissolvem-se muitos sais, que não são precipitados junto com a água. Essa dissolução dos sais quando ocorrem nas fendas das rochas, tendem a expandir fisicamente os minerais adjacentes.
- 3. Congelação:** A água, ao congelar, expande seu volume. Quando isso ocorre nas fendas das rochas, causa sua expansão. Em regiões que ciclicamente estão submetidas a esse fator, são causadas grandes deformações nas camadas superficiais das rochas.
- 4. Agentes físico-biológicos:** são ocasionados pelo crescimento das raízes das plantas nas fendas das rochas. No entanto, a resistência oferecida pela rocha não deve ser grande. Esse tipo de intemperismo é mais importante por abrir um caminho ao intemperismo químico do que pela própria desagregação mecânica da rocha.

## Processo Externo – Intemperismo Químico

Este intemperismo é caracterizado pela alteração química da rocha. Essa alteração é ocasionada pelo contato da rocha com diversas soluções aquosas. Esse processo é mais eficaz se o intemperismo físico desagregar a rocha antes, aumentando sua superfície de contato com a solução (LEINZ & AMARAL, 2003). Os tipos de intemperismo químico mais importantes são: oxidação, queluviação, hidrólise e hidratação e, por último, dissolução.

- 1. Oxidação:** Ocorre geralmente com o ferro ou o manganês. O ferro, na forma  $2+$ , é reduzido para  $3+$ , oxidando-se. A olho nu, pode-se perceber essa oxidação pela mudança da cor para vermelho. A oxidação pode acontecer por meio de agentes orgânicos ou inorgânicos. No Ceará, são mais comuns os agentes inorgânicos.
- 2. Queluviação:** Compostos químicos derivados do húmus fixam determinados íons que perdem sua capacidade, sendo então, removidos. Ocorre normalmente com o ferro e o alumínio. Os hidróxidos de ferro, então formados, vão se concentrar nos níveis mais inferiores. Acontece em regiões de solo mal drenado, com atuação no Ceará insignificante.

3. **Hidrólise e hidratação:** Esses processos são relacionados. A hidratação abre caminho para a hidrólise na medida em que a água ocupa os poros da rocha, dilatando-os. Em seguida, ocorre a hidrólise, que é a combinação da água com a sílica ou a alumina. Isso é muito comum nos argilo-minerais que ocorrem nos sertões cearenses.
4. **Dissolução:** É comum nos calcários. Um calcário, em contato com o gás carbônico dissolvido dentro da água, é facilmente dissolvido em solução de bicarbonato de cálcio. Esse processo, com ocorrência em grande escala, pode ocasionar aberturas no terreno, formando cavernas, grutas etc.

A gruta de Ubajara é formada pela dissolução do calcário da Formação Serra Grande (figura 3 e 4).



Figuras 3 e 4 – Gruta de Ubajara, Ubajara – Ceará.

Fonte: [www.portalubajara.com.br/fotos\\_ubajara\\_tiangua.html](http://www.portalubajara.com.br/fotos_ubajara_tiangua.html)

## Processo Externo – Intemperismo Biológico

É a atividade das bactérias que vivem no solo. Inicia-se com as bactérias e os fungos, seguem-se pelos líquens e musgos preparando o solo para a sucessão secundária da vegetação (figura 5). Esses micro-organismos precipitam soluções distintas no solo que, quando infiltram, atacam a parte superior das rochas (LEINZ & AMARAL, 2003).

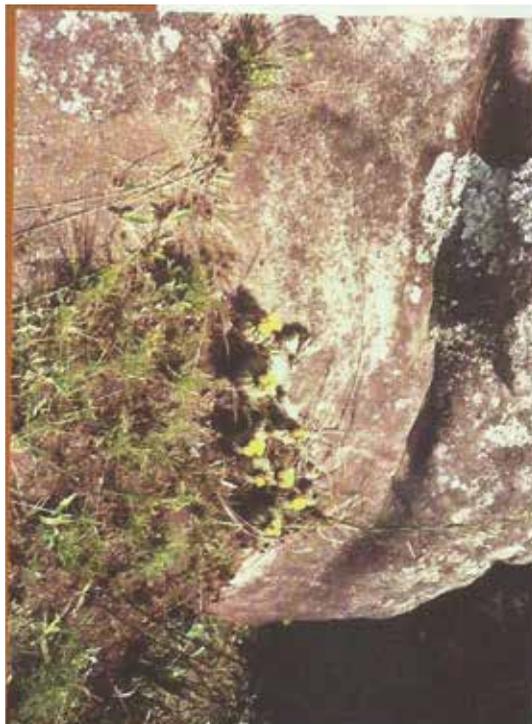


Figura 5 – Ação biológica sobre uma rocha.

Fonte: Frederico O. R. Pinto apud Lepsch (2002).

## Ação da Gravidade - Movimentos de Massa

Corresponde a todos os movimentos gravitacionais que promovem a mobilização de partículas ou de detritos pela encosta abaixo (Christofolleti, 1980) (figuras 6,7,8, 9,10, 11e 12). A fonte de energia que move os processos é a gravidade, embora outros agentes geológicos, como a água e o gelo, acelerem a mobilidade do regolito. São eles:

- a. Rastejamento: movimento lento de deslocamento dos horizontes superficiais do solo. Muitas vezes, só é percebido pela inclinação de outros objetos, como árvores, postes, cercas etc.
- b. Solifluxão: “movimentos coletivos de saturação de água do regolito, podendo se deslocar alguns centímetros ou decímetros por hora ou por dia”. Ocorre quando uma camada impermeável de regolito impede a penetração de água, concentrando e saturando logo a camada mais superior ao atingir a quantidade limite de saturação de água, comportando-se como líquido.
- c. Fluxo de Lama: são equivalentes à solifluxão, mas diferem-se pela maior velocidade e atingem maior abrangência de área.

- d. Deslizamentos: são deslocamentos de massa de regolito encharcado por água sobre qualquer embasamento.
- e. Desmoronamentos: deslocamento rápido de um bloco de terra ou de rocha. Quando o solapamento cria uma vazio na parte inferior de uma encosta.



Figura 6 – Escorregamento rotacional.

Fonte: Reed e Monroe (2011).



Figura 7 – Queda de blocos.

Fonte: Reed e Monroe (2011).



Figura 8 – Deslizamentos.

Fonte: Reed e Monroe (2011).

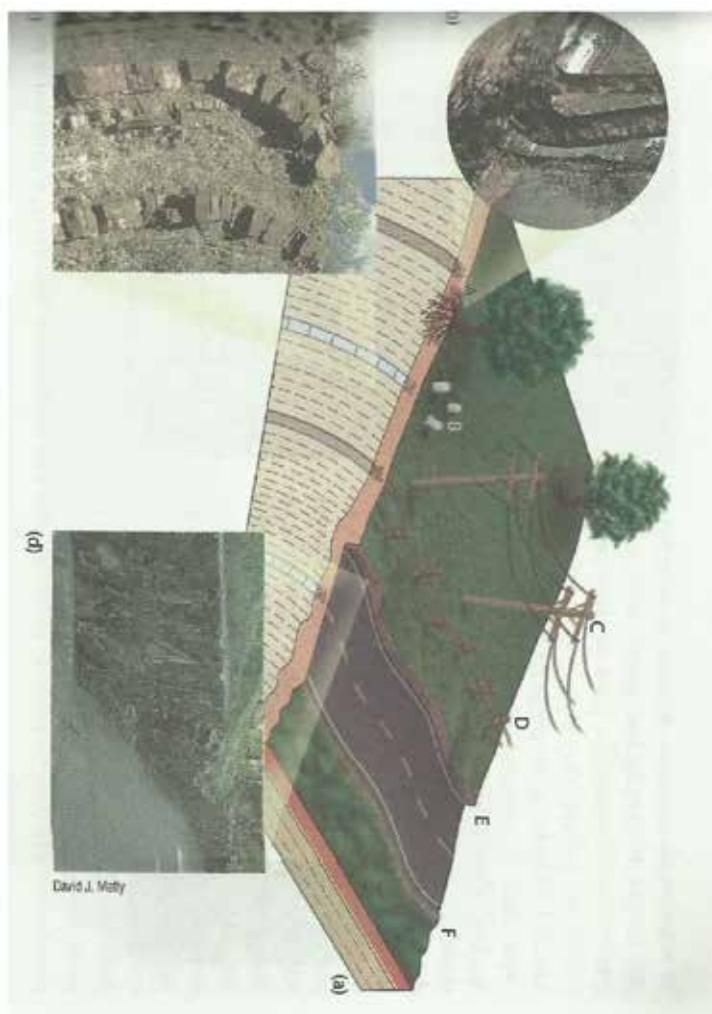


Figura 9 – Rastejamento.

Fonte: Reed e Monroe (2011).

*Regolito* é o material intemperizado e inconsolidado sobre a rocha-matriz, produzido in loco ou transportado, que não foi fixado pela vegetação.

## Para Fixar

Processos externos são todos os tipos de intemperismo, acionados pelos agentes geológicos, como as águas, o gelo, os mares e oceanos, os ventos e o movimentos de massa. Os processos externos modelam o relevo terrestre e são fortemente controlados pelo clima.

## Leituras, filmes e sites



<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1313&sid=129>

<http://meioambiente.culturamix.com/natureza/intemperismo-processo-fisico-e-quimico>

<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09.html>

<http://www.fcencias.com/2012/10/03/qual-importancia-da-agua-num-movimento-em-massa-atividade-laboratorial-de-biologia-geologia/>

## Atividades de avaliação



1. O que são processos externos da dinâmica da Terra?
2. O que é intemperismo?
3. Que são movimentos de massa?
4. Há ocorrência de movimentos de massa no Ceará?

## Referências



- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- LEINZ Viktor & AMARAL, Sérgio Estanilau do. **Geologia Geral**. 14ª edição revisada. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.
- LEPSCH, I. **Formação e conservação de Solos**. São Paulo: oficina de textos, 2002.
- MILLER JR., G.T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- PETERS, E. Kirsten (colaboração). São Paulo: Cenage Learnig, 2011.
- POPP, José Henrique. **Geologia Geral**. 5ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1998. Reimpressão em 2007.
- REED, Wicander; MONROE, James S. **Fundamentos de Geologia**.



**Capítulo**

**9**

# **Geología Ambiental**



## Objetivos

- Entender a definição de Geologia Ambiental;
- Qual a aplicação da Geologia Ambiental nos estudos ambientais.

### 1. Bases Introdutórias

Desde que o homem aprendeu a se aproveitar das rochas e minerais, iniciou-se, no sentido lato, o estudo da Geologia. São interessantes as ideias de alguns gregos, como Tales de Mileto (636-548 a.C.), Aristóteles (384-322 a.C.), Heráclito (576-480 a.C.), Heródoto (484-425 a.C.), Pitágoras (sec. IV a.C.), entre outros. As ideias levantadas por esses autores estão, muitas vezes, em pleno acordo com os conceitos atuais.

As ciências geológicas certamente originaram-se das civilizações mais antigas, que sofriam efeitos dos terremotos, observavam as atividades dos vulcões, contemplavam o trabalho incessante das ondas e dos mananciais de água e, sem dúvida, sentiam-se curiosos pela explicação de tudo aquilo que viam (LEINZ, 1989).

No Brasil, as ciências geológicas iniciaram-se em fins do século XVIII, com um trabalho de José Vieira Couto, no qual, entre diversos problemas econômicos, é tratado o da mineração, já em fase de decadência.

Para Leinz (1989), a Geologia como ciência procura decifrar a história geral da terra, desde o momento em que se formaram as rochas até o presente. Um conjunto de fenômenos físicos, químicos e biológicos compõem seu complexo histórico.

Desta forma, essa ciência divide-se em vários ramos, sendo um deles a Geologia Ambiental, que consiste no estudo dos problemas geológicos decorrentes da relação que existe entre o homem e a superfície terrestre, assunto cuja importância cresce a cada dia, pois a interferência do homem sobre o meio ambiente se torna mais intensa.

Na década de 1970, Flawn (1970) considerava que a Geologia Ambiental era o ramo da Ecologia que tratava das relações entre a sociedade e o seu habitat geoecológico. Ela se ocupa dos problemas do homem com o uso da terra e com a reação da terra a esse uso. Assim, a inter-relação entre o homem e o ambiente geológico é considerada em escala local e global, sendo



Nos livros-textos mais antigos, era dada muita ênfase aos processos geológicos, centrando as discussões na sua caracterização. Atualmente, os referidos processos ainda têm grande importância nos livros, porém vêm ganhando bastante espaço as discussões sobre as consequências econômicas e sociais da interação inadequada do ser humano com o meio físico.

## 2. Conceitos Básicos

Para aplicar a Geologia ao meio ambiente, deve-se incluir estudos sobre:

- os acidentes naturais, também chamados de riscos ou acidentes geológicos, compreendendo inundações, escorregamentos, terremotos e atividades vulcânicas, visando reduzir danos;
- o relevo, visando planejar o uso e a ocupação do solo;
- os solos e as rochas, visando seu uso para a disposição de resíduos e de efeitos sobre a saúde humana;
- as águas de superfície e subterrânea, visando seu aproveitamento, bem como objetivando e solucionar problemas de contaminação;
- os processos geológicos, tais como a erosão, a deposição de sedimentos e a movimentação das águas de superfície e subterrânea.

Em Geologia Ambiental, alguns aspectos devem ser considerados, como:

- crescimento populacional, pois este é a principal razão da degradação ambiental, uma vez que, à medida que a população aumenta, crescem a demanda por recursos naturais e a ocupação humana da superfície terrestre;
- desenvolvimento sustentável, que significa obter crescimento econômico necessário, garantindo a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social para o presente e para as gerações futuras. Portanto, para que ocorra o desenvolvimento sustentável, é necessário que haja uma harmonização entre o desenvolvimento econômico, a preservação do meio ambiente, a justiça social (acesso a serviços públicos de qualidade), a qualidade de vida e o uso racional dos recursos da natureza (principalmente, a água);
- os sistemas terrestres, sendo o planeta terrestre constituído por quatro sistemas fundamentais, a biosfera, a atmosfera, a hidrosfera e a litosfera, eles têm que apresentar um perfeito equilíbrio. A alteração em qualquer parte desse sistema leva a um desequilíbrio ambiental; assim, o homem, ao realizar uma modificação ambiental, deve considerar o impacto que será causado em todo o sistema.

- acidentes geológicos, principalmente os de ordem urbana, são o resultado da deflagração e da evolução de processos de alteração do meio físico, induzidos, potencializados ou acelerados pelo uso e pela ocupação do solo. Eles que trazem como consequências, prejuízos sociais, econômicos ou ambientais e, até mesmo, a perda de vidas humanas.
- Geologia como ciência ambiental básica, além dos ramos geológicos citados acima, a Geologia Ambiental apresenta ligações com diversas áreas, tais como Biologia, Ecologia, Direito, Geografia, Engenharias, Economia, Sociologia, Medicina, entre outras.

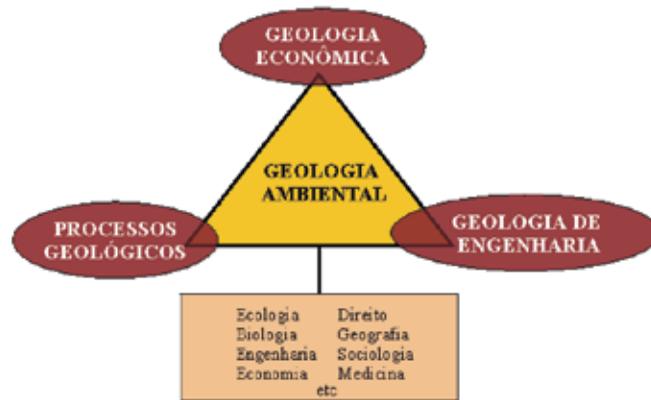


Figura 2 – Relações interdisciplinares da Geologia Ambiental

Fonte: modificada de Coates, 1981.

### 3. Riscos Geológicos

Os riscos geológicos são parte integrante de um conceito mais vasto, que corresponde à probabilidade de ocorrerem danos e perdas provocados por uma catástrofe num determinado local ou região devido à ação de um processo natural, acelerado ou não por processos antrópicos.

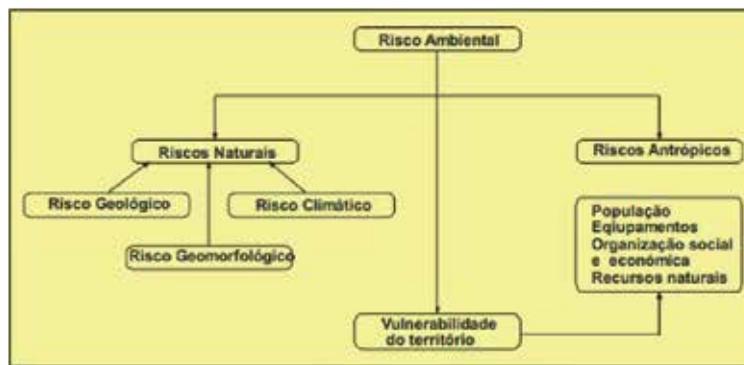


Figura 3 – Definição de risco geológico integrada à noção de risco ambiental.

Fonte: Modificado de Brum Ferreira (1993) e Simões (1997)

Pode ser definido como “situação de perigo, perda ou dano, ao Homem e às suas propriedades em razão da possibilidade de ocorrência de processos geológicos, induzidos ou não” (Cerri, 1993).

Os riscos geológicos são associados aos processos geológicos, que podem estar relacionados predominantemente à geodinâmica interna ou externa.

### 3.1 Avaliação de Risco

É a metodologia que permite identificar uma ameaça, caracterizar e estimar sua importância, com a finalidade de definir alternativas de gestão do processo. Assim, ela compreende as seguintes etapas:

1. Identificação da ameaça;
2. Caracterização do risco;
3. Avaliação da exposição;
4. Estimativa de custo;
5. Definição de alternativas de gestão.

A análise de risco ou a avaliação de risco tem a finalidade de quantificar a possibilidade de ocorrência de um evento natural perigoso e as consequências socioeconômicas adversas que esse evento pode trazer como consequência..

O risco geológico, de uma forma geral, está associado a eventos relacionados a processos geológicos relacionados à geodinâmica externa, como:

- erosão;
- inundações;
- deslizamentos;
- avalanches;
- assoreamentos.

E à Geodinâmica interna, tais como:

- sismos;
- erupções vulcânicas.

Entende-se, por risco, áreas com condição potencial de ocorrência de um acidente. “Os fenômenos naturais não são riscos, risco (geológico ou de outra natureza) é o perigo potencial para a vida do homem e para suas propriedades”.

Sua ocorrência está intimamente relacionada à ocupação indevida de áreas consideradas de risco, pela falta de prévio planejamento ou pelo desconhecimento total das características geológicas dos terrenos.

### 3.2 Prevenção de Acidentes Geológicos

A ocupação urbana, na maioria das cidades do Brasil, tem ocorrido desordenadamente e sem o mínimo conhecimento sobre as características do meio físico, colocando a população frequentemente em situações de risco que podem evoluir até a deflagração de acidentes geológicos propriamente ditos. Essa situação não se restringe apenas aos grandes núcleos urbanos, mas também afeta as comunidades urbanas de menor porte e mesmo as áreas rurais (MINEROPAR, 2010).

A prevenção de acidentes geológicos urbanos é possível a partir da identificação e da análise das áreas de risco, que, por sua vez, são enfocadas em trabalhos prévios de análise do meio físico, comumente denominados mapeamentos geotécnicos.

Neste contexto, é de fundamental importância a caracterização das áreas de riscos geológicos e a proposição de medidas de prevenção dos acidentes correlatos, com a indicação dos locais ameaçados, sua quantificação e suas prioridades, expressos em cartas de zoneamento de riscos geológicos.

#### Leituras, filmes e sites



Núcleo de EAD da Universidade Estadual Paulista UNESP: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/introducao/introd02.html>

Serviço Geológico do Brasil – Geologia Ambiental

[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_ambiental-06.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_ambiental-06.pdf)

Encontro nacional de geodiversidade, geoconservação e geoturismo:

[http://www.abrampa.org.br/eventos\\_anteriores/encontro\\_nacional/pos\\_evento/geodiversidade\\_geoconservacao\\_geoturismo.pdf](http://www.abrampa.org.br/eventos_anteriores/encontro_nacional/pos_evento/geodiversidade_geoconservacao_geoturismo.pdf)

## Atividades de avaliação



1. Quais são os objetivos principais da Geologia Ambiental?
2. O que você entende por meio ambiente? Qual é a área de atuação da Geologia Ambiental nos estudos que envolvem o meio ambiente?
3. Qual o conceito de risco geológico? Quais as etapas para identificá-lo?

## Referências



- BATES, R.L. & JACKSON, J.A.(Eds). **Glossary of Geology**. 3<sup>a</sup> ed. Alexandria: American Geological Institute, 1987. 788p
- COATES, D.R. **Environmental geology**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 701p.
- FLAWN, P.T. **Environmental geology**: conservation, land use, planning and resource management. New York: Harper & Row Pub., 1970. 313p.
- GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1975. 439p.
- KELLER, E.A. **Environmental geology**. 3<sup>a</sup> ed. Columbus: Charles E. Merrill Pub. Company, 1982. 526p
- LEINZ, V. & AMARAL, S.E. **Geologia Geral**. 11<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Nacional, 1989. 399p.
- MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná. **Acidentes Geológicos Urbanos**. 1<sup>a</sup> Ed. Curitiba, 2010, 78 p.
- MONTGOMERY, C.W. **Environmental geology**. 3<sup>a</sup> ed. Dubuque: WM. C. Brown Publishers, 1992. 465p.



**Capítulo**

**10**

# **Províncias Estruturais**



## Objetivos

- Entender o que é província estrutural;
- Identificar as províncias que ocupam o território brasileiro.

## Introdução

Os aspectos geológicos do território brasileiro não são uniformes. Alteram-se os minerais e as rochas tanto de acordo com a época de deposição, como de acordo com os eventos que fizeram flutuar as placas tectônicas. Isso acarretou alterações na geologia do território brasileiro.

Essas alterações são possíveis de serem identificadas por meio de datação das rochas, pela fotogeologia, pela interpretação de imagens de radar, pelos trabalhos de campo, enfim, por inúmeros métodos. Em larga escala, um conjunto homogêneo de alteração pode ser mapeado separadamente e é chamado de província geológica ou de província estrutural.

## Antecedentes

Para que seja possível entender a formação das províncias estruturais que ocupam o território brasileiro, é necessário que sejam explicados conceitos fundamentais. Esses conceitos, bem como suas ilustrações, vão subsidiar o leitor, para que compreenda o modelado das rochas sobre o território. Os conceitos importantes são o de escudo, plataforma, *cráton*, *greenstone belts*, terrenos granito-gnaiss, faixas móveis e de plataforma brasileira (adaptado de PIRES, 2003).

As rochas do pré-cambriano podem estar expostas ou não na natureza. Quando essas rochas estão expostas, são chamadas de **escudos**. O escudo, e o que está para fora dele (cobertura sedimentar fanerozoica), é denominado **plataforma**. Um escudo, com sua plataforma, forma um **Cráton** ou parte de um Cráton, desde que seja formado por vários escudos e várias plataformas (REED, 2011) (fig 11.1).



Figura 11.1 – Plataforma sul-americana. Pires (2003) adaptado de Almeida (1977).

Os **greenstone belts**, ou cinturão de rochas verdes, são complexos metamórficos, constituídos por gnaisses e granitoides, além de sequência metavulcanossedimentar subordinada. Possuem três grupos de rochas: um inferior e um médio, composto de rochas vulcânicas, e um superior, composto por rochas sedimentares. A cor verde deriva do metamorfismo e da clorita (REED & MONRE, 2011).

Os **terrenos granito-gnaiss** estão por volta dos *greenstone belts*, e são gnaisses formados com a alternância de bandas de quartzo-feldspáticas e hornblenda-biotíticas com material mesoscópico (PIRES, 2003). As **faixas móveis** são zonas ativas tectonicamente que se localizam no envoltório dos crátons. Finalizando, a **plataforma brasileira** (fig 11.1) é um conjunto de escudos e é derivada do ciclo Brasileiro (PIRES, 2003).

Você sabia? O pré-cambriano, no Brasil, é dividido em ciclos, cada um com sua idade e seus eventos associados, como glaciação, rift's, ativação de falhas, dobramentos etc. O ciclo mais antigo é o Pré-Jequié, que aconteceu por volta de 3,3 bilhões de anos, e o ciclo mais novo é o Brasileiro, que aconteceu por volta de 500 milhões de anos.

## As Províncias Brasileiras

Na lição de Pires (2003), fortemente baseado em Almeida (1977), a plataforma brasileira tem seus limites geológicos estabelecidos a oeste, com a Cadeia Andina, e ao sul, com a Plataforma da Patagônia (fig 11.1). Ela é composta por três grandes escudos que se subdividem em sete províncias estruturais (fig 11.2).



Figura 11.2 – Plataforma sul-americana, Pires (2003) adaptado de Almeida (1977).

As províncias estruturais brasileiras são: Escudo da Guiana-Meridional, Xingu ou Tapajós, Tocantins (Paraguai-Araguaia), São Francisco, Borborema, Mantiqueira e as Bacias Fanerozoicas. A caracterização a seguir está baseada em Pires (2003). Optou-se em não evidenciar todas as especificações geológicas de cada província, para que o leitor, caso sinta dificuldade, faça a leitura complementar.

1. Escudo da Guiana-Meridional: É toda a extensão norte do Cráton Amazônico. É composto pelas subprovíncias Urariqueira, Iricoumé e Oiapoque, separadas por faixas móveis e por um *greenstone belt*.
2. Xingu ou Tapajós: É composta pelas subprovíncias Carajás, Xingu e Madeira. É o antigo Cráton do Guaporé ou Escudo do Brasil Central, separado por faixas móveis e por *greenstone Belts*.

3. Tocantins (Paraguai-Araguaia): É a região central do Brasil. É composta pela faixa móvel Paraguai-Araguaia. Essa faixa é recoberta por sedimentos recentes, e surge a região do Pantanal.
4. São Francisco: O Cráton ao qual essa província pertence possui seus limites praticamente coincidentes. O Cráton se fragmenta em três blocos: Guanambi, Remanso e Serrinha.
5. Borborema: Os principais elementos dessa província correspondem a vários complexos granito-gnáissico-migmatitos, intercalados com dobramentos marginais.
6. Mantiqueira: Localiza-se a leste dos Crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná. A província é a prova da atuação do ciclo Brasileiro.
7. Bacias Fanerozoicas: São as bacias sedimentares resultantes da estabilização tectônica da plataforma brasileira. Apesar de serem bacias extensas, possuem fina camada de sedimentos inferior a 5.500m. As bacias mais representativas na escala trabalhada são a Amazônica, a do Parnaíba e a do Paraná.

### Para Fixar

A plataforma brasileira é parte da plataforma sul-americana, composta pelos Escudos das Guianas e do Brasil Central. Dentro desses escudos, existem vários crátons que originaram as sete províncias. Dentro das províncias, existem *greenstone belts*, terrenos granito-gnaisses e faixas móveis.

### Leituras, filmes e sites



Serviço Geológico do Brasil: [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

### Referências



PIRES, Fernando Roberto Mendes. Arcabouço Geológico. IN: **Geomorfologia do Brasil**. CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, Antônio José Texeira (org). 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 393p ilustr.

REED, Wicander; MONRE, James S. **Fundamentos de Geologia**. PETERS, E. Kirsten (colaboração). São Paulo: Cenage Learnig, 2011.

**Capítulo**

**11**

**Leitura e Interpretação  
de Mapas**



## Objetivos

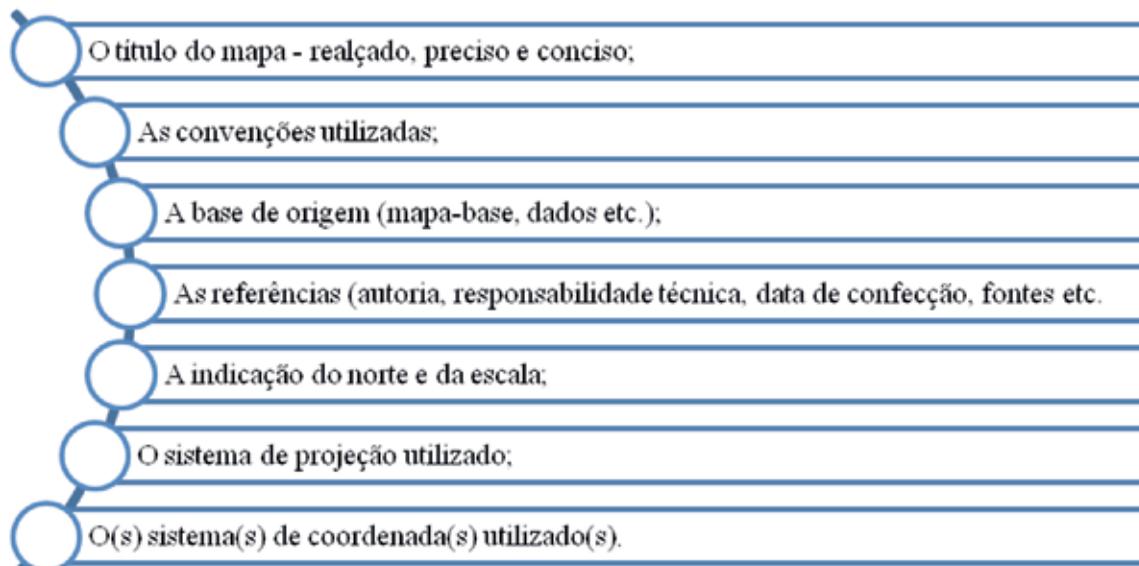
- Entender os tipos gerais de mapas geológicos;
- Identificar os métodos de representação dos mapas geológicos.

### 1. A importância dos mapas temáticos

Entende-se que os mapas são representações de determinadas porções da superfície terrestre. Eles constituem importantes instrumentos para o entendimento das dinâmicas geoespaciais.

A utilização do geoprocessamento constitui-se como uma ferramenta que propicia a confecção de mapas. Nessa perspectiva, torna-se importante ressaltar que a produção de mapas é regida por lei, cuja fiscalização, no Brasil, é realizada pelos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREAs), e a responsabilidade técnica remete aos profissionais qualificados para tal ação (FITZ, 2008).

Nesse entendimento, um dos tipos de mapas mais produzidos para fins científicos, políticos-administrativos e socioeconômicos, entre outros, são os mapas temáticos, os quais buscam fornecer uma representação dos fenômenos que ocorrem sobre a superfície terrestre, fazendo uso de uma simbologia específica (FITZ, 2008). A produção de mapas temáticos tem início com a delimitação de parte da realidade a ser problematizada pelo pesquisador interessado na realização da reprodução, com a finalidade de estabelecer diretrizes que norteiem a busca de respostas às questões. Assim, define-se o tema a ser contextualizado (MARTINELLI, 2003).



Esquema 01 – Elementos constituintes de um mapa temático.

Fonte: Adaptado de FITZ (2008).

O mapa temático evidencia uma temática, que deverá ser exposta no título, que servirá para expressar do que se trata, onde se dá o acontecimento e em que data, expondo, assim, o “O quê?”, o “Onde?” e o “Quando?”. Nesse entendimento, um mapa temático, como qualquer outro mapa, deve possuir alguns elementos de fundamental importância para o fácil entendimento, sendo destacado:

Compreende-se que os mapas temáticos podem ser produzidos a partir de vários métodos, não só sendo observadas as características e as formas dos fenômenos em um tema específico, seja em uma abordagem qualitativa, ordenada ou quantitativa, como também no aspecto estático ou dinâmico do fenômeno representado. Dessa forma, Martinelli (2003) esclarece que esses métodos podem ser agrupados em três grupos:

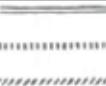
Variáveis visuais	NO	Modo de implantação (MI): A representação da diversidade de ocorrências com manifestação...		
		Pontual	Linear	Zonal
Forma	≠			
Orientação	≠			
Granulação	≠			
Cor	≠			<p>Os elementos podem assumir várias cores: vermelho, azul, verde, amarelo etc.</p>  <p>  </p>

Figura 01 – Representação Qualitativa ( ) / NO (nível de organização).

Fonte: Castro, *et al.* (2004).

I. Métodos para representações qualitativas – empregadas para evidenciar a presença, a localização e a extensão das ocorrências que se diferenciam pela sua natureza. Os fenômenos podem se manifestar em pontos, linhas ou áreas.

Variáveis visuais	NO	Modo de Implantação (MI): A representação da diversidade de ocorrências com manifestação...		
		Pontual	Linear	Zonal
Valor	0	  	    	         
Cor				 (Do verde claro ao verde escuro)  (Do rosa claro ao escuro aproximadamente)

Figura 02 – Representação Ordenada (O) / NO (nível de organização).

Fonte: Castro, *et al.* (2004).

II. *Métodos para representações ordenadas* – são indicadas quando os fenômenos admitem uma classificação segundo uma determinada ordem. Os fenômenos podem se manifestar em pontos, linhas ou áreas.

III. *Métodos para representações quantitativas* – são demonstradas para evidenciar a relação de proporcionalidade entre objetos (X é cinco vezes maior do que Y). A única variável visual utilizada que vislumbra corretamente essa noção é o tamanho.

Nota-se que, com o intuito de representar o “tema”, o aspecto qualitativo ( ) responde a questão “o quê?”, caracterizando relações da diversidade entre lugares; o aspecto ordenado (O) responde a questão “em que ordem?”, vislumbrando questões de ordem entre os lugares; e o aspecto quantitativo (Q) responde a questão “quanto?”, caracterizando as relações de proporcionalidade entre os lugares.

Conforme Archela e Théry (2008), para representar os diversos temas, é preciso recorrer a uma simbologia particular que, aplicada aos estilos de implantação - pontual, linear ou zonal, majoram a eficácia no provimento da informação. As regras dessa simbologia pertencem ao domínio da semiologia gráfica, que foi desenvolvida por Bertin (1967) e que está, ao mesmo tempo, ligada às diversas teorias das formas e de sua representação e às teorias

da informação. Quando inserida na cartografia, ela permite ponderar as vantagens e os limites da percepção empregada na simbologia cartográfica e, portanto, formular as regras de uma utilização racional da linguagem cartográfica, reconhecida atualmente como a gramática da linguagem gráfica, cuja unidade linguística é o signo.

Implantation	Pontual	Linear	Zonal
Forma ≡			
Tamanho Q			
Orientação ≠			
Cor ≠	Uso das cores puras do espectro ou de suas combinações. Combinação das três cores primárias cian, amarelo, magenta (tricomia).		
Valor O			
Granulação ≠			

Valor da percepção

≡ associativa ≠ seletiva O ordenada Q quantitativa

Figura 03 – Implantação linear, pontual e zonal.

Fonte: <http://confins.revues.org/docannexe/image/3483/img-1.jpg>

O signo (símbolo) é composto pela relação entre o significante (ouvir falar de algo, como, *papel*), o objeto referente (esse *papel*) e o significado (ideia de *papel* formada na mente do interlocutor ao ouvir falar *papel*, um *papel* qualquer). No entanto, o signo é constituído por significante (mensagem acústica: *papel*) e significado (conceito, ideia de *papel*). Por exemplo, num mapa do uso das terras, o signo constituído pelo significante “cor laranja” tem o significado de cultura permanente. Assim, os signos são estabelecidos, essencialmente, com a alteração visual de forma, tamanho, orientação, cor, valor e granulação, para conceber fenômenos qualitativos,

ordenados ou quantitativos nos modos de implantação pontual, linear ou zonal (ARCHELA & THÉRY, 2008).

Referindo-se ao conteúdo, os mapas podem ser qualificados em analíticos ou de síntese. O mapa analítico exhibe a distribuição de um ou de mais informações de um fenômeno, empregando dados elementares ou primários, com as modificações necessárias para a sua visualização. São exemplos desses tipos de mapas: os mapas de distribuição da população, das cidades, dos supermercados, das redes hidrográficas e das rodovias, entre outros. Já o mapa de síntese é mais complexo e demanda profundo conhecimento técnico dos assuntos a serem mapeados. Representam o mapeamento da integração de fenômenos, feições, fatos ou acontecimentos que se interligam na distribuição espacial. Esses mapas permitem que se estabeleçam estudos conclusivos sobre a integração e interligação dos fenômenos. Entre os exemplos de mapas de síntese, encontram-se os mapas de uso do solo (ARCHELA & THÉRY, 2008).

Nesse contexto, vislumbram-se os mapas geológicos que evidenciam os tipos de rochas e as composições que ocorrem em uma determinada região. Cada rocha ou grupo de rochas que se queira destacar, como aquelas de mesma composição química, são concebidas por uma cor distinta. As estruturas são delineadas no mapa como linhas ou traços. Em geral, indicam processos geológicos, como falhas, dobras, fraturas etc. O mapa geológico também expõe conhecimentos sobre a idade das rochas, por meio da sua legenda que, de cima para baixo, indica as rochas mais jovens até as mais antigas da área mapeada.

Um mapa, com suas referentes legendas e seções, deve ser concebido com o uso adequado da simbologia ou das cores, que têm, por desígnio maior, separar as diversas litologias, formações, entre outras, da área mapeada. Na elaboração de cartas geológicas coloridas, é importante integrar a cada uma das unidades individualizadas uma determinada cor que melhor os represente. Por exemplo, o vermelho para granitos, o amarelo para arenitos e o azul para os mármores. Associado a cada uma das cores é necessário acrescentar um conjunto de letras indicando o período, a litologia e a unidade estratigráfica (NADALIN, 2014).

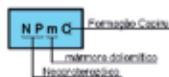


Figura 04 – Exemplo de representação de uma rocha metamórfica (mármore) em um mapa geológico em que as letras indicam o período, a litologia e a unidade estratigráfica (formação, grupo), não necessariamente nessa ordem.

Fonte: <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao2/gradtectos.php>



(a)



(b)

Figura 05 – Formas de apresentação de um mapa geológico - (a) com o uso da simbologia e (b) com o uso de cores.

Fonte: <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao2/gradtectos.php>

Deve-se priorizar a utilização das simbologias e das convenções previamente definidas (Manual Técnico de Geologia do Departamento Nacional da Produção Mineral e Manual Técnico de Geologia do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE) e de uso comum entre os institutos de pesquisas, empresas, entre outros. Na medida em que apareçam informações não convencionais, será necessário criar novos símbolos que as representem adequadamente.

A legenda se apresenta como um cartão de visitas, e sua correta elaboração é imprescindível, valorizando a apresentação do trabalho. Além, claro, de dados, como a escala, o norte verdadeiro e o norte magnético e as coordenadas geográficas (NADALIN, 2014).

Vale ressaltar que um mapa geológico não se caracteriza apenas como um produto científico sem qualquer aplicação no nosso dia a dia, ele possibilita o entendimento de questões relacionadas, por exemplo, as matérias-primas,

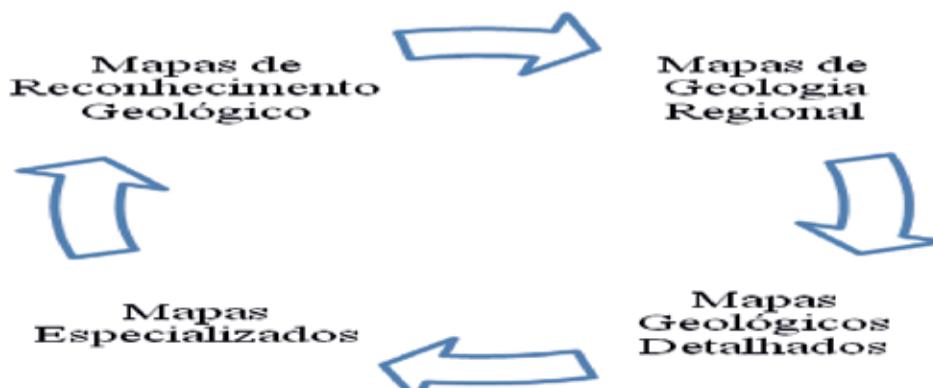
necessárias para a nossa sobrevivência e o conforto humano, como materiais de construção, metais, plásticos, combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão), fertilizantes, muitos produtos químicos para a indústria farmacêutica, louças, tintas, vernizes etc., são obtidas através dos minerais e das rochas produzidos durante a evolução geológica de uma área. A água, por exemplo, possui suas maiores reservas no subsolo. Um mapa geológico também permite o entendimento da predisposição natural dos terrenos a riscos de acidentes geológicos, como é o caso dos deslizamentos de terras. Portanto, tais mapas podem ser aproveitados como embasamento para políticas de planejamento, para o ordenamento do uso e da ocupação do solo, indicando a fragilidade natural dos terrenos, para implantação de construções, disposição de resíduos perigosos e lixo doméstico, entre outras questões.

Importante ressaltar que as cores são, comumente, utilizadas para representar fenômenos de intensidade variável. São convenções internacionais seguidas por todos os países. As seguintes cores são as utilizadas em mapas, segundo Decicino (2014):

- a. *Marrom* – utilizado em mapas de relevo, para designar altimetria. Abrange tudo o que está relacionado com diferenças de altitude: montanhas, ravinas, depressões etc.;
- b. *Branco* – concebe uma floresta limpa (árvores, mas sem vegetação rasteira);
- c. *Amarelo* – representa áreas abertas (campos abertos, clareiras etc.);
- d. *Verde* – concebe áreas ou objetos relacionados com vegetação (também usado em mapas de relevo, para representar altimetria);
- e. *Azul* – para representar águas tanto na superfície terrestre quanto nos mares ou oceanos – a tonalidade pode variar de acordo com a profundidade;
- f. *Preto* – usado em nomenclatura (por exemplo, nomes de cidades, de portos etc.). É a cor mais empregada e representa variados objetos e características do terreno, comumente artificiais ou rochosos, tais como estradas, caminhos, linhas de alta-tensão, edifícios, rochas e precipícios etc.

### 3. Tipos Gerais de Mapas Geológicos

Entre os mapas temáticos existentes, destacam-se os mapas geológicos. Mapas geológicos são classificados, conforme Barnes (1994), em quatro grupos principais:



Esquema 02 – Tipos de mapas geológicos.

Fonte: BARNES (1995).

### 3.1. Mapas de Reconhecimento Geológico

Um mapa de reconhecimento é feito para descobrir o máximo possível sobre a geologia de uma área desconhecida, o mais rapidamente possível. Geralmente, é feito com a adoção de uma escala de 1:250.000 ou menos, às vezes, muito menos. Alguns mapas de reconhecimento são feitos por fotogeologia, ou seja, por meio da interpretação de geologia por fotografias aéreas com apenas uma quantidade mínima de trabalho feito no terreno, para identificar os tipos de rochas.

O mapeamento de reconhecimento pode ser feito até mesmo ocasionalmente, traçando as principais características geológicas em um mapa-base com o apoio de uma aeronave leve ou de um helicóptero com, mais uma vez, apenas as visitas breves confirmatórias na área observada. Métodos no ar são particularmente úteis em regiões onde as estações de campo são curtas, como no norte do Canadá e do Alasca (BARNES, 1995).

### 3.2. Mapas de Geologia Regional

O reconhecimento proporciona o esboço da distribuição da rocha e de sua estrutura geral. Nessa etapa, a geologia deve ser estudada com mais detalhes, mais comumente em uma escala de 1:25.000 ou 1:50.000. Mapas regionais devem ser plotados em uma base confiável. Infelizmente, em alguns países, o mapeamento geológico supera a cobertura topográfica, e o geólogo deve realizar um levantamento da topografia. Um mapa geológico preciso perde muito da sua qualidade se sobreposto a uma base topográfica inadequada (BARNES, *op cit.*).

Um mapeamento geológico regional feito no terreno pode ser suportado por fotogeologia sistemática. É válido enfatizar que a informação fotogeológica não é inferior à obtida no chão, embora possam ser diferentes. Algumas características geológicas vistas em fotografias aéreas não podem sequer ser detectadas no chão, enquanto outras podem ser mais convenientemente observadas em fotografias do que em exposições de superfície. O mapeamento geológico regional deve incorporar todas as técnicas que podem ajudar no planejamento geológico e que o orçamento permitir, incluindo geofísica, corrosão, perfuração por broca, entre outros.

### 3.3. Mapas Geológicos Detalhados

Escalas para mapas geológicos mais detalhados podem ser qualquer coisa de 1: 10.000 para cima. Tais mapas são feitos para investigar problemas específicos que surgiram durante o mapeamento em escala menor, ou a partir de descobertas feitas durante a exploração mineral, ou, talvez, para a investigação preliminar de um local para construção de uma barragem. Na Grã-Bretanha, 1: 10.000 agora é a escala usada para mapas regionais, pelo levantamento geológico, para cobrir todo o país. Poucos países correspondem a esses detalhes para a sua cobertura do mapa regional. A mesma escala é também a mais comumente usada por estudantes na Grã-Bretanha para os seus projetos de mapeamento (BARNES, *op cit.*).

### 3.4. Mapas Especializados

Mapas especializados são muitos e variados. Eles incluem mapas de grande escalas realizados em grande detalhe de pequenas áreas, para gravar características geológicas específicas. Muitos são feitos para fins econômicos, tais como planos de minas a céu aberto, em escalas de 1: 1.000 a 1: 2.500; planos geológicos subterrâneos, de 1:500 e ainda maior; e investigações no local de engenharia, em escalas semelhantes (BARNES, *op cit.*).

Existem muitos outros tipos de mapas com filiação geológica. Incluem mapas geofísicos e geoquímicos, foliação e mapas comuns, planos de amostragem com esboço de geologia, mapas de cobertura de desvio e mapas de subsuperfície. Muitos são preparados na forma de sobreposições transparentes para ser sobreposta a um mapa geológico normal, na mesma escala.

## Leituras, filmes e sites



Serviço Geológico do Brasil – Mapas geológicos:

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=608&sid=9>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – download de mapas:

<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geologia>

Análise da produção da informação de Geologia do Brasil:

[www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/geologia\\_do\\_brasil/P04\\_RT10\\_Informaxo\\_Geolxgica\\_do\\_Brasil.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/geologia_do_brasil/P04_RT10_Informaxo_Geolxgica_do_Brasil.pdf)

## Atividades de avaliação



### Exercício 01

Observe o modelo de apresentação de legenda estratigráfica ao lado. Note que, na coluna, pequenos retângulos são preenchidos com cores e com as referentes simbologias, evidenciando a unidade geológica diferenciada com uma breve descrição. Após analisar a legenda, responda as seguintes questões:

- Na elaboração de cartas geológicas coloridas, é importante associar a cada uma das unidades individualizadas, uma determinada cor que a melhor as represente, como também, a cada uma das cores, é necessário acrescentar um conjunto de letras.
  - Explique qual é o objetivo de diferenciar as cores em um mapa geológico.
  - Para que serve a utilização de letras dentro dos quadradinhos na figura ao lado?
  - Pesquise em sites ou em livros sobre o que são Unidades Estratigráficas.

### Exercício 02

#### CONVENÇÕES ESTRATIGRÁFICAS

##### CENOZOICO

Qha

Sedimentos aluvionares compostos por areia, silte, argila e cascalho, depositados em canais, barras e planícies de inundação.

##### TERCIÁRIO

T:

Paraconglomerados com matriz argilo-arenosa e matações, seixos e grânulos de quartzo, quartzito e filito.

##### NEOPROTEROZOICO

PSfpg, PSfxf, PSht

Complexo Granítico Três Cônegos: (PSfpg) Fácies porfírica grossa: monzogranito e sienogranito; (PSfxf) Fácies equigranular fina: sienogranito; (PSht) granada-epidoto-calcita-quartzo hornfels, biotita-quartzo hornfels.

##### MESOPROTEROZOICO

PMmx	PMmg	PMmc	PMf
PMq	PMx	PMxb	PMcx
PMq	PMmb	PMsc	

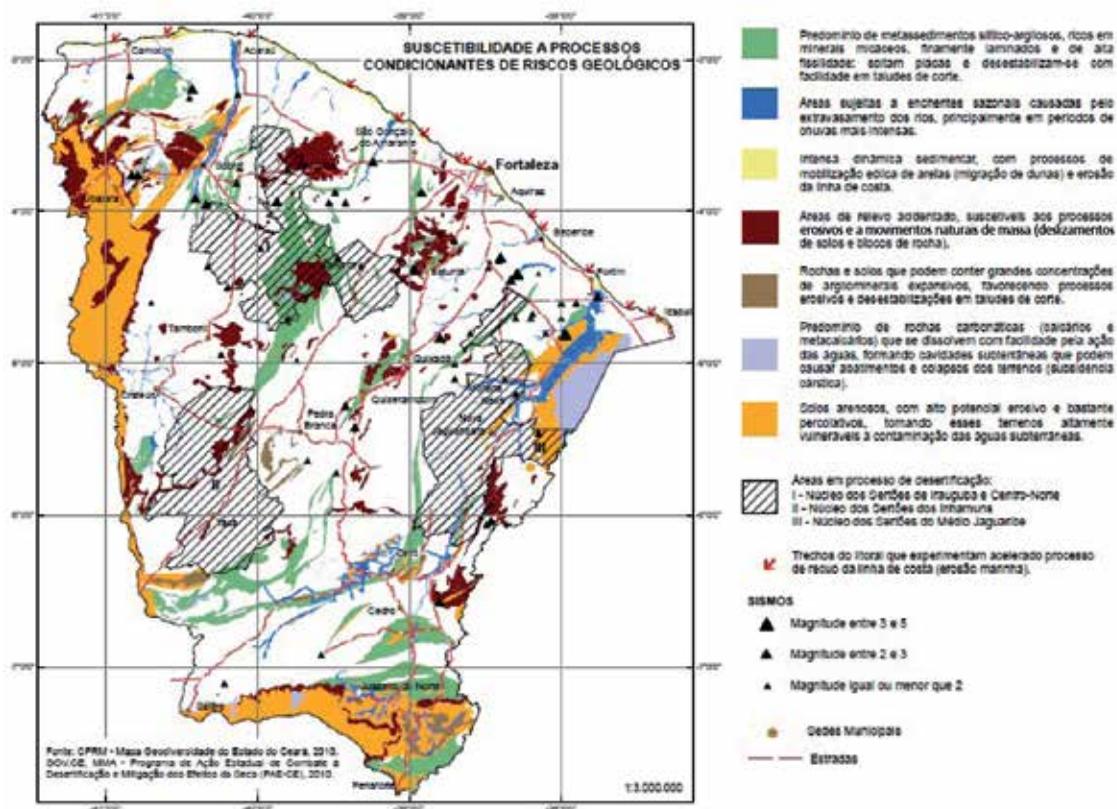
(PMmx) sequência de mármores calcílicos bandados e maciços intercalados com biotita-quartzo xisto, quartzo-biotita-muscovita xisto, granada-biotita-quartzo-muscovita xisto e mármores rodocrílicos; (PMmg) mármore magnesiano bandado; (PMc) mármore calcílico bandado; (PMf) quartzo-sericita filito, grafita-sericita filito; (PMq) quartzo-sericita filito com lentes de quartzo; (PMxb) quartzo-muscovita xisto com pórfiros de biotita e muscovita, meta-conglomerado quartzítico; (PMx) quartzo-biotita-muscovita xisto; (PMcx) carbonato-quartzo-muscovita xisto; (PMq) muscovita quartzito e quartzito; (PMmb) metabasito; (PMsc) sequência calcílicossilílica, granada-quartzo-epidoto-muscovita xisto.

Crie um mapa de “SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS CONDICIONANTES DE RISCOS GEOLÓGICOS”, no esboço do mapa do Ceará, logo abaixo, baseando-se no mapa padrão produzido pela CPRM (2010), destacando, nesse esboço, as seguintes informações: a) predomínio de metassedimentos sílico-argilosos; b) áreas sujeitas a enchentes sazonais e suas causas e consequências; c) intensa dinâmica sedimentar; d) áreas de relevo acidentado suscetíveis aos processos erosivos; e) rochas e solos com grandes concentrações de argilominerais expansivos; f) predomínio de rochas carbonáticas; g) solos arenosos; e h) áreas em processos de desertificação.

Para isso, use hachuras diferentes para cada tipo de elemento e construa uma legenda gráfica, organizada, com o nome de todos os elementos representados. Você pode elaborar esse material em uma folha de cartolina, em folha A3 ou A1, ou ainda, em programas de geoprocessamento.



Mapa de “SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS CONDICIONANTES DE RISCOS GEOLÓGICOS”, CPRM (2010):



## Referências



ARCHELA, Rosely.; THÉRY, Hervé. **Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos**. Revista Confins. nº3. 2008.

BARNES, John. **Basic Geological Mapping**. 3ª ed. 1995.

CASTRO, F. V. F et al.. **Cartografia Temática**. Belo Horizonte: UFMG, 2004.

DECININO, Ronaldo. **Legendas: convenções gráficas ajudam a compreender mapas**. 2014. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/legendas-convencoes-graficas-ajudam-a-compreender-os-mapas.htm>>. Acesso em 30/05/2014.

FITZ, P. R.. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

MARTINELLI, M.. **Cartografia Temática: caderno de mapas**. São Paulo: Udup, 2003

## Sobre os autores

**Marcus Vinícius Chagas da Silva:** Geógrafo pela Universidade Federal do Ceará e mestre em Geografia Física pela Universidade Estadual do Ceará. Atualmente, é professor da Universidade Federal do Ceará (UFC), lotado no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), e aluno regularmente matriculado no curso de doutorado em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará. Trabalha com análise ambiental e geoprocessamento.

**Andrea Bezerra Crispim:** Geógrafa pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Foi professora substituta dos cursos de graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará (UECE) no período de 2011 - 2013. Atualmente, é aluna regular do curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará. Tem experiência na área de Geografia Física, atuando nos seguintes temas: Fragilidade Ambiental e Políticas Públicas nas regiões semiáridas.



Geografia

Fiel a sua missão de interiorizar o ensino superior no estado Ceará, a UECE, como uma instituição que participa do Sistema Universidade Aberta do Brasil, vem ampliando a oferta de cursos de graduação e pós-graduação na modalidade de educação a distância, e gerando experiências e possibilidades inovadoras com uso das novas plataformas tecnológicas decorrentes da popularização da internet, funcionamento do cinturão digital e massificação dos computadores pessoais.

Comprometida com a formação de professores em todos os níveis e a qualificação dos servidores públicos para bem servir ao Estado, os cursos da UAB/UECE atendem aos padrões de qualidade estabelecidos pelos normativos legais do Governo Federal e se articulam com as demandas de desenvolvimento das regiões do Ceará.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

