



Fundação

**CECIERJ**

Consórcio **cederj**

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

## Geologia Aplicada à Geografia

Volume 1

Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz



**GOVERNO DO  
Rio de Janeiro**

**SECRETARIA DE CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E  
DESENVOLVIMENTO SOCIAL**

**UNIVERSIDADE  
ABERTA DO BRASIL**

**MINISTÉRIO DA  
EDUCAÇÃO**



Apoio:



**FAPERJ**

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo  
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

# Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

www.cederj.edu.br

Presidente  
Carlos Eduardo Bielschowsky

Vice-presidente  
Marilvia Dansa de Alencar

Coordenação do Curso de Geografia  
UERJ – Glaucio José Marafon

## Material Didático

### ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Antonio Soares da Silva

Alexssandra Juliane Vaz

### COORDENAÇÃO DE

### DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

### SUPERVISÃO DE

### DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

Flávia Busnardo

### DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

### E REVISÃO

Heitor Soares de Farias

Paulo César Alves

Ana Cristina Andrade

Marisa Duarte

## Departamento de Produção

### EDITOR

Fábio Rapello Alencar

### COORDENAÇÃO DE REVISÃO

Cristina Freixinho

### REVISÃO TIPOGRÁFICA

Beatriz Fontes

Carolina Godoi

Cristina Freixinho

Elaine Bayma

Thelenayce Ribeiro

### COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Bianca Giacomelli

Ronaldo d'Aguilar Silva

### DIRETOR DE ARTE

Alexandre d'Oliveira

### PROGRAMAÇÃO VISUAL

Ricardo Polato

### ILUSTRAÇÃO

Bianca Giacomelli

Fernando Romeiro

### CAPA

Fernando Romeiro

### PRODUÇÃO GRÁFICA

Verônica Paranhos

Copyright © 2013, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

S586g

Silva, Antonio Soares da.

Geologia Aplicada à Geografia. v.1. / Antonio Soares da Silva, Alexssandra Juliane Vaz. - Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013.

214 p.; 19 x 26,5cm.

ISBN: 978-85-7648-889-7

1. Geologia. 2. Geografia. I. Vaz, Alexssandra Juliane. II. Título.

CDD: 551

Referências Bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.  
Texto revisado segundo o novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

# Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador  
Luiz Fernando de Souza Pezão

Secretário de Estado de Ciência, Tecnologia, Inovação e Desenvolvimento Social  
Gabriell Carvalho Neves Franco dos Santos

## Universidades Consorciadas

CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA  
Diretor-geral: Carlos Henrique Figueiredo Alves

FAETEC - FUNDAÇÃO DE APOIO À ESCOLA  
TÉCNICA  
Presidente: Alexandre Sérgio Alves Vieira

IFF - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE  
Reitor: Jefferson Manhães de Azevedo

UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO  
NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO  
Reitor: Luis César Passoni

UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO  
RIO DE JANEIRO  
Reitor: Ruy Garcia Marques

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
Reitor: Sidney Luiz de Matos Mello

UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
RIO DE JANEIRO  
Reitor: Roberto Leher

UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL  
DO RIO DE JANEIRO  
Reitor: Ricardo Luiz Louro Barbara

UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
Reitor: Luiz Pedro San Gil Jutuca



<b>Aula 1</b>	– Princípios gerais da Geologia, subdivisão e histórico _____	7
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Aula 2</b>	– Os minerais _____	35
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Aula 3</b>	– Rochas _____	65
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Aula 4</b>	– A decomposição de minerais e rochas: o intemperismo _____	97
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Aula 5</b>	– O tempo geológico: escala, datação das rochas e Paleontologia _____	131
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Aula 6</b>	– A dinâmica interna do planeta Terra: placas tectônicas, atividades magmáticas e metamorfismo _____	155
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Aula 7</b>	– Vulcanismo, terremotos e tsunamis: os fenômenos naturais que assustam a humanidade _____	183
	Antonio Soares da Silva e Alexssandra Juliane Vaz	
<b>Referências</b>	_____	211



# Aula 1

## Princípios gerais da Geologia, subdivisão e histórico

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar os principais processos responsáveis pela formação do sistema solar e de seus planetas, como surgiram, seu desenvolvimento e os principais objetos de estudo da ciência geológica.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. reconhecer a Geologia como a ciência que estuda a formação da Terra;
2. identificar os principais processos de formação do sistema solar e os corpos que formam o universo;
3. reconhecer os elementos que formam a estrutura da Terra.

## INTRODUÇÃO

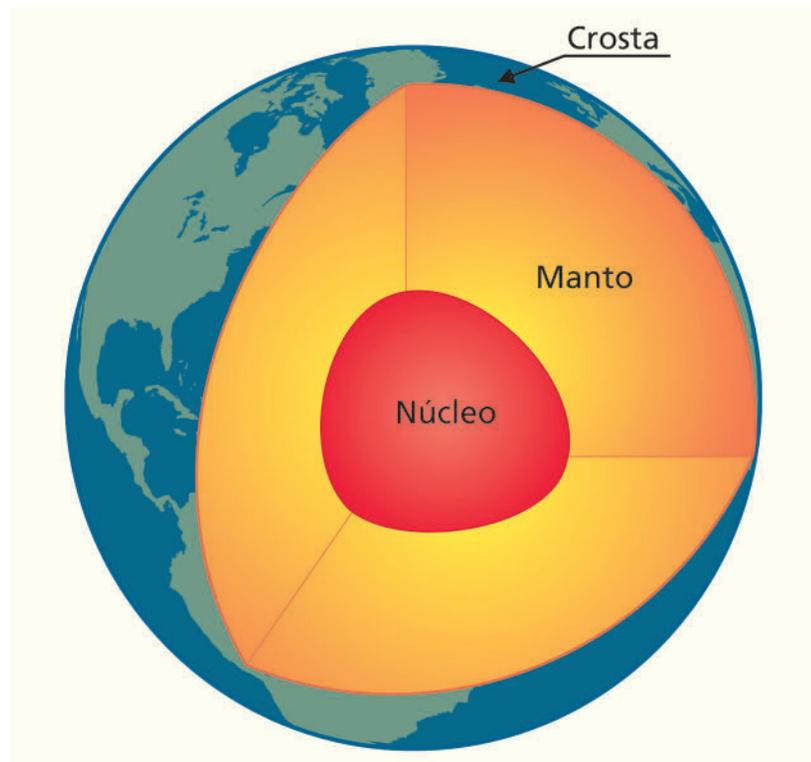
Para começar, vamos falar sobre a Geologia dissociada da sua aplicabilidade à Geografia, porque é necessário conhecer ambas as ciências, suas especificidades, para depois integrar uma à outra.

O desenvolvimento das sociedades humanas somente foi possível devido aos recursos disponibilizados pelo planeta. A sistematização e a estruturação desse conhecimento permitiram a criação de uma ciência chamada Geologia. A descoberta de jazidas de recursos minerais somente foi possível com a pesquisa desses materiais pelos geólogos. Mas a Geologia não está restrita apenas à descoberta e exploração de recursos minerais. Todo o conhecimento que obtivemos sobre a idade da Terra e sua evolução tem uma importante contribuição dos geólogos. Para termos uma ideia da sua importância, basta lembrar que hoje sabemos exatamente quais os ambientes sujeitos a terremotos e vulcanismos, ainda que não saibamos quando estes eventos irão acontecer.

Em cidades como Rio de Janeiro, Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo e outras, sujeitas a movimentos de massa, é a Geologia que indica quais são as áreas de maior risco de ocorrência destes eventos. Nesse caso, há uma interface com a Geografia, pois, ao estudarmos o relevo e o processo de ocupação do espaço, podemos saber quais são os grupos mais afetados ou mesmo quais são os ambientes que precisam sofrer intervenções para remoção de pessoas e quais são as bacias hidrográficas ou setores de encosta mais afetados. Vamos conhecer mais sobre esta importante ciência.

## Geologia, um início?

A Geologia é a ciência que estuda a origem, a formação, a estrutura e a composição da crosta terrestre, além das alterações sofridas por esta no decorrer do tempo. Essa ciência teve sua origem com as civilizações antigas que, sem entender como ocorriam fenômenos naturais, tais como terremotos e vulcões, buscavam explicações para suas curiosidades. Portanto, o estudo da Geologia começou quando o homem passou a aproveitar e utilizar rochas e minerais.



**Figura 1.1:** Estruturas do planeta Terra: crosta, manto e núcleo.

Os **fósseis** são restos de animais e vegetais petrificados, e incorporados às rochas.

Não podemos iniciar esta aula sem trazer algumas dessas descobertas que mostram as concepções sobre temas importantes para a Geologia e para a ciência como um todo. Os primeiros cientistas procuravam explicar não somente a origem da Terra como também a ocorrência dos **fósseis** em rochas.

Historicamente, Tales de Mileto (636-548 a.C.), Anaxímenes (morto em 480 a.C.) e Heráclito (576-480 a.C.) acreditavam ser a água, o ar e o fogo, respectivamente, os agentes formadores da Terra e de todas as coisas. Aristóteles (384-322 a.C.) já fazia interpretações sobre a origem dos terremotos. Em sua obra *Meteorica*, apontava como causa do fenômeno os fortes ventos que acreditava haver dentro da Terra. Sobre o mesmo fenômeno, Anaxímenes dizia ocorrer o desabamento de grandes blocos no interior do planeta. Heródoto (484-425 a.C.) já havia reconhecido um delta, formado pela sedimentação dos detritos do rio Nilo, enquanto Aristóteles falava sobre as áreas banhadas pelo Mediterrâneo e sobre a sedimentação do mar Negro.

Sobre a ocorrência de fósseis, Pitágoras (século IV a.C.) afirmou que eram as estruturas existentes no alto das montanhas, podendo-se concluir que já era possível estabelecer correlações com **tectônica**. No entanto, este conhecimento ainda suscitava interpretações distintas. Para Heródoto, os **nunmulites** encontrados no calcário das pirâmides do Egito eram lentilhas petrificadas (isso mesmo, lentilhas como as que você conhece). Xanto de Sardis (500 a.C.) afirmava que os fósseis formaram-se em regiões cobertas por antigos mares, associando estes fósseis à origem marinha. Mesmo assim, Aristóteles afirmava que os peixes já haviam vivido na Terra, pois eram encontrados na forma de fósseis nas camadas das rochas sedimentares. Ainda havia aqueles que pensavam ser os fósseis os rejeitos, deixados pelo Criador ao tentar criar a vida.

**Tectônica** é qualquer processo geológico em que se tem movimentação ou deslocamento de massas rochosas, construindo ou reorganizando a estrutura terrestre, formando cordilheiras montanhosas, causando terremotos, vulcanismo, falhamento e outros fenômenos associados à dinâmica interna da Terra.

**Nunmulites** são protozoários marinhos que produzem uma carapaça calcária em forma de disco que, em média, são do tamanho de uma moeda.



**Figura 1.2:** Corte do fóssil de uma amonite, molusco cefalópode, que se extinguiu no final do Cretáceo ( $\pm$  65 milhões de anos).

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Ammonite\\_section.JPG](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Ammonite_section.JPG)

A partir do século XVIII, os estudos começam a ter maior precisão e merecem destaque os trabalhos de Abraham G. Werner (1749-1815) e James Hutton (1726-1797), que são considerados os pais da Geologia atual. Charles Lyell (1797-1875) fez a síntese dos conhecimentos geológicos adquiridos até então, e Eduard Suess (1831-1914) veio esclarecer a história física da crosta terrestre. Consequentemente, foram sendo criadas várias publicações geológicas, principalmente nos Estados Unidos, na Inglaterra e na França.

No Brasil, as primeiras pesquisas de cunho geológico tiveram início com o Império. Isso ocorre apenas no século XVIII, com os trabalhos sobre mineração, através de José Vieira Couto. No século seguinte, Martin Francisco e José Bonifácio realizaram estudos no estado de São Paulo. Com a vinda da corte portuguesa, foram trazidos geólogos e engenheiros de minas para realizar pesquisas com o objetivo de descobrir reservas e jazidas minerais. Em 1831, em sua visita ao país, Darwin apontou a ilha de Fernando de Noronha como sendo de origem vulcânica.

Em 1875, foi criada a Comissão Geológica do Império do Brasil. O. A. Derby publicou 174 trabalhos, e J. C. Barnner, outros 60 sobre a Geologia brasileira; por isso ambos são imortalizados. Dentre os mais importantes geólogos do país, podemos apontar Luís F. Gonzaga de Campos (1856-1925), Eusébio Paulo de Oliveira (1882-1939), P. Francisco de Carvalho (1893-1940), Luis Flores de Moraes Rego (1896-1940), Alberto Betim Paes Leme (1883-1938), Avelino J. Oliveira (1891-1970), Sylvio F. Abreu (1909-1972), Djalma Guimarães (1895-1974) e Othon Henry Leonardos (1899-1977).

A palavra Geologia vem do grego *geo* (terra) e *logos* (palavra, ciência, pensamento). Esta ciência é subdividida em Geologia Geral ou Dinâmica e Geologia Histórica. A primeira faz o estudo da composição e da estrutura dos fenômenos formadores da crosta terrestre, dos fenômenos que agem sobre a superfície e no interior do planeta, abordando as fontes de energia que agem sobre a crosta. A segunda faz a datação cronológica da evolução, considerando as modificações estruturais, geográficas e biológicas ocorridas no planeta. Essa cronologia é possível graças à **estratigrafia**, enquanto que a **paleogeografia** sintetiza a configuração dos continentes e mares do passado, além da distribuição da vida e dos climas.

## A Geologia e outras ciências

A Geologia pode ser definida como a ciência que estuda a origem da Terra, através de suas rochas e seus minerais, abordando temas relacionados às dinâmicas, interna e externa, que são responsáveis pelas paisagens que temos no planeta.

Quase todas as ciências possuem alguma relação com a Geologia. Nas próximas aulas, você verá que, para se ter uma compreensão mais precisa da evolução e da composição do planeta Terra, será necessário utilizar conhecimentos de diversas ciências, tais como Física, Química, Matemática, Biologia e Geografia.

### **Estratigrafia**

A palavra tem origem no latim (*stratum*) e no grego (*graphia*).

Compreende os estudos das rochas estratificadas, sua descrição e organização em unidades mapeáveis.

São estabelecidas suas distribuições e relações no espaço, e sua sucessão no tempo, para, assim, ter a história geológica interpretada.

### **Paleogeografia**

Consiste no estudo e na descrição da Geografia Física do passado geológico, tal como a reconstrução histórica do padrão da superfície terrestre ou de uma dada área, em um determinado tempo do passado geológico, ou o estudo de sucessivas mudanças da superfície, durante o tempo geológico.

A Engenharia é uma das áreas do conhecimento com maior interface com a Geologia. São várias as subdivisões da Geologia e da Engenharia que tratam do mesmo tema, como, por exemplo, pode-se citar: Geologia de Engenharia, Engenharia Geológica, Engenharia de Minas e Engenharia do Petróleo. Estes profissionais trabalham com o mesmo tema, mas a forma como executam suas atividades é bastante distinta. Tomando-se como exemplo a mineração, enquanto o geólogo trabalha diretamente com a prospecção e estudos de jazidas minerais, o engenheiro de minas atua na otimização do processo de lavra, bem como no beneficiamento dos bens minerais (**Figura 1.3**).



Dave Dyet.

**Figura 1.3:** Mineração a céu aberto. A pesquisa geológica para definição da jazida é feita por um geólogo, e a forma como esta jazida será minerada e aproveitada é feita pelo engenheiro de minas.

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/614634>

A Geologia também tem uma grande interface com a Geografia, neste caso a Geografia Física, através da Geomorfologia. A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas do relevo, e várias formas estão associadas diretamente às características e às

estruturas presentes nas rochas. Finalmente, a Geologia e a Ciência do Solo (Pedologia) compartilham um objeto de estudo que o geólogo denomina de “rocha muito alterada” e o pedólogo denomina de solo. O solo, para a Geologia, é a capa de material alterado que recobre as rochas e, para a Pedologia, é o substrato que permite o desenvolvimento das plantas. Para a Pedologia, o solo é a coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação processa-se em certo intervalo de tempo e é influenciada pelo relevo.



---

### **Atende ao Objetivo 1**

1. Você acabou de ler algumas informações que mostram como foram iniciadas as pesquisas em Geologia. Também viu que existem relações da Geologia com a Geografia. São temas tratados pela Geologia:

- ( ) a pesquisa de bens minerais que serão utilizados pelas sociedades humanas;
- ( ) estudar os padrões de ocupação do espaço em áreas urbanas e rurais;
- ( ) estudar as relações entre o capital e a força de trabalho.

### *Resposta Comentada*

Esta atividade não é difícil de responder. Todas as atividades da Geologia estão diretamente associadas aos processos responsáveis pela formação do planeta e o aproveitamento dos recursos naturais. As relações da sociedade com a natureza são temas mais abordados pelos geógrafos. Isto não significa que geógrafos e geólogos não trabalhem com outros temas e

mesmo com temas comuns. As interações entre estes profissionais sempre trouxe respostas mais completas para resolver os problemas, principalmente aqueles que contam com a participação direta do ser humano, tais como os processos erosivos e os escorregamentos.

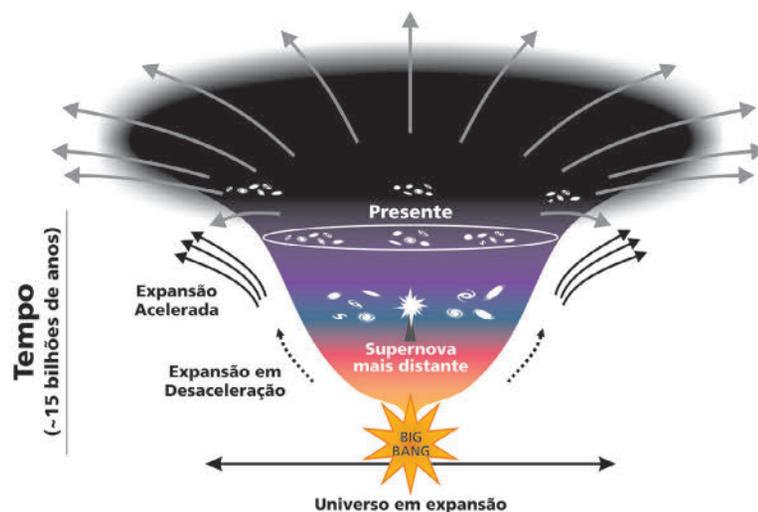
## A origem do sistema solar e do planeta

Qual é a relação entre a Geologia e a origem do universo, do sistema solar e do planeta Terra? Você certamente já ouviu falar na teoria do Big-Bang, a grande explosão cósmica que explica a origem do universo. Os físicos chegaram a essa conclusão e comprovaram que o universo é um sistema fechado que está em expansão. De acordo com essa teoria, a origem da Terra estaria intimamente atrelada à formação do Sol. Por isso, o material que compõe a Terra é o mesmo presente nos demais corpos do sistema solar (planetas, asteroides, **cometas**, gás e poeira).

### Cometas

São os corpos menores do nosso sistema solar. Quando se aproxima do Sol, um cometa passa a exibir uma atmosfera difusa, denominada coma e uma cauda, ambas causadas pelos efeitos da radiação solar sobre o seu núcleo. Os núcleos dos cometas são compostos de gelo, poeira e pequenos fragmentos rochosos, variando em tamanho de alguns quilômetros a até algumas dezenas de quilômetros.

No início de tudo, havia uma quantidade grande de matéria concentrada em um espaço muito pequeno. Isso acarretou densidade e temperatura extremamente altas. A cerca de 15 bilhões de anos, toda a matéria e energia do universo concentradas em um único ponto que explodiu, emitindo radiação para todos os lados (**Figura 1.4**).



**Figura 1.4:** Ilustração mostrando a expansão do universo após o Big-Bang.

A matéria gerada foi se expandindo e posteriormente agrupando-se para formar o que conhecemos hoje como galáxias, estrelas, planetas e todos os demais corpos celestes. Nesse processo evolutivo, as quedas da temperatura e da densidade foram fundamentais, pois assim foram criadas condições para a formação da matéria. Estamos falando de matéria elementar: prótons, nêutrons e elétrons, enfim, o átomo.

A temperatura muito elevada no início foi decrescendo gradativamente e esse resfriamento permitiu que a matéria ficasse confinada em nuvens de gás, que posteriormente entraram em colapso, decorrente da ação da força gravitacional, fundamental para formar os núcleos de matéria, como visto anteriormente. Com o aquecimento destes núcleos, foram formadas as primeiras estrelas. As galáxias começaram a surgir por volta de 13 bilhões de anos atrás sendo que a Via Láctea tem aproximadamente 8 bilhões de anos, e o sistema solar possui em média 4,6 bilhões de anos.



Hidden

**Figura 1.5:** Imagem de uma galáxia criada a partir de programas de edição de imagens.

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1323481> ()

## Os corpos celestes

Os estudos astronômicos mostram que existe uma infinidade de estrelas ordenadas segundo hierarquias e agrupadas em galáxias. Elas nasceram através do processo de contração de nuvens de gás (chamadas de nebulosas), formadas quimicamente por hidrogênio e hélio, mais as partículas sólidas constituintes da poeira interestelar. A queima do hidrogênio libera uma enorme quantidade de energia, o que faz com que a estrela continue queimando por bilhões de anos, como o Sol.

As nebulosas são nuvens de poeiras e gases que podem dar origem a sistemas solares, tais como o nosso. A nebulosa solar que deu origem ao nosso Sol pode ter sido perturbada pela explosão de uma estrela (supernova) ou pela aproximação de outra nuvem. Com o choque, a matéria tende a se contrair, dando origem a um sistema planetário. Os satélites, asteroides e cometas foram formados no mesmo tempo, o que confere ao sistema uma organização harmônica na distribuição da massa e nas trajetórias orbitais. Como a massa do sistema está concentrada no Sol (99,8%), os planetas giram ao seu redor em órbitas elípticas, de dentro para fora, na seguinte sequência: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

## A Terra e os nossos vizinhos...

Algumas das perguntas mais frequentes do ser humano são: de onde viemos e para onde vamos? Existe vida fora da Terra? Quais são as características dos demais planetas? Vamos conhecer um pouco mais sobre eles, começando assim:

Mercúrio é o planeta mais interno do sistema solar, sua massa corresponde a apenas 5,5% da massa da Terra, porém sua densidade é pouco menor que a nossa; logo, seu núcleo metálico é, proporcionalmente, maior que o terrestre. A atmosfera é praticamente inexistente nesse planeta, que quase não sofreu transformações.

Vênus é o planeta mais semelhante à Terra, seja no tamanho ou no peso, sua massa é o equivalente a 81,5% da massa terrestre. Com o pouso de sondas, materiais rochosos puderam ser analisados, revelando rochas basálticas similares às da Terra. Seu relevo é menos variado, e sua atmosfera é composta basicamente por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrogênio (N) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

A Terra possui uma atmosfera formada por nitrogênio, oxigênio, argônio, gás carbônico e uma pequena quantidade de outros gases. A existência de água em estado líquido se deve à sua temperatura, que é regulada pelo vapor de água presente na atmosfera. Tal temperatura permitiu o desenvolvimento da biosfera. Sua coloração azulada vista do espaço é justificada pelo envoltório fluido que a recobre.

A origem da Terra foi catastrófica. Pode-se dizer que o planeta nasceu da “sucata” ou dos restos do sistema solar. Estes fragmentos de matéria foram colidindo e agrupando-se em estruturas maiores, gerando assim um protoplaneta. Essa massa de rochas, envolvida em uma nuvem de gás, sem a presença de água e com o elevado calor, gerado pelo impacto dos meteoros, derreteu tudo o que era atraído pela Terra, devido à sua densidade cada vez maior. O material radioativo constituinte das rochas, assim como a pressão, existente no interior da Terra, produziram o calor necessário para que o interior fosse fundido. Desta forma, os elementos mais densos e mais pesados ficaram agrupados no interior, devido à ação gravitacional, e os mais leves permaneceram na superfície, originando posteriormente a crosta terrestre continental.

Vários gases e uma grande quantidade de vapor de água foram expulsos para a atmosfera, através das erupções vulcânicas. Esta água foi originada a partir das reações químicas que ocorriam no interior do planeta. Durante bilhões de anos, o planeta e sua atmosfera foram sendo modificados. A água liberada pelas reações químicas foi preenchendo os lugares mais baixos, dando origem aos oceanos. No entanto, pode-se dizer que parte da água presente na Terra tem origem extraterrestre. Alguns dos cometas que colidiram com o planeta eram

formados por gelo, tendo esta água um importante papel durante o enchimento de mares e oceanos. A água na forma de vapor presente na atmosfera foi se condensando e deu origem às primeiras chuvas. A água precipitada dissolveu os sais presentes nas rochas e carregou-os para os oceanos. Durante uma etapa da vida do planeta, não havia quantidade de oxigênio ( $O_2$ ) suficiente para manter a vida na superfície dos continentes. Esse gás foi se tornando abundante na medida em que surgiram os primeiros organismos fotossintetizantes, que liberaram grandes volumes de  $O_2$ , possibilitando que houvesse vida nos mares e na superfície dos continentes.

Marte, o chamado planeta vermelho, possui uma massa total equivalente a 11% da massa da Terra. Sua atmosfera é constituída basicamente por  $CO_2$  e, assim como o ambiente terrestre, possui calotas polares com gelo de água e gelo de gás carbônico (gelo seco). A grande quantidade de dunas e a ocorrência de tempestades de areia evidenciam que os seus processos geológicos superficiais, tais como erosão e deposição, são comandados pela ação do vento. Este planeta é hoje alvo de missões da NASA (Agência Espacial Norte-Americana). Esta avalia a possibilidade de existência de formas de vida. Hoje se sabe que Marte possui água na forma líquida no subsolo, portanto, possui condições para manter vida, assim como sabe-se que possui argila, que somente poderia ter sido formada em um período quente e úmido.



Para maiores informações sobre os planetas e outros corpos celestes, visite o sítio do Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe) no endereço <http://www.las.inpe.br/~cesar/welcome.html>; e o sítio da NASA no endereço <http://www.nasa.gov/>, este último em inglês. Alguns navegadores de internet possuem a ferramenta de tradução de páginas em outros idiomas.

Os planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são chamados de planetas jovianos ou gasosos. Diferem dos outros descritos anteriormente porque correspondem a gigantescas esferas de gás comprimido e de baixa densidade, sendo os dois primeiros formados basicamente por hidrogênio (H) e hélio (He). Urano e Netuno, além desses elementos, possuem sólidos, como gelo e rochas. A pressão é tão elevada nestes planetas que é quase impossível fazer especulações sobre os seus interiores. Todos os estudos até então realizados ficaram restritos às suas atmosferas.



Para se ter uma ideia melhor destes planetas, tomemos Júpiter como exemplo. Seu tamanho é tão desproporcional, que agrega mais massa do que todos demais objetos do sistema solar, excluindo o Sol. Suas camadas externas são compostas de amônia congelada, hidrossulfeto de amônia, água congelada e gases, como: hidrogênio, hélio, metano, amônia e vapor d'água.



## Plutão

Após muita discussão, Plutão foi “rebaixado” de categoria. Após reunião em Praga, em 2006, os membros da União Astronômica Internacional (UAI) decidiram que são três as categorias principais de objetos no sistema solar: planetas (de Mercúrio a Netuno), planetas anões (objetos esféricos que não sejam dominantes em suas órbitas e nem satélites) e corpos pequenos (qualquer outro objeto que orbite o Sol). Assim, Plutão passa a ser considerado como um planeta anão, como centenas de vários outros. Para maiores informações sobre este e outros assuntos sobre ciência, visite a página da Agência Fapesp no sítio: <http://agencia.fapesp.br/5995>.



## Você sabe o que são os meteoritos? E os cometas?

Os meteoritos são fragmentos de matéria sólida, corpos metálicos e/ou rochosos, provenientes de espaços interplanetários. A grande maioria dos meteoritos que cai na Terra é proveniente do cinturão de asteroides localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter. Porém, apenas os meteoritos maiores conseguem atingir a superfície do nosso planeta. Como exemplo, podemos citar a Meteor Crater, cratera com 50.000 anos, localizada no Arizona (EUA), provocada pela queda de um meteorito com cerca de 150.000 toneladas. Como a maioria dos meteoritos é de tamanho diminuto, acaba sendo destruída e volatizada pelo atrito gerado ao ingressar na atmosfera.

Você já olhou para o céu e viu uma estrela cadente? Na verdade, elas são meteoros, estrias luminosas visíveis em noites escuras e com pouca presença de nuvens. O ramo da ciência que estuda essas amostras é a Meteorítica, que coleta amostras com mais facilidade nas expedições na Antártica, onde eles se concentram na superfície.

Já os cometas são concentrações de material gasoso, matéria fundamental da nebulosa solar. Imagina-se que eles foram formados durante o processo de acreção planetária, só não puderam originar protoplanetas devido à distância entre eles. Atualmente, são conhecidos cerca de 750 cometas. A órbita dos cometas faz com que eles se aproximem da Terra em intervalos de 75 anos, em média. Quando isso acontece, seus gases são vaporizados e ionizados pela radiação solar, fazendo com que uma cauda seja apontada em sentido contrário ao do Sol.



---

## Atende ao Objetivo 2

2. Os meteoritos, popularmente conhecidos como estrelas cadentes, podem ser considerados como resto da sucata espacial da qual se originou nosso planeta. Pesquise um pouco mais sobre meteoritos em sítios, tais como o do Planetário do Rio de Janeiro (<http://www.planetariodorio.com.br/>) ou do Observatório Nacional ([http://www.on.br/conteudo/modelo.php?endereco=divulgacao\\_cientifica/divulgacao\\_cientifica.html](http://www.on.br/conteudo/modelo.php?endereco=divulgacao_cientifica/divulgacao_cientifica.html)), e responda à seguinte pergunta:

---

Qual é a composição dos meteoritos que atingiram a Terra?

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

Os meteoritos não possuem a mesma composição. Sua classificação deve-se a estrutura interna, composição química e mineralógica. Aproximadamente 95% deles são meteoritos rochosos, que se subdividem em condritos (86%), que são formados pelo processo de acreção, mas sem formar um núcleo, tais como os planetas. A segunda classe de meteoros rochosos são os acondritos, que correspondem a 9% dos meteoritos rochosos. Sua composição mineralógica e química é similar à das rochas basálticas. Os demais meteoritos que chegam à Terra são de dois tipos: siderólitos (1%) e sideritos (4%). Os siderólitos são meteoritos constituídos por materiais rochosos e metais. Dividem-se em mesossideritos (com proporções idênticas de minerais silicatados, tais como feldspato, olivina e piroxênio e de uma liga de ferro-níquel) e *pallasitos* (compostos por cristais centimétricos de olivina numa matriz metálica). Os sideritos possuem ligas de níquel e ferro na sua composição.

---

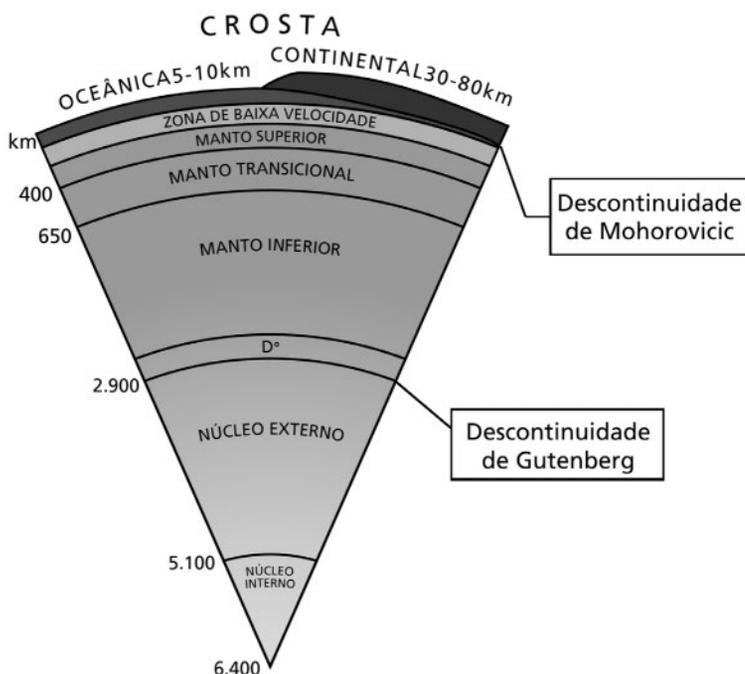
## **A estrutura física da Terra**

O conhecimento da estrutura interna da Terra é essencial para a compreensão dos fenômenos que se manifestam na sua superfície, tais como terremotos e o vulcanismo, que são responsáveis por modificações na superfície terrestre com graves consequências para a vida humana. Parte do conhecimento adquirido sobre o interior do planeta foi obtido com os estudos das ondas sísmicas.

A propagação dessas ondas é medida através de aparelhos, chamados de sismógrafos, que permitiram a descoberta de um núcleo central, em que as ondas são transmitidas no sentido latitudinal. No

restante da Terra, são transmitidas ondas, tanto latitudinais quanto transversais. Esse fato evidenciou que o núcleo interior é líquido, enquanto o manto que o envolve é sólido.

A Terra é constituída por variadas camadas concêntricas e de composição diferenciadas (**Figura 1.6**). Entre 20 e 40 km, existe uma descontinuidade sísmica, denominada Mohorovicic (Moho); este ponto foi delimitado como sendo o limite entre a crosta terrestre e o manto superior. Partindo daí, a cerca de 2.900 quilômetros de profundidade, começa o manto. Nesta profundidade, ocorre a descontinuidade de Wiechert-Gutenberg, que marca a transição entre o manto e o núcleo. O núcleo é dividido em duas partes: núcleo exterior líquido e núcleo interior sólido.



**Figura 1.6:** Estrutura interna da Terra. Neste esboço, podemos observar a desproporção das espessuras entre a crosta e as demais camadas (manto e núcleo).  
Fonte: Teixeira et al., 2000.

A descoberta da composição química das camadas constituintes da Terra permitiu o desenvolvimento de outra ciência, a Geoquímica, encarregada de estudar a distribuição e a quantidade dos elementos químicos e seus isótopos nos minerais, nas rochas, no solo, na água e na atmosfera. Essa ciência tem por base a Mineralogia, a Geologia e a Química, e também está ligada à Física e à Química Atômica.

A partir de agora, veremos cada uma das principais camadas que formam o planeta Terra:

Crosta – também chamada de litosfera, é a parte mais externa da Terra, formada por rochas (agregados naturais de minerais) magmáticas, sedimentares e metamórficas. Sua espessura varia de 5 km sob os oceanos e 60 km, nos continentes. Nas regiões continentais, existe a zona superior, chamada de SiAl (predomínio de rochas ricas em silício e alumínio) e a zona inferior, com predomínio de silicatos de magnésio e ferro (daí o nome Sima). É na crosta externa que ocorre a maioria dos fenômenos geológicos, e, na crosta interna, ocorrem as atividades magmáticas e tectônicas. A crosta oceânica é mais fina, mais densa e mais jovem que a continental, formada por uma camada homogênea de rochas basálticas.

A composição da crosta está relacionada com os tipos de magma. A crosta continental é formada por um magma ácido, enquanto que a crosta oceânica é formada por um magma básico. Na Aula 3, voltaremos a falar sobre este assunto e explicaremos melhor os diversos tipos de magmas. É a Petrografia, que faz o estudo sistemático dos três grandes grupos de rochas, que será o tema da Aula 3. Só vamos adiantar que o estudo da constituição química da crosta é feito a partir da análise da composição e do volume das diferentes rochas. Na **Tabela 1.1**, são apresentados os principais compostos químicos que compõem a crosta terrestre. Veja que a sílica e a alumina são os compostos mais abundantes.

**Tabela 1.1:** Composição química da crosta terrestre

Composto	Fórmula	Composição (%)	
		Continental	Oceânica
Sílica	SiO <sub>2</sub>	60,2	48,6
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,2	16,5
Óxido de cálcio	CaO	5,5	12,3
Óxido de magnésio	MgO	3,1	6,8
Óxido de ferro	FeO	3,8	6,2
Óxido de sódio	Na <sub>2</sub> O	3,0	2,6
Óxido de potássio	K <sub>2</sub> O	2,8	0,4
Óxido de ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	2,3
Água	H <sub>2</sub> O	1,4	1,1
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1,2	1,4
Dióxido de titânio	TiO <sub>2</sub>	0,7	1,4
Pentóxido de fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2	0,3
Total		99,6	99,9

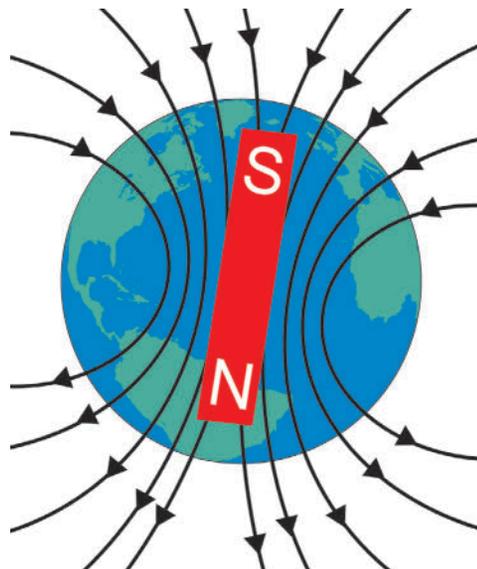
Manto – é a camada localizada diretamente abaixo da crosta, formada por uma mistura de metal e silicatos de ferro e magnésio. Foi o estudo dos meteoritos que permitiu a determinação dos elementos químicos existentes no interior do planeta. Está dividido em manto superior e manto inferior.

O manto superior, formado por rochas no estado de fusão, é fluido, constituindo o magma basáltico que alimenta as erupções vulcânicas. Vai da zona de descontinuidade Moho até os 650 km de profundidade. Esta descontinuidade, sob a crosta oceânica está a uma profundidade média de 5 a 10 km e, sob a crosta continental, a profundidades que vão de 30 km, em regiões cratônicas, podendo,

ir de 80 a 100 km sob as cordilheiras. Já o manto inferior é sólido, vai de 650 km de profundidade até o limite externo do núcleo.

Núcleo – é a parte mais interna da Terra, corresponde, aproximadamente, a 1/3 da massa da Terra e contém principalmente elementos metálicos, como ferro e níquel (98%). Sua composição foi estabelecida comparando-se experimentos laboratoriais com dados sismológicos. A cerca de 5.100 km de profundidade, o núcleo apresenta a descontinuidade de Lehmann, que separa o núcleo exterior fluido do núcleo interior sólido. Mesmo com a elevada temperatura, o núcleo interior mantém-se sólido devido à alta pressão a que está submetido. Alguns estudos apontam que é esta camada líquida do núcleo que dá origem ao campo magnético da Terra.

O campo eletromagnético da Terra tem sua origem atrelada às correntes do líquido no núcleo exterior ao interior. O ferro e o níquel, no estado de fusão no núcleo exterior, através dos movimentos do fluido, acabam gerando uma corrente elétrica. A eletricidade cria um campo magnético que se estende em direção ao espaço.



**Figura 1.7:** Linhas do campo magnético da Terra.

Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-terrestre.htm>

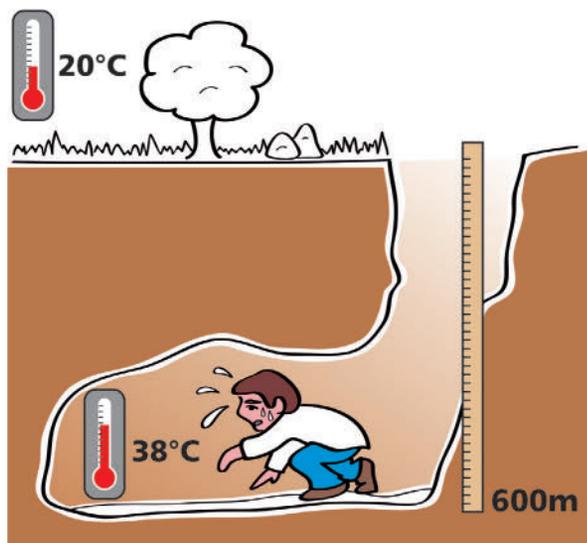
Esse campo eletromagnético estende-se a até cerca de 60.000 km e protege a Terra das explosões solares, porque desvia as tempestades do nosso Sol. Assim, além de evitar a destruição da camada de ozônio, impede a passagem de grandes quantidades da radiação ultravioleta.

Entretanto, cientistas têm detectado a perda de força do campo eletromagnético da Terra, o que poderá deixar o planeta mais vulnerável ao aumento da radiação ultravioleta.

Com relação à temperatura interna do planeta, sabe-se, através de túneis e sondagens, que a temperatura aumenta progressivamente para o interior (**Figura 1.8**). A temperatura da superfície do planeta depende do calor recebido do Sol, mas sem o calor interno não teríamos condições de sobreviver. O calor na parte interna não é uniforme e depende da **condutibilidade** das rochas. Preste atenção: em locais com rochas pouco condutoras de calor, a temperatura aumenta; enquanto em locais com rochas boas condutoras de calor, a temperatura aumenta menos.

### **Condutibilidade**

É a propriedade que alguns materiais possuem de conduzir calor. Nas rochas, esta propriedade varia de acordo com o tipo de rocha.



**Figura 1.8:** O aumento da temperatura está relacionado ao gradiente geotérmico. Quanto mais próximo do manto, mais elevada é a temperatura. Nas zonas com atividade térmica mais intensa, pode ocorrer a ascensão de água com temperaturas mais elevadas, tais como nas zonas termais.

O gradiente (ou grau) geotérmico corresponde ao número de metros em profundidade para que a temperatura eleve-se 1°C. Esse valor não é constante, mas, geralmente, fica em torno dos 30 metros. Grande parte do calor do interior da Terra provém dos materiais radioativos existentes. Por exemplo, todas as rochas possuem material radioativo, como o urânio e o tório, que vão sendo transformados em chumbo e hélio. Esse processo de transmutação natural libera energia em forma de calor.

Não é possível dizer com precisão qual é a temperatura interna da Terra, mas, através da Sismologia, as pesquisas têm avançado. Geralmente, a temperatura eleva-se menos nas regiões geológicas mais antigas (escudos cristalinos), que não sofrem perturbações tectônicas recentes (**Figura 1.9**). Nas zonas geológicas mais novas (recentes), sujeitas a perturbações geológicas, o magma atinge níveis superiores na litosfera, o que ocasiona o aumento mais rápido da temperatura.



**Figura 1.9:** Observe no mapa que os locais onde há extravasamento do magma, tais como ao longo da cordilheira Mesoatlântica, as temperaturas são mais elevadas devido à chegada, na superfície, de rochas vindas do interior do planeta (setas em preto) e, nas áreas correspondentes aos atuais continentes, as temperaturas são mais baixas (setas brancas).

## CONCLUSÃO

Nesta aula, você pôde acompanhar o nascimento do universo e aprender um pouco mais sobre a ciência que estuda a formação das rochas do planeta Terra. Para formar um especialista nesta ciência, são necessários vários anos de estudos; portanto, o que você terá neste curso é apenas uma pequena parte do conhecimento da Geologia. São vários os processos geológicos que permitem o desenvolvimento da vida na Terra. Assim como dependemos da luz do Sol, pois sem ela não teríamos os vegetais fotossintéticos, precisamos da energia que vem do interior do planeta, também conhecida como energia geotérmica. A dinâmica interna ou geodinâmica do planeta é responsável pela transferência de calor e reciclagem de matéria, e isso, apesar de causar sérios transtornos na superfície, como veremos mais adiante, é extremamente benéfico para os seres humanos e todos os demais seres que habitam esta “espaçonave” a que chamamos Terra.

### *Atividade Final*

---

#### **Atende ao Objetivo 3**

Em 2008, foi lançado um filme com o nome *Viagem ao centro da Terra*. Nesse filme, o cientista desaparece em uma caverna e atinge o centro da Terra, que seria oco. É um filme interessante, que pode dar alguma ideia do que vimos aqui. Mas para responder a esta atividade, você deve usar os conhecimentos vistos nesta aula e apresentar um resumo do modelo de estruturação e composição da Terra.

### *Resposta Comentada*

O planeta divide-se em três camadas: crosta, manto e núcleo. A crosta corresponde à parte mais externa e é formada a partir da consolidação do material em fusão no manto. A crosta possui uma espessura variada. Nas áreas continentais mais estáveis, chega a apresentar de 30 a 60 km e, nas áreas oceânicas, possui apenas em média 5 km. O manto é formado por uma mistura de metal e silicatos de ferro e magnésio. Está dividido em manto superior e manto inferior. O primeiro, formado por rochas no estado de fusão, é fluido, constituindo o magma basáltico que alimenta as erupções vulcânicas, e o segundo é sólido, vai de 650 km de profundidade até o limite externo do núcleo. Finalmente, o núcleo é a parte mais interna da Terra. Sua composição somente pode ser estabelecida através da comparação de experimentos laboratoriais com dados sismológicos.

---

## **RESUMO**

A Geologia é a ciência que estuda a origem, a formação, a estrutura e a composição da crosta terrestre, bem como as alterações sofridas por ela no decorrer do tempo. Este estudo é feito basicamente nas rochas e nos minerais que formam a crosta terrestre. A Geologia também engloba o estudo dos fósseis, e as primeiras explicações para a presença de estruturas de origem orgânica incorporadas na rocha eram muito diferentes das de hoje. Alguns dos primeiros afirmavam que os animais eram seres que Deus havia eliminado, após a criação.

Foi somente a partir do século XVIII que a Geologia ganhou mais força e precisão como ciência. No Brasil, os primeiros estudos de Geologia ocorreram após a chegada da família real portuguesa.

Como é uma ciência muito ampla, existem diversas subdivisões na Geologia. Os estudos englobam desde as rochas e os minerais até as interações entre as atividades humanas e as rochas, e os sedimentos. No Brasil, os cursos estão estruturados entre graduação e pós-graduação. Hoje, o geólogo é um profissional muito valorizado. Esta valorização deve-se à grande procura das empresas de mineração e, principalmente, das empresas petroleiras.

A origem da Terra está associada à formação do universo e do sistema solar. Os planetas que compõem esse sistema apresentam características muito diferentes. Os planetas mais similares à Terra são Mercúrio, Vênus e Marte. Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são considerados planetas jovianos ou gasosos, pois correspondem a gigantescas esferas de gás comprimido e de baixa densidade.

Os estudos sobre a geologia dos outros planetas do sistema solar são muito complexos. Até mesmo estudar e conhecer a estrutura física do nosso planeta, é muito difícil, pois ainda não possuímos tecnologia suficiente para esclarecer todos os processos e mecanismos que movimentam e estruturam a Terra. Hoje sabemos que a Terra possui três camadas: crosta, manto e núcleo. A crosta é mais externa, o manto é o fornecedor de matéria para a formação da crosta, e o núcleo possui temperaturas altíssimas e massa correspondente a 1/3 da massa total do planeta.

## **Informação sobre a próxima aula**

Na próxima aula, começaremos a ver os constituintes da crosta: os minerais. Estudaremos sua composição química, o arranjo cristalográfico, as propriedades físicas, ópticas e químicas.



# Aula 2

## Os minerais

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar os principais minerais como formadores de rochas, sua constituição química, seu arranjo cristalográfico e seu aproveitamento econômico.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar aplicações dos minerais;
2. reconhecer as propriedades macroscópicas dos minerais.

## INTRODUÇÃO

Na Aula 1, você viu a formação do nosso planeta, estudou a crosta terrestre e viu também que é sobre ela que está assentada a população humana e todos os demais seres vivos da Terra. Você sabia que a crosta terrestre é formada por minerais? Os minerais são a principal matéria que constitui as rochas que formam a crosta terrestre. Além dos minerais, as rochas podem conter também, em menor número, os mineraloides, que são semelhantes aos minerais, mas não apresentam a organização cristalina típica dos minerais, como o vidro vulcânico e o carvão.

Desde os tempos mais remotos, a humanidade faz uso dos minerais, mas sua importância foi crescendo juntamente com o desenvolvimento tecnológico. Um dos principais alvos da cobiça de espanhóis e portugueses na América eram as pedras preciosas e os recursos minerais. Nesta aula, você vai conhecer mais sobre os minerais.

### **O que é um mineral?**

Os minerais são recursos naturais que o homem aprendeu a utilizar e que hoje fazem parte do seu dia a dia. Sem dúvida alguma, o mundo não seria o mesmo sem a utilização deste. Você pode não imaginar, mas muitas coisas que usamos no nosso dia a dia vêm do reino mineral. Por isso, é importante estudar e conhecer suas características e propriedades.

Os minerais são recursos naturais não renováveis, pois dependem da dinâmica interna da Terra para se formarem e, portanto, a maioria dos minerais só pode ser usada uma vez, a não ser que reciclemos os produtos em que foram transformados, assim como o ferro, alumínio, cobre e outros.

A formação dos minerais é muito lenta. Estes levam milhões de anos para serem formados e, à medida que são extraídos do solo, suas reservas vão diminuindo. Com certeza, em algum dia, irão acabar definitivamente.

No momento, são conhecidos aproximadamente 2.400 minerais. Entretanto, apenas alguns são comuns e formam a maior parte das rochas da crosta terrestre.

Mas o que é um mineral? A definição mais frequente nos livros de Geologia é a seguinte: mineral é um elemento ou composto químico, resultante de processos geológicos inorgânicos na Terra ou em corpos extraterrestres, possuindo composição química definida e estrutura cristal, sendo na sua maioria sólidos, com exceção do mercúrio. A composição química pode ser fixa ou sofrer algumas variações. O diamante e o enxofre são exemplos de minerais com composição química simples, ou seja, formada por átomos de um mesmo elemento químico, nesse caso, o carbono (C) e o enxofre (S), respectivamente.

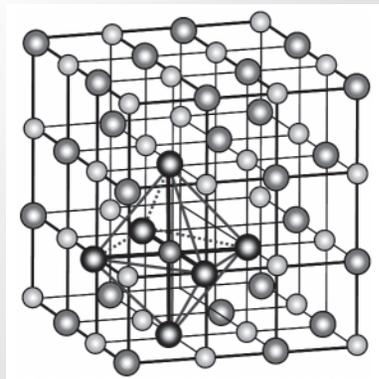


### **Estrutura cristalina**

É o arranjo espacial em que se encontram os átomos ou moléculas, no mineral. Na natureza, existem 14 arranjos básicos tridimensionais de partículas (neste caso, átomos ou moléculas). Designados por redes de Bravais e agrupados em sete sistemas de cristalização distintos, permitem descrever todos os cristais até agora encontrados (as exceções conhecidas são os quase cristais de Shechtman, os quais, contudo, não são verdadeiros cristais por não possuírem uma malha com repetição espacial uniforme).

Observando a estrutura cristalina de um cristal de halita (NaCl), podemos notar a ordenação dos átomos. A halita é um mineral que somente se forma em condições ambientais de extrema aridez. Sua composição química é NaCl, a mesma do sal de cozinha. É utilizado na produção de soda cáustica.

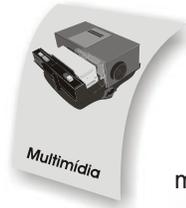
Neste sítio, você poderá visualizar esta figura em cores:



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:NaCl-Ionengitter.png>.

A água presente na forma de gelo, nas geleiras, também é considerada um mineral. Cada tipo de mineral constitui uma espécie mineral. Dependendo das condições geológicas em que foi cristalizado, sua organização atômica interna resultará em uma forma geométrica externa, com o aparecimento de faces, arestas e vértices.

Além da composição química, a origem dos minerais depende das condições físicas do ambiente, como pressão e temperatura. Por isso, os minerais originados no interior da Terra são, na maioria das vezes, diferentes dos formados em superfície.



Satisfaça sua curiosidade e aumente os seus conhecimentos sobre as aplicações dos minerais, visitando os sítios da editora Oficina de Textos, no endereço: <http://www.ofitexto.com.br/5pedrinhas/atividade/index.html>; do Projeto Caminhos Geológicos, no endereço: <http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/sitept/home/>, e do sítio <http://www.idealdicas.com/os-minerais-e-seus-poderes/>.

Nestes endereços, você poderá aumentar seus conhecimentos e também auxiliará na resolução da Atividade 1. Se você reside na cidade do Rio de Janeiro ou quando vier nos visitar, não deixe de conhecer o acervo do Museu de Ciências da Terra, na Av. Pasteur, 404, Urca. O museu está aberto de terça a domingo, das 10h às 16h, e sua entrada é gratuita.



---

### **Atende ao Objetivo 1**

1. Você pode não saber, mas sua casa está repleta de minerais. Você seria capaz de identificar os minerais e em quais objetos eles estão presentes? Assim, relacione pelo menos cinco objetos ou materiais presentes na sua casa e os minerais que fazem parte de sua composição.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

Para iniciarmos nossa resposta, vamos lembrar alguns objetos presentes na maioria das casas. Fios e cabos elétricos; janelas; computadores e aparelhos de TV; fogão; geladeira; sofá e vários outros. Agora que fizemos uma listagem do que pode existir em uma casa, vamos fazer a associação com os minerais. Na sala, seu aparelho de televisão possui os seguintes minerais ou elementos químicos: cromita (cromo), wolframita (tungstênio), quartzo, cobre e prata. Na sua cozinha, a geladeira possui hematita (ferro), cromita, galena (chumbo), cobre, mercúrio, níquel. No seu banheiro, a louça sanitária foi criada a partir de caulim (argila), calcário, feldspato e talco. O seu computador contém os seguintes minerais e/ou elementos químicos: wolframita, cobre, quartzo, prata, silício e petróleo (plástico). Se você possui um radiorelógio para não perder a hora dos estudos, saiba que ele contém cobre, quartzo, ouro e cassiterita (estanho).

---

## **Classificando e definindo as propriedades dos minerais**

Os minerais possuem propriedades físicas, químicas e ópticas. Vamos estudar cada uma delas de forma separada. Você verá que é relativamente simples identificar essas propriedades. Vamos começar pelas propriedades físicas, depois falaremos das propriedades ópticas e químicas.

## Propriedades físicas

A primeira propriedade que veremos será a ESTRUTURA. A maioria dos minerais está no estado cristalino, em que os átomos ou agrupamentos de átomos são dispostos regularmente, segundo sistemas fixos e constantes. Isto significa dizer que eles conservam invariáveis as distâncias entre os átomos que se repetem. Esse fato permitiu que fosse determinada a rede cristalina própria de quase todos os minerais. A forma do cristal também é determinada pela estrutura cristalina, dependendo da distância entre os átomos ou grupos de átomos. Os cristais são subdivididos em sete sistemas cristalinos: cúbico, tetragonal, trigonal, hexagonal, rômboico, monoclinico e triclínico.

Esses termos aparentemente difíceis resultam da combinação dos eixos e ângulos. Para aumentar seus conhecimentos, veja as definições de cada um dos sistemas cristalinos. Não se preocupe em decorar todas estas definições, mas lembre-se, ao ler em algum material que um determinado mineral possui hábito romboédrico, isso se refere ao seu sistema cristalino. A **Tabela 2.1** mostra de maneira simplificada os sistemas cristalinos, a simetria principal e os exemplos de minerais.

**Tabela 2.1:** Sistemas cristalinos, simetria principal e exemplo de minerais

Sistema	Simetria principal	Minerais
Cúbico	4 eixos ternários	Diamante, granada, espinélio
Tetragonal	1 eixo quaternário	Zircão, cassiterita, rutilo
Hexagonal	1 eixo senário	Quartzo $\beta$ , berilo
Trigonal	1 eixo ternário	Quartzo $\alpha$ , turmalina, coríndon
Ortorrômboico	1 eixo binário	Olivina, ortopiroxênio, topázio
Monoclinico	1 eixo binário	Ortoclásio, mica, clinopiroxênio, dinoanfíbólio
Triclínico	Um centro de simetria ou sem simetria	Microclínio, plagioclásio

Cúbico ou isométrico — produz estruturas simples e lineares, e é aquele em que, para além de todos os cristais possuírem quatro eixos ternários de simetria, os eixos cristalográficos possuem comprimentos iguais e são perpendiculares entre si.

Tetragonal — todos os cristais deste sistema têm a característica de possuírem, para além de um eixo quaternário de simetria, três eixos cristalográficos perpendiculares entre si, sendo os dois horizontais de igual comprimento e o vertical de comprimento diferente.

Ortorrômbico — produz estruturas de grande complexidade, tendo como característica comum a todos os cristais deste sistema apresentarem, ao menos, um eixo binário de simetria. Possuem três eixos cristalográficos perpendiculares entre si, todos com comprimentos diferentes.

Hexagonal — neste sistema, todos os cristais possuem ou um eixo ternário de simetria ou um eixo senário de simetria. Possuem quatro eixos cristalográficos, dos quais três são horizontais, com comprimentos iguais e cruzando-se em ângulos de  $120^\circ$ , e o quarto é vertical, com comprimento diferente dos demais.

Romboédrico ou trigonal — a única diferença entre esse sistema e o hexagonal é a simetria do eixo vertical. Devido a essa semelhança entre os dois sistemas, alguns autores consideram o sistema romboédrico uma subdivisão (classe) do sistema hexagonal. Pertencem ao sistema romboédrico o quartzo, o coríndon e as turmalinas.

Monoclínico — os cristais deste sistema em geral apresentam apenas um eixo de simetria binário ou um único plano de simetria ou a combinação de ambos. Possuem três eixos cristalográficos, todos com comprimentos diferentes. Dois eixos formam um ângulo oblíquo entre si, sendo o terceiro perpendicular ao plano formado pelos outros dois.

Triclínico — agrupa todos os casos que não podem ser acomodados em quaisquer dos restantes sistemas, exibindo

apenas simetria translacional ou inversão. Permite apenas dois grupos espaciais. Os cristais com este sistema caracterizam-se pela ausência de eixos ou planos de simetria, apresentando três eixos cristalográficos com comprimentos desiguais e oblíquos entre si.

A segunda propriedade física é a CLIVAGEM, cujo conceito é a capacidade que uma substância cristalina possui de se dividir em planos paralelos, de acordo com a estrutura do mineral. A clivagem pode ocorrer segundo uma ou mais direções, mas serão sempre paralelos a uma face possível do cristal. Quando um mineral apresenta uma única direção de clivagem, formam-se placas, como na mica (**Figura 2.1**) e, quando um mineral não possui clivagem, tende a apresentar fratura concoidal, terrosa, granular ou fibrosa.



**Figura 2.1:** O mineral mica possui divisão perfeita. As placas ou lamelas deste mineral são explicadas pela disposição dos átomos ao longo de planos sucessivamente paralelos.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MicaSheetUSGOV.jpg>

A DUREZA é uma propriedade que está relacionada à resistência que um mineral apresenta ao ser riscado. Essa classificação é feita segundo a escala de Mohs, que varia de 1 a

10, em ordem crescente de dureza. Quando um mineral apresenta a mesma dureza que outro, riscam-se mutuamente, porém, de forma fraca.

O nome de escala de Mohs é em homenagem ao mineralogista australiano que a elaborou. Nessa escala, os intervalos não obedecem à proporcionalidade dos números, eles simplesmente ordenam os minerais. Por exemplo, o diamante que apresenta dureza 10 é 140 vezes mais duro que o coríndon de dureza 9 (**Figura 2.2**).

A avaliação da dureza, segundo a escala de Mohs, é feita inicialmente com uma placa de porcelana, mas podemos utilizar outros objetos por referência, tais como: a unha humana (risca o talco e, com dificuldade, a gipsita), uma moeda de cobre (risca a calcita), a lâmina de uma faca de cozinha (risca a fluorita e, com dificuldade, a apatita) e uma liga de aço (risca o ortoclásio).



**Figura 2.2:** Escala de Mohs. A seta para cima indica que o elemento localizado abaixo risca os demais.

Os minerais são formados por elementos químicos e isso você já viu anteriormente. Dependendo do número atômico destes elementos químicos, um mineral pode apresentar maior ou menor peso específico, ou DENSIDADE RELATIVA. Esta propriedade é na verdade o número que indica quantas vezes certo volume de mineral é mais pesado que o mesmo volume de água destilada à temperatura de 4°C. Corresponde ao peso expresso em gramas de 1cm<sup>3</sup> de mineral. A maioria dos minerais formadores das rochas possui densidade relativa entre 2,5 e 3,3; aqueles com elementos de alto peso atômico apresentam densidade superior a 4. Na **Tabela 2.2**, você poderá observar a densidade de alguns minerais. Veja que a densidade está diretamente relacionada com o peso atômico dos elementos, mas também pode ser influenciada pelo comprimento das ligações químicas existentes.

**Tabela 2.2:** Densidade de alguns minerais

Mineral	Composição	Massa atômica	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Forsterita	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Mg = 24,31	3,22
Faialita	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Fe = 55,85	4,41
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	Ca = 40,08	2,71
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	Fe = 55,85	3,95
Cromita	FeOCr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe + 2Cr = 159,85	5,09
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3Fe = 167,55	5,20
Silvita	KCl	K = 39	2,0
Halita	NaCl	Na = 23	2,2
Periclásio	MgO	Mg = 24,31	3,6

## Propriedades ópticas

Agora que você já viu quais são as propriedades físicas dos minerais, vamos ver algumas características que podem ser distinguidas macroscopicamente. Para isso, começaremos pelo brilho. Mas antes de explicar o que é brilho, pense na seguinte situação. Você certamente já viu seu reflexo em objetos metálicos, tais como os utensílios feitos de aço inoxidável, e em utensílios feitos de alumínio. Quais deles apresentam maior reflexo? Certamente, você responderá que são os objetos de aço inoxidável. Assim como os utensílios que utilizamos no exemplo, os minerais também apresentam brilho diferente. Mas o que é brilho?

O BRILHO de um mineral está relacionado à quantidade de luz refletida pela sua superfície. Os minerais podem apresentar brilho metálico quando refletem mais de 75% da luz incidente ou apresentar brilho não metálico quando não atingem essa reflexão. De certa forma, a COR de um mineral também depende da luz, mas neste caso, sua absorção é seletiva, restando uma fração transmitida e outra refletida. O fato de um mineral absorver mais certo comprimento de onda que os outros faz com que os comprimentos de onda restantes componham-se em uma cor diferente da luz branca que chegou ao mineral. A absorção seletiva depende da presença de elementos químicos de transição, como o ferro e o cobre, dos defeitos da sua estrutura atômica e da presença de inclusões de minerais dispersos. Os minerais com cores características, como o enxofre, que é amarelo, são chamados de idiocromáticos, e aqueles com cores variáveis são chamados de alochromáticos, sendo o caso do quartzo.

Entre as várias tonalidades de cor dos minerais metálicos, podemos citar o vermelho, o amarelo, o branco-argênteo, o branco-acinzentado e o preto-acinzentado. Entre os minerais não metálicos, temos o preto, o azul, o azul-da-prússia, o verde-esmeralda, o amarelo-citrino, o vermelho-escarlata, o vermelho-acastanhado e o acastanhado-avermelhado.

Preferencialmente, deve-se observar a cor do mineral em uma fratura recém-feita, ainda mais em se tratando dos minerais de brilho metálico, que sofrem alterações mais rapidamente. Isso se faz necessário porque a superfície do mineral em contato com o ar forma películas de alteração em função da umidade e do oxigênio do ar atmosférico.



Para saber mais sobre os minerais e ver fotos coloridas, visite o Museu Virtual Heinz Ebert, da Universidade Estadual Paulista – Unesp, no seguinte endereço: <http://www.rc.unesp.br/museudpm/entrar.html>

Um outro local que pode ser visitado é o sítio da editora Oficina de Textos no endereço: <http://www.ofitexto.com.br/5pedrinhas/como.htm>

A **Tabela 2.3** apresenta algumas características dos minerais mais comuns. Observe a fórmula ou composição química, o hábito, a clivagem, a dureza e o brilho.

**Tabela 2.3:** Propriedades de alguns minerais

Mineral	Fórmula	Hábito	Clivagem	Dureza	Brilho
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Prismático, romboédrico, escalonoédrico	Perfeita	3	Vítreo a terroso
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	Maciço, compacto, tetraédrico	Imperfeita	3,5 – 4	Metálico
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Micáceo	Perfeita	2 – 2,5	Terroso
Clorita	$(\text{Mg,Al,Fe})_{12}(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$	Micáceo	Perfeita	1,5 – 2,5	Vítreo a nacarado
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Romboédrico	Perfeita	3,0 – 4	Vítreo a nacarado

Esfarelita	ZnS	Tetraédrico, dodecaédrico	Dodecaédrica perfeita	3,5 – 4	Resinoso a adamantino
Galena	PbS	Cúbico, octaédrico	Perfeita	2,5	Metálico
Gipsita	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Fibroso, prismático, lamelar a tabular, maciço a granular	Em 4 direções: perfeita e menos perfeita a imperfeita	1,5 – 3	Vítreo, nacarado e sedoso
Granada (almandina)	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> )	Dodecaédrico, trapezoidal	Partição dodecaédrica	7 – 8	Vítreo a resinoso
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Romboédrico, tabular, granular, laminar, botrioidal, compacto, terroso	Romboédrica e basal	5,5 – 6,5	Metálico a esplêndido
Ilmenita	FeTiO <sub>2</sub>	Romboédrico, lamelar, maciço, compacto, granular	Ausente	5 – 5,5	Submetálico a metálico
Limonita	Fe(OH) <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	Estalactítico, botrioidal, mamelonar, fibroso, maciço, terroso	Não apresenta	5 – 5,5	Submetálico terroso
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Octaédrico, dodecaédrico, cúbico, maciço, granular	Indistinta	5,5 – 6	Lustroso, esplêndido, metálico a submetálico
Microclínio	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Prismático	Perfeita	6 – 6,5	Vítreo
Muscovita	KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	Micáceo	Perfeita	2 – 2,5	Vítreo a sedoso
Nefelina	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Piramidal ou maciça	Distinta	5 – 6	Graxo
Olivina (forsterita)	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Tabular, prismático	Imperfeita	6,5 – 7	Resinoso
Pirita	FeS <sub>2</sub>	Cúbico, octaédrico, dodecaédrico pentagonal	Muito fraco	6,0 – 6,5	Metálico

Piroxênios (augita)	$(Ca, Mg, Al)_2(Si, Al)_2O_6$	Prismático, tabular	Boa	5 – 6,5	Lustroso a vítreo
Quartzo	$SiO_2$	Granular, prismático, compacto	Imperfeita	7	Vítreo
Turmalina (dravita)	$NaMg_3Al_6B_3Si_6O_{27}(OH, F)_4$	Prismático, estriado, colunar, laminar	Fraca	7 – 7,5	Lustroso, vítreo a resinoso
Zircão	$ZrSiO_4$	Prismático, piramidal, granular	Imperfeita	7,5	Resinoso a adamantino



## Atende ao Objetivo 2

2. Vamos ver agora a imagem a seguir. Ela corresponde a cristais de quartzo. Observe que todos os cristais possuem a mesma forma externa.



Sergio A. Moreno

**Figura 2.3:** Cristais de quartzo.

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/327640>

Assinale a opção correta sobre as propriedades macroscópicas dos minerais, descritas nas alternativas a seguir.

- ( ) A magnetita apresenta brilho vítreo.
- ( ) O quartzo possui clivagem perfeita.
- ( ) A ilmenita é composta por sílica (Si) e alumínio (Al).
- ( ) A composição química da hematita difere da magnetita pela presença de um átomo de oxigênio e um átomo de ferro.

### *Resposta Comentada*

Ao observar a **Tabela 2.3**, vimos que foram apresentadas as características de alguns minerais. A resposta correta é a quarta opção, pois as informações correspondem à tabela com as características dos minerais. A magnetita apresenta brilho lustroso, esplêndido, metálico a submetálico; o quartzo apresenta clivagem imperfeita; a ilmenita é composta por ferro (Fe), titânio (Ti) e oxigênio (O). Volte a observar a tabela e reveja as características dos minerais apresentados.

---

## **Propriedades químicas**

Para compreender essas propriedades, você precisa se lembrar das suas aulas de Química durante o Ensino Médio. Calma, você não precisará ter grandes conhecimentos para entender esta aula. Vamos partir do pressuposto de que todo mineral possui uma fórmula química e apresenta composição química constante, dentro de certos limites. As ligações podem ser iônicas (união de cátions com ânions), covalentes (compartilhamento de elétrons), metálicas (formação de nuvens de elétrons) e de Van der Waals (união de moléculas e unidades estruturais praticamente neutras).



### Ligações químicas

A ligação iônica ocorre quando a ligação química está baseada na atração eletrostática entre dois íons carregados com cargas opostas (positiva e negativa).

A ligação covalente é caracterizada pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre átomos, causando uma atração mútua entre eles, que mantêm a molécula resultante unida. Um dos melhores exemplos de ligação covalente é a água ( $H_2O$ ), em que a ligação química pode ser expressa da seguinte forma: H-O-H.

A ligação metálica ocorre entre dois átomos de metais. Nesse caso, os átomos envolvidos perdem elétrons de suas camadas mais externas, que são atraídas por outros átomos e que, por sua vez, "deixam" que estes elétrons desloquem-se mais ou menos livremente entre eles, formando uma nuvem eletrônica (também conhecida como "mar de elétrons").

Finalmente, a chamada ligação de Van der Waals é uma ligação interatômica mais fraca, ou seja, com menor energia de ligação. Ela ocorre entre átomos neutros, átomos de gases nobres (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn), entre moléculas não polares e, de forma geral, em todos os líquidos e sólidos. Ela somente tem importância quando não existem outros tipos de ligações químicas presentes.

Existem minerais que possuem muitas formas e são chamados de polimorfos. Existem aqueles que apresentam essencialmente a mesma composição química, mas estruturas cristalinas diferentes

e minerais isomorfos, ou seja, possuem forma igual. Finalmente, alguns minerais possuem estrutura cristalina semelhante, mas sua composição química é diferente ou pode apresentar algumas variações dentro de certos limites. Agora volte à **Tabela 2.3** e reveja as composições químicas de alguns minerais.

A transparência, o traço, a geminação e a condutividade elétrica e magnética são outras propriedades utilizadas para a identificação de um mineral. A TRANSPARÊNCIA refere-se à capacidade do mineral de absorver luz. Minerais que não absorvem ou absorvem pouca luz são identificados como transparentes, enquanto os que absorvem considerável quantidade de luz são translúcidos, dificultam o reconhecimento de imagens através deles. Esta característica depende da espessura do mineral; a análise é feita cortando-se o mineral em lâminas.



**Figura 2.4:** Lâmina delgada de gabro, mostrando o arranjo dos minerais.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Gabbro\\_pmg\\_ss\\_2006.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Gabbro_pmg_ss_2006.jpg)

A GEMINAÇÃO é a propriedade de certos cristais de aparecerem intercrescidos, ou seja, minerais que crescem envoltos por outros minerais. As relações dos cristais dão-se por operações

**Polissintética**

Quando a geminação envolver a formação de mais de dois minerais diferentes.

geométricas. A geminação pode ser simples (quando há dois indivíduos intercrescidos) ou múltipla, quando envolve a geminação de mais de um mineral, sendo denominada de **polissintética**.

O TRAÇO corresponde à cor do pó do mineral, obtida quando o mineral é riscado contra uma placa ou um fragmento de porcelana de cor branca, geralmente. Em uma analogia com o giz utilizado nas aulas, o mineral é o giz e a lousa é a superfície a ser riscada. Como a maioria dos minerais translúcidos ou transparentes apresenta traço branco, esta propriedade só se torna útil para identificar elementos opacos ou minerais ferrosos (estes geralmente apresentam traços coloridos).

Com exceção do ouro, da prata e do cobre, que apresentam ligações atômicas totalmente metálicas, a maioria dos minerais são maus CONDUTORES DE ELETRICIDADE. Caso as ligações atômicas sejam parcialmente metálicas, como no caso dos sulfetos, os minerais são classificados como semicondutores. Os não condutores são aqueles em que predominam as ligações iônicas e covalentes. Com relação ao campo magnético, apenas a magnetita e a pirrotita são atraídas.

O estudo de todas essas propriedades dos minerais é importantíssimo para a sua classificação. Assim, os minerais são agrupados em conjuntos, de acordo com suas características. Dentre os critérios mais usados para classificação dos minerais, vamos apontar o sistema de cristalização (ex.: minerais monoclinicos ou cúbicos), os usos (ex.: minérios, **gemas** ou minerais formadores das rochas); composição química (ex.: elementos nativos, óxidos ou sulfetos).

Didaticamente, os livros escolares fazem uma classificação simplificada das substâncias minerais, classificando os minerais em metálicos e não metálicos. Os metálicos são ferro, manganês, cromo, molibdênio, níquel, cobalto, wolfrâmio, vanádio, cobre, chumbo, zinco, estanho, alumínio, magnésio, titânio, berílio, ouro, prata, platina, cério, lítio e outros; os não metálicos são areia,

**Gemas**

Uma gema é um mineral, uma rocha ou mesmo um material petrificado que, após processos de lapidação ou polimento, é usado como joia, adorno pessoal. Algumas pedras preciosas são muito valiosas e bonitas, e podem atingir valores extremamente altos, tais como os diamantes. O valor é atribuído em função da perfeição e da beleza.

cascalho, brita, enxofre, fluorita, sais, pirita, cromita, fosfatos, potássio, nitrato, calcário, argila, gipsita, argilas, feldspato, sílica, magnetita, diamante, granada, quartzito, carbonatos, titânio, rubi, turmalina e outros.



### **A nomenclatura dos minerais**

A Associação Mineralógica Internacional criou, em 1959, a Comissão de Novos Minerais e Novos Nomes de Minerais. Ficou determinado que, no Brasil, os nomes de novos minerais devem ter a terminação “ita”. A regra só não é válida para minerais já consagrados e conhecidos há bastante tempo.

O nome do mineral deve seguir as seguintes recomendações:

- a) indicar a localização em que foi descoberto;
- b) indicar uma de suas propriedades físicas;
- c) indicar a presença de um elemento químico predominante;
- d) fazer homenagem a uma pessoa importante.

## **Aproveitamento econômico**

Se você olhar ao seu redor, verá uma infinidade de objetos, equipamentos, móveis, aparelhos, utensílios, produzidos a partir de bens minerais, pois eles têm enorme utilidade como matéria-prima. Popularmente, não se faz distinção entre mineral e minério. Quando um mineral apresenta valor econômico, ele passa a ser chamado de minério e sua extração tem como objetivo o lucro. Por exemplo, a hematita é um mineral cuja composição química é  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mas quando possui aproveitamento econômico, passa a ser denominada de minério de ferro.

Desde os tempos mais remotos, a humanidade faz uso dos minerais para confeccionar instrumentos rudimentares, que eram usados na caça e em combates. Desta época até os dias atuais, a quantidade e variedade de minerais utilizados cresceu enormemente, evidenciando que sem os recursos minerais não teríamos chegado ao nível de desenvolvimento tecnológico atual.

Perceba que as atividades industriais (metalurgia, química, elétrica, construção civil etc.) usam e transformam bens minerais para a produção de manufaturados. Além disso, ao analisar o crescimento da população mundial, deparamo-nos com mais um fator de estímulo à exploração mineral.

A qualidade de vida dos seres humanos também está assentada sobre o uso desses recursos, sejam eles metálicos ou não metálicos, combustíveis fósseis ou pedras preciosas. A demanda e a pressão por bens minerais são tamanhas que o seu uso racional já se tornou uma preocupação e entrou na pauta de estudos governamentais. Isso se fez necessário devido ao grande volume de bens minerais que vem sendo extraído da natureza, podendo levar a uma situação de escassez.

A conservação dos recursos minerais entrou definitivamente nos debates sobre o desenvolvimento sustentável, que prega o uso mais racional dos recursos terrestres, visando garantir às gerações futuras as mesmas condições que temos atualmente. Substituir os metais menos abundantes por aqueles disponíveis em maior volume e adotar técnicas de reciclagem de metais a partir da manufatura, são ações que contribuem para a conservação e manutenção dos minerais.



### **Mineração**

Mas afinal, o que é mineração? A palavra mineração deriva do latim *mineralis*.

Historicamente, durante as batalhas se cavava fossos em torno das fortalezas, com a finalidade de fazê-las ruir. A partir daí, adotou-se a palavra “mina”, para designar explosivos militares. Teve origem então a palavra mineração, já que as escavações das minas fazem-se frequentemente com o uso de explosivos. Na definição da ONU (Organização das Nações Unidas), define-se mineração como sendo a extração, a elaboração e o beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural sólido, líquido e gasoso. Inclui ainda a exploração das minas subterrâneas e de superfície (a céu aberto), as pedreiras e os poços, além de abranger todas as atividades complementares para preparar e beneficiar minérios em geral, na condição de torná-los comercializáveis, sem provocar alteração, em caráter irreversível, na sua condição primária.

Como você deve imaginar, a mineração é uma atividade cara e bastante complexa, que tem início com a pesquisa de reservas minerais, como vimos na Aula 1. A realização de estudos e mapeamentos geológicos regionais, seguidos por estudos mais detalhados na área selecionada, é o que vai definir a possibilidade do aproveitamento e se as reservas minerais constituir-se-ão em jazidas. Quando é confirmada a existência de uma jazida mineral, passa-se a realizar a pesquisa mineral. Nesta fase, faz-se uso de vários trabalhos e técnicas, como: sondagens, poços de pesquisa, trincheiras, entre outros, assim como a eventual aplicação de

métodos de prospecção geofísicos e/ou geoquímicos. Todo esse trabalho visa confirmar, com um nível razoável de segurança, a existência da jazida, seu condicionamento geológico, ou seja, extensão, comportamento estrutural, teores do minério e, sobretudo, calcular as reservas do minério em foco e sua economicidade. Somente após a qualificação e quantificação do minério, e feita a determinação do seu uso econômico, é que tem início a extração mineral ou a mineração propriamente dita, que resumidamente significa extração e beneficiamento do minério.

Quanto ao método de lavra, que é a forma como será extraído o minério, as minas podem ser subterrâneas ou a céu aberto (**Figura 2.5**).



Antonio S. da Silva

**Figura 2.5:** Mineração de cobre no Chile. A mineração a céu aberto é uma das formas de extração de minérios mais comum. O solo e as rochas são escavados e o minério é extraído. Após a extração, o produto é beneficiado e passa a ser utilizado nas atividades humanas.

A escolha por uma ou outra depende da localização e da forma do depósito mineral, optando-se pelo método mais seguro e econômico. Entre os materiais extraídos a céu aberto, os principais são argila, carvão, coque, granito, gralva, gesso, calcário,

mármore, cobre, ferro, areia, cascalho e arenito. Entre os minerais extraídos sob a forma de minas subterrâneas, temos carvão, ouro, pedras preciosas ou gemas, entre outros.



Antonio S. da Silva

**Figura 2.6:** Mineração de rochas ornamentais em Santo Antônio de Pádua. Neste caso, não é um mineral que está sendo extraído, mas uma rocha que é utilizada como revestimento de paredes e piso.

O geólogo é mais um dos profissionais que atuam na pesquisa e exploração mineral. Entretanto, cabe à engenharia de minas estabelecer as formas mais adequadas para a extração e o aproveitamento de recursos minerais, como visto na Aula 1.

Caso a exploração seja viável, o engenheiro irá elaborar e executar o projeto de extração, escolhendo os equipamentos adequados e determinando os recursos humanos e materiais necessários ao trabalho. De acordo com a legislação ambiental, compete a esse profissional minimizar o impacto da extração sobre o meio ambiente.

Como vimos no início desta aula, os insumos minerais estão na base de toda cadeia produtiva. Até mesmo na agricultura encontramos minerais. Os nutrientes utilizados para o crescimento

dos vegetais têm origem em rochas. O calcário é utilizado como o corretivo do pH do solo. O fósforo, potássio, magnésio, cálcio e vários outros micronutrientes também têm origem em rochas e somente são utilizados a partir da mineração.

De forma simplificada, a seguir apresentamos alguns exemplos de minerais importantes, relacionados com suas formas de utilização (**Tabela 2.4**).

**Tabela 2.4:** Aplicações dos minerais nas atividades econômicas

<b>Mineral</b>	<b>Utilização</b>
Ferro, magnetita, siderita, limonita, itabirita, hematita	Siderurgia, construção civil e ferramentas
Manganês e pirolusita	Siderurgia, fabricação de pilhas, vidros e trilhos
Alumínio e bauxita	Aeronáutica e indústria automobilística
Cobre, calcopirita, malaquita e cuprita	Cabos e fios
Chumbo e galena	Tubulações, baterias, placas, isolantes de radiação e munição
Estanho e cassiterita	Liga para aço, latas e folha-de-flandres
Níquel, pentlandita e guarnierita	Liga para aço e niquelação

## As rochas ornamentais

A mineração de rochas ornamentais é uma atividade que processa recursos minerais com baixo grau tecnológico. As rochas ornamentais e de revestimento, também chamadas pedras naturais, rochas lapídeas e rochas dimensionais, sob o ponto de vista comercial, são basicamente classificadas em mármore e granitos. Estas duas categorias respondem por 90% da produção mundial. Os demais tipos são as ardósias, quartzitos, pedras-sabão, serpentinitos, basaltos e conglomerados naturais.

O Brasil é um dos grandes produtores e exportadores de rochas ornamentais. No entanto, grande parte do material exportado é composta por pedras brutas, ou seja, sem beneficiamento. Muito esforço tem sido empregado para que as rochas sejam exportadas já na forma de chapas, o que agrega um grande valor ao produto.

A exploração de rochas ornamentais está diretamente relacionada aos processos de cristalização e consolidação de rochas, que propicia materiais de rara beleza e por isso com valor elevado.

A terminologia utilizada na comercialização destes produtos é diferente da terminologia científica. Boa parte das rochas ornamentais é denominada popularmente como granito, englobando de fato a rocha ígnea e diversas outras rochas metamórficas. Por sua vez, a denominação mármore engloba as rochas metamórficas propriamente ditas, rochas de origem carbonática e calcários.

O mercado de rochas ornamentais é fortemente influenciado pela moda e pelo mercado externo. Na maioria das vezes, o preço de uma determinada rocha é estabelecido pela aceitação dos clientes, e não pela resistência mecânica ou outras características da rocha. Normalmente, rochas de cores muito intensas, tais como o granito Azul Bahia, que contém solalita e constitui-se na rocha brasileira com maior valor de mercado. Rochas de coloração clara ou mesmo com tendência para a cor bege também têm boa aceitação. Rochas de coloração cinza ocorrem com mais frequência na natureza e, por isso, possuem valor mais baixo.

## **CONCLUSÃO**

Ao observarmos amostras de minerais, percebemos que estes apresentam características físicas que permitem sua distinção. A extração de substâncias minerais ocorre em larga escala, em todo o mundo. A apatita, por exemplo, é um mineral que é rico

em potássio e, por isso, fundamental na produção de fertilizantes fosfatados. Assim, podemos dizer que até mesmo a agricultura é influenciada pela extração mineral. Parte dos fertilizantes, utilizados para corrigir o pH e a fertilidade dos solos, depende diretamente da extração mineral.

## Atividade Final

---

### Atende aos Objetivos 1 e 2

A calcita é um mineral que tem como fórmula química  $\text{CaCO}_3$ , clivagem romboédrica perfeita, é mais estável e menos solúvel em água que a aragonita. Qual é o principal elemento químico presente na calcita? Quais são as aplicações deste mineral?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Resposta Comentada

A calcita é um carbonato de cálcio. Sendo assim, o principal elemento presente neste mineral é o cálcio. As aplicações deste mineral são diversas e podemos relacionar algumas delas:

- (1) a calcita forma parte das estalactites presentes nas cavernas calcárias, sendo uma das principais atrações turísticas nestes ambientes;
  - (2) o cálcio presente na calcita é utilizado como corretivo do pH do solo;
  - (3) a rocha calcária é utilizada na fabricação de cimento nas indústrias e como cal nas argamassas.
-

## RESUMO

Como você pode ter percebido durante esta aula, os minerais formam-se em condições naturais e são os constituintes das rochas. Os minerais são utilizados em diversas atividades e artefatos confeccionados pelos seres humanos. Em todos os espaços das nossas residências, existe alguma coisa feita a partir dos minerais. A ciência que estuda os minerais chama-se Mineralogia e classifica-os de acordo com características físicas, químicas e ópticas. As principais características físicas são estrutura, clivagem e dureza. As principais características químicas são transparência, geminação, traço e condutividade elétrica. Finalmente, as propriedades ou características ópticas são brilho e cor.

## Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, veremos que os minerais formam as rochas, que podem ser de três tipos: ígneas, metamórficas e sedimentares. Veremos, detalhadamente, os processos de formação e as características das rochas.



# Aula 3

## Rochas

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar os três tipos de rochas, seus processos de formação, características físicas e químicas e os ambientes onde elas se formam.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. diferenciar rochas ígneas, metamórficas e sedimentares;
2. relacionar as rochas à dinâmica do planeta.



Por definição, rochas são agregados naturais de um ou mais minerais, em que os grãos ou cristais estão bem unidos, resultando em rochas duras ou brandas de acordo com seu processo de formação. Essa agregação de minerais obedece a leis físicas, químicas ou físico-químicas.



Antonio S. da Silva

**Figura 3.2:** Aspecto externo de um gnaíse, em que se pode observar a orientação dos minerais mais escuros (biotita) e mais claros (quartzo e feldspato).

Externamente, o aspecto geral de uma rocha é chamado de estrutura, que pode ser maciço, com cavidades, orientado etc. Observações mais detalhadas indicam sua textura, através do tamanho e do relacionamento entre os cristais ou grãos que a constituem.

No estudo das rochas, é importantíssimo determinar os minerais que a compõem (vide Aula 2). Os minerais sempre presentes e mais abundantes em uma rocha são chamados de essenciais, sendo a proporção entre eles fator determinante na definição do nome da rocha. Geralmente encontramos dois ou três minerais essenciais em uma rocha, no entanto um mesmo tipo de rocha pode apresentar variações nas suas quantidades, ora predominando um ou

outro mineral. Os minerais essenciais mais comuns nas rochas são: feldspato, quartzo, anfibólio-piroxênio, olivina, muscovita, biotita e nefelina. Os demais minerais são chamados de acessórios.

Quando a rocha possui agregação mineralógica de espécie única, é considerada monominerálica (como o calcário, o quartzito e o mármore). Quando as espécies são diferentes, a rocha é denominada pluriminerálica (como o gnaisse, o gabro e o granito). Com relação às proporções aproximadas dos minerais presentes em uma rocha, ela pode ser classificada como:

- leucocrática (quando é rica em minerais claros, como o feldspato e o quartzo);
- melanocrática (quando há o predomínio de minerais escuros, como a biotita); e
- mesocrática (rocha intermediária, girando em torno de 30 a 60% de minerais escuros).

O estudo das características macroscópicas, microscópicas, mineralógicas e químicas das rochas permite classificá-las segundo estes aspectos. As rochas estão distribuídas pela crosta continental (terras emersas – os continentes) e pela crosta oceânica (assoalho oceânico – fundo do mar), sendo 95% do volume da crosta continental formados por rochas magmáticas e metamórficas, e 5% por rochas sedimentares.

Porém, como as rochas sedimentares são formadas a partir da alteração química de outras rochas, normalmente ficam expostas superficialmente, como o exemplo das rochas do Grand Canyon (**Figura 3.3**):



**Figura 3.3:** As rochas que formam o Grand Canyon, formadas há alguns milhões de anos, foram cortadas pelo rio Colorado, que expôs cerca de 2 bilhões de anos da história do planeta Terra.



---

### Atende aos Objetivos 1 e 2

1. Sabendo que o processo de formação das rochas está diretamente relacionado com a própria formação da Terra, mostre as diferenças existentes na composição mineralógica das rochas segundo o seu processo de formação.

---

---

---

---

---

## *Resposta Comentada*

As leis químicas e físicas que se aplicam sobre a formação de uma rocha são determinantes na agregação dos minerais que a compõem. Assim, é possível a formação de rochas de um mesmo tipo com grande variação na quantidade e predomínio de um dado mineral. O mineral mais abundante em rocha é considerado essencial, e os demais são chamados de acessórios.

---

### **Tipos de rocha**

As rochas são divididas em três grupos: ígneas ou magmáticas, metamórficas e sedimentares. As rochas formadas a partir do esfriamento e da consolidação do magma são denominadas ígneas ou magmáticas. Aquelas que se formam a partir da transformação de rochas preexistentes são denominadas metamórficas. E aquelas que se formam a partir da consolidação de sedimentos são chamadas de sedimentares.

Dependendo da composição e concentração mineralógica, as rochas podem se transformar em jazidas minerais. As rochas ígneas, por exemplo, podem conter reservas de ouro, platina, cobre e outros.

Podemos mesmo afirmar que os processos que resultam na consolidação dessas rochas são os responsáveis por trazer parte dos recursos minerais que utilizamos no nosso dia a dia à superfície.

As rochas sedimentares guardam parte da história da vida do planeta. Este grupo de rochas pode apresentar fósseis, que são vestígios e restos dos diversos organismos que viveram sobre a superfície da Terra. Além disso, é neste grupo de rochas que são gerados e armazenados os combustíveis fósseis (carvão, gás natural e petróleo).

As rochas metamórficas recebem este nome porque são o resultado da transformação de outras rochas. Muitas vezes o metamorfismo altera a organização dos minerais presentes, mas em alguns casos o processo é tão intenso que até mesmo as

características químicas da rocha preexistente são alteradas. A formação dessas rochas somente é possível a partir do aumento da temperatura e pressão sob a superfície da Terra. Agora vamos estudar cada tipo de rocha separadamente.

## Rochas ígneas ou magmáticas

Antes de falar sobre estas rochas, quero fazer uma pergunta: Você sabe o que é magma?

Vamos ver a partir deste momento como se caracterizam estes materiais que dão origem às rochas ígneas ou magmáticas.

**Fusão** é um processo físico de transformação do estado da matéria, que passa de sólido para líquido.

Magma é o material em estado de **fusão** que existe abaixo da superfície terrestre e que pode vir à superfície, extravasando através das atividades vulcânicas. A palavra magma é de origem grega e significa massa ou pasta. Para a Geologia, o magma é um material rochoso fundido, com predomínio de silicatos e óxidos, sua consistência é pastosa e apresenta mobilidade. Quando o magma chega à superfície, passa a ser chamado de lava, devido às modificações físicas e químicas que sofre durante o processo vulcânico. A parte líquida é composta pelo material rochoso que foi fundido; a porção sólida corresponde aos minerais já cristalizados, mais os fragmentos de rocha empurrados pela parte líquida; e a parte gasosa é formada por materiais voláteis (**Figura 3.4**).



**Figura 3.4:** Fotografia obtida a partir da Estação Espacial Internacional da erupção do vulcão Cleveland, com destaque para a coluna de material gasoso e poeira expelida durante a erupção.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MtCleveland\\_ISS013-E-24184.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:MtCleveland_ISS013-E-24184.jpg)

O magma se forma a partir da fusão parcial de rochas existentes na astenosfera, que está localizada logo abaixo da litosfera. A fusão desse material ocorre por aumento de temperatura, por diminuição da pressão sobre as rochas confinadas, por variações no teor de fluidos ou pela combinação desses fatores.

Após a formação do magma, ele irá deslocar-se na crosta em direção à superfície. Isso acontece porque sua densidade é menor do que a densidade das rochas sobrejacentes. A velocidade do seu deslocamento em direção à superfície é variável e depende da viscosidade, constituição e estrutura das rochas que o magma terá que atravessar. Esse magma ascende à superfície através das **falhas** e **fraturas** existentes, mas quando elas não se fazem presentes formam-se verdadeiros bolsões de magma (quilômetros cúbicos) que se deslocam entre as rochas sobrejacentes. Quando um volume grande de magma estaciona a determinadas profundidades, formam-se as câmaras magmáticas, e são essas que fornecem material para as manifestações vulcânicas na superfície por períodos longos (dezenas de milhares de anos).



### **Falhas e fraturas**

Falhas são resultantes de deformações rúpteis nas rochas existentes na crosta terrestre. Trata-se de superfícies descontínuas com deslocamento diferencial de poucos centímetros a dezenas e centenas de quilômetros que aparecem como superfícies discretas de pequena expressão. Basicamente, as falhas surgem mediante o deslocamento ao longo da superfície. Caso o movimento seja perpendicular à superfície, a estrutura é denominada fratura.

A temperatura do magma, bem como sua viscosidade, está relacionada com sua composição química. Podemos classificar inicialmente os magmas em ácidos e básicos. Os magmas básicos possuem temperaturas que oscilam entre 1.000 e 1.200°C e viscosidade baixa. Os magmas ácidos ou graníticos são mais viscosos e apresentam temperaturas mais baixas, oscilando entre 700 e 800°C.

A composição do magma depende não somente do tipo de rocha da área fonte, mas também da profundidade em que ocorre a fusão. Os magmas básicos são formados por minerais ferro-magnesianos (olivinas e piroxênios) e vão constituir principalmente a crosta oceânica. Os magmas ácidos ou graníticos são formados a partir da fusão de rochas nas partes mais baixas da crosta continental e enriquecidos por sílica. Os magmas andesíticos são gerados a partir da fusão da crosta oceânica.

Agora que você já viu as características dos magmas, vamos conhecer as rochas formadas a partir da sua solidificação. Caso você ainda tenha dúvidas, volte às páginas anteriores e reveja os principais conceitos.

A denominação magmática deriva da palavra *magma*. Mas por que também são chamadas de rochas ígneas? Este termo é originado do latim *ignis*, que significa aquilo que tem origem no calor. As rochas ígneas ou magmáticas são originadas a partir de materiais com temperaturas elevadas que sofreram resfriamento lento ou de forma brusca.

A consolidação do magma pode ocorrer no interior da crosta, a quilômetros de profundidade, dando origem às rochas magmáticas intrusivas, também chamadas de plutônicas. Mas também pode se consolidar no exterior da crosta, dando origem às rochas magmáticas extrusivas ou vulcânicas (**Figuras 3.5 e 3.6**). Observe que os fenômenos magmáticos são os responsáveis pela evolução, resfriamento e consolidação do magma.



**Figura 3.5:** Fluxo de lava na ilha do Havaí. Ao chegar à superfície com temperaturas elevadíssimas (normalmente entre  $650^{\circ}$  e  $1.200^{\circ}$ ), o magma, agora denominado lava, solidifica-se formando as rochas extrusivas.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Pahoehoe\\_toe.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Pahoehoe_toe.jpg)



Eliane Guedes

**Figura 3.6:** Derrame de lavas básicas na ilha do Haváí. Note que a cor é escura e que não é possível se observar minerais. O rápido resfriamento da lava não permite o crescimento dos minerais. O aspecto retorcido da rocha também deve-se ao rápido resfriamento da lava.

Como era de se esperar, devido à grande variedade de ambientes e condições de formação, além das diferentes composições químicas dos magmas, as rochas ígneas apresentam uma ampla variedade de características.

As rochas magmáticas são também denominadas rochas de origem primária, pois resultam do resfriamento do magma. Quando ocorre o resfriamento do magma no interior da crosta terrestre, o que pode acontecer a quilômetros de profundidade, formam-se rochas intrusivas (também chamadas de plutônicas ou abissais). Como esse resfriamento ocorre lentamente, os minerais têm um tempo maior para crescer e se cristalizar, ficando facilmente visíveis.

Quando o magma se cristaliza a profundidades superiores a 2 km, essa rocha é classificada como abissal, e quando a cristalização ocorre em ambientes mais rasos as rochas são hipabissais. Com relação à forma, as rochas intrusivas podem ser alongadas, tabulares, circulares ou completamente irregulares. O granito é a rocha intrusiva mais abundante na crosta continental. No estado do Rio de Janeiro, está presente na serra do Mar e na serra da Mantiqueira (**Figura 3.7**).



Antonio S. da Silva

**Figura 3.7:** Vista parcial da serra do Mar no estado do Rio de Janeiro. A superfície mais elevada ao fundo corresponde a afloramentos de rochas mais resistentes ao intemperismo resultantes da intrusão de corpo magmático denominado localmente Batólito Serra dos Órgãos.



A palavra *batólito* vem do grego *bathos* = profundidade + *lithos* = rocha. É uma grande massa de rocha ígnea intrusiva, com área superior a 100 km<sup>2</sup>, formada pelo resfriamento de magma a grande profundidade na crosta terrestre.

Na cidade do Rio de Janeiro é muito comum a presença de rochas do tipo gnaisse, como as que formam o morro do Pão de Açúcar. Essa rocha é de origem ígnea, formada pelo metamorfismo de um batólito de granito, há cerca de 600 milhões de anos.

Quando o magma é extravasado e atinge a superfície do planeta, a rocha é chamada de extrusiva ou efusiva ou ainda vulcânica. Como esse magma passa do estado líquido para o estado sólido de forma brusca, não há tempo suficiente para o crescimento dos minerais durante a sua cristalização. Assim as rochas formadas apresentam como características principais minerais de tamanho

A **textura porfírica** é encontrada facilmente nas rochas ígneas e consiste na presença de cristais de grandes dimensões e de forma bem definida (denominados fenocristais) inseridos em uma matriz mais fina.

pequeno, cores escuras e muitas vezes textura vítrea. Se houver tempo para o início da cristalização dos minerais enquanto o magma é arrastado pela superfície, forma-se uma **textura porfírica**; neste caso, notam-se cristais bem formados em meio a uma massa de granulação fina (massa vítrea). Também pode ser formada uma textura vesicular (como uma esponja), caso a lava libere gases em forma de bolhas. O basalto é o exemplo de rocha vulcânica mais abundante (**Figura 3.8**). Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os ambientes onde existe a maior ocorrência desta rocha no Brasil.



**Figura 3.8:** Basalto com estrutura colunar no parque norte-americano de Yellowstone. Esta rocha se forma a partir do derrame de lavas básicas. Ao se solidificar, a rocha apresenta colunar e se fragmentam blocos de diferentes tamanhos. Devido à rápida solidificação, esta rocha não apresenta cristais visíveis a olho nu.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Columnar\\_basalt\\_at\\_Sheepeater\\_Cliff\\_in\\_Yellowstone-closeup-750px.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Columnar_basalt_at_Sheepeater_Cliff_in_Yellowstone-closeup-750px.jpg)



Você sabia que nossas calçadas estão repletas de basalto? Os tradicionais desenhos mais conhecidos como de pedras portuguesas no calçadão de Copacabana, e em outros bairros da cidade do Rio de Janeiro, são formados por calcário (pedra branca) e basalto (pedra preta).



**Figura 3.9:** Calçamento tradicional do Rio de Janeiro, influência da cultura portuguesa, formado por calcário (pedra branca) e basalto (pedra preta).  
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:CopacabanaPavement.jpg>

Podemos concluir que, de modo geral, rochas extrusivas possuem uma granulação mais fina, justamente porque seu resfriamento é mais rápido, enquanto as rochas intrusivas têm granulação maior porque seu tempo de resfriamento é mais lento. A granulação das rochas magmáticas é bastante variável, os minerais podem ter decímetros de tamanho ou até milímetros. Mas não esqueça, o tamanho dos cristais depende da velocidade de cristalização, que depende da velocidade do seu resfriamento e também da viscosidade do magma.

A viscosidade está relacionada com os gases e/ou outros elementos voláteis, além da composição química do magma. Um magma rico em gases e **elementos voláteis** fica mais fluido, logo, tem maior mobilidade, e isso permite o desenvolvimento de cristais de grande porte, com alguns chegando a alguns metros (pegmatito).

O magma que extravasa na superfície, ao entrar em contato com o ar e com o solo, resfria mais depressa que aquele que solidifica no interior da crosta. Por isso, os minerais que formam as rochas vulcânicas aparecem em cristais numerosos, mas muito pequenos, sendo dificilmente percebidos a olho nu, pois não tiveram tempo de se desenvolver bem. Um basalto, por exemplo, é formado por piroxênio e plagioclásio, mas somente se consegue distinguir esses minerais com auxílio do microscópio. Essas rochas são classificadas como afaníticas.

Para entendermos como as rochas são classificadas, primeiro temos que conhecer o teor de  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silício), pois ele determina, a partir da composição química, a classificação de uma rocha magmática. Esse teor pode ser determinado diretamente por métodos químicos, ou indiretamente a partir da identificação visual de minerais contendo  $\text{SiO}_2$ . Quando a rocha possui mais de 65% de  $\text{SiO}_2$ , é considerada ácida, entre 65% e 52% é neutra e abaixo de 52% é básica. Mas atenção: essa classificação não tem nada a ver com o **potencial de hidrogênio (pH)**, que indica a acidez do solo.

### **Elementos voláteis**

Em Química e Física, o termo volatilidade se refere a uma grandeza que está relacionada com a facilidade da substância de passar do estado líquido ao estado de vapor ou gasoso.

### **Potencial de hidrogênio (pH)**

é o símbolo para a grandeza físico-química que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. Indica o poder (p) de concentração para o íon de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ).

Outros exemplos de rochas magmáticas são: sienito, diorito, gabro, peridotito, diabásio, tinguaito, riolito, obsidiana, traquito, andesito e basalto. A nomenclatura e classificação das rochas magmáticas leva em consideração a composição do magma que a originou, seu ambiente de formação e a história da consolidação de cada rocha. A nomenclatura segue critérios de padronização internacional, de acordo com a IUGS (União Internacional das Ciências Geológicas, do inglês International Union of Geological Sciences). Essa padronização é mais conhecida como Nomenclatura de Rochas Ígneas de Streckeisen, em homenagem ao geólogo suíço que a propôs.



Para saber mais sobre os minerais e ver fotos coloridas, visite o Museu Virtual Heinz Ebert, da Universidade Estadual Paulista – Unesp, no seguinte endereço <http://www.rc.unesp.br/museudpm/entrar.html>.

## Rochas metamórficas

As rochas metamórficas derivam das modificações físicas (mineralogia, estrutura e textura) de outra rocha preexistente em estado sólido. A palavra metamorfose significa transformação, por isso essas rochas recebem esse nome. Essa transformação pode ocorrer por aumento de pressão e/ou temperatura sem atingir o ponto de fusão dos minerais. Sendo assim, a composição mineralógica da rocha pode não mudar. O que muda, obrigatoriamente, é sua textura (**Figura 3.10**).



Antonio S. da Silva

**Figura 3.10:** Rochas metamórficas na cordilheira dos Andes. Esta região se caracteriza pelo intenso metamorfismo que produz rochas dobradas como as que vemos na foto. Estas dobras somente são formadas quando há aumento de temperatura e as rochas se tornam plásticas.

Antes de falarmos sobre as características destas rochas, vamos apresentar os diversos processos que resultarão nas rochas metamórficas. Qualquer rocha preexistente pode sofrer metamorfismo, seja ela ígnea, sedimentar ou mesmo metamórfica.

Os processos tectônicos modificam as condições físicas e químicas de onde estavam os protolitos, que buscarão novo equilíbrio através do metamorfismo. Porém, durante o metamorfismo algumas características dos protolitos são conservadas (características primárias). É justamente essa memória passada que permite a identificação da rocha de origem (protolito).



### **Protolito**

É o nome dado à rocha que deu origem à formação de uma nova rocha por processos geológicos variados.

Existe um controle na distribuição geográfica das rochas metamórficas no planeta. Os ambientes mais propícios para a ocorrência deste tipo de rocha são as áreas de margens de **placas convergentes**. Assim, a maior ocorrência de rochas metamórficas é onde se localizam as grandes cordilheiras montanhosas, tais como Andes, Himalaia, Montanhas Rochosas e Alpes, ou ainda nos arcos de ilhas, como a Indonésia ou o Japão.

As **placas convergentes** são aquelas que se movem umas em direção às outras e colidem. Veremos mais sobre as placas tectônicas na Aula 6.



### Arco de ilhas

É um conjunto de ilhas, na sua maior parte de origem vulcânica, que se distinguem num ou mais alinhamentos curvos com a convexidade em geral voltada para o mar alto.



**Figura 3.11:** As ilhas Aleutas formam um magnífico exemplo de arco de ilhas.

Outros ambientes onde se formam rochas metamórficas correspondem às áreas de construção de placas tectônicas, junto às **dorsais oceânicas** e nas porções centrais das placas tectônicas, ao redor de corpos ígneos intrusivos ou no assoalho das bacias sedimentares.

**Dorsais oceânicas**  
É o nome dado às grandes cadeias montanhosas submersas pelos oceanos. Estas montanhas são originadas pelo afastamento das placas tectônicas.

Conforme você deve ter notado, é impossível observarmos os processos metamórficos, tendo em vista que eles ocorrem no interior da crosta, e porque são muito lentos. Mas, se não conseguirmos observar as mudanças das rochas, sabemos quais são os fatores que propiciam tais mudanças.

a) Temperatura – as reações metamórficas ocorrem quando a temperatura é superior a 200°C e inferior a 600°C. Acima desta temperatura ocorre a fusão dos minerais, gerando magma, e a consolidação do magma forma rochas ígneas. Toda mudança de temperatura no ambiente geológico provoca reações químicas entre os minerais existentes em uma rocha. O calor do manto, do núcleo e aquele gerado por desintegração radioativa são as grandes fontes de calor da Terra, e todos eles possuem o poder de transformar rochas.

b) Pressão – a crosta sofre uma pressão litostática (o mesmo que confinante), que é parecida com a **pressão hidrostática**. A uma profundidade entre 35 e 40 km da crosta, a rocha confinada sofre pressão de 10.000 a 12.000 vezes superior à pressão atmosférica. Esta pressão sobre a crosta gera textura e estruturas orientadas, e, como consequência, minerais com estrutura em folhas, tais como as micas e cloritas.

c) Fluidos – os processos termodinâmicos sofrem interferência através da pressão de fluidos (H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>). A presença desses fluidos acelera as reações metamórficas porque facilitam a migração dos elementos. Na ausência desses **fluidos**, a migração dos elementos ocorre por difusão iônica em meio sólido, o que torna as reações metamórficas mais lentas.

d) Tempo – a velocidade de mudança das condições físicas das rochas é muito variável. Geralmente, as rochas registram as últimas condições metamórficas que produziram as modificações, ou seja, tudo o que foi alterado antes fica mascarado pelo último evento. Em geral, as rochas apresentam as condições de metamorfismo mais intensas a que estavam submetidas.

### **Pressão hidrostática**

pode ser entendida por meio de um corpo mergulhado em água, o qual receberá a mesma taxa de pressão por todos os lados, em que somente a profundidade provoca alteração de intensidade.

**Fluido** não é apenas líquido. Um gás também é um fluido. Por isso, o CO<sub>2</sub> também é um fluido. Pode-se afirmar que um fluido é uma substância que se deforma continuamente mesmo quando submetido a tensões extremamente baixas e por apresentarem a propriedade de fluir.

**Quadro 3.1:** Classificação simplificada de algumas rochas metamórficas e composição mineralógica, estrutura e granulação (modificado de Teixeira et al., 2009)

<b>Minerais predominantes</b>	<b>Minerais acessórios</b>	<b>Estruturas</b>	<b>Granulação</b>	<b>Nome genérico</b>
Muscovita (sericita) + clorita	Quartzo	Estratificada, foliada (clivagem ardoseana)	Muito fina	Ardósia
Muscovita (sericita) + clorita	Quartzo	Foliada, às vezes com estratificação	Muito fina	Filito
Muscovita + biotita, quartzo	Granada, estaurolita, cianita, silimanita etc.	Foliada (xistosa)	Fina a grossa	Micaxisto
Quartzo	Muscovita, biotita, granada	Maciça, foliada	Fina a grossa	Quartzito, quartzo, xisto
Feldspato, quartzo	Biotita, anfibólios, granada, piroxênio, cordierita	Foliada (foliação gnáissica) bandada	Fina a grossa	Gnaisse
Clorita, anfibólio, epidoto, albita	Carbonatos, quartzo	Foliada (xistosa)	Fina a média	Xisto verde
Carbonatos (calcita + dolomita)	Clorita, olivina, tremolita, diopsídio, talco, wollastonita	Bandada, maciça	Fina a grossa	Mármore

As principais rochas metamórficas são: o quartzito (derivada do arenito), o itabirito (uma variedade do quartzito), o mármore (derivado do calcário e do dolomito), a ardósia, o filito, o cloritaxisto, o micaxisto, o anfibolito, o gnaisse e o migmatito.



(quartzo). A água, ao percolar nas fraturas, promove a alteração química da biotita e do feldspato, transformando estes minerais em argila. Enquanto isso, o quartzo permanece sem sofrer alteração. São formadas, assim, camadas de material mais alterado intercaladas por camadas de materiais pouco alterados. Isso gera uma descontinuidade na dinâmica da água, criando condições para o confinamento desta água. Quando ocorrem precipitações extremas, o volume de água é tamanho que causa a desestabilização de tudo o que está acima. A água atua como um lubrificante entre as camadas, promovendo assim os escorregamentos.

---

## **Rochas sedimentares**

São aquelas formadas a partir do material erodido produzido pela ação erosiva que atinge as rochas. O intemperismo fornece partículas de materiais minerais e que são transportados, depositados, compactados e/ou cimentados em bacia sedimentar. Logo, as rochas sedimentares necessitam da existência de uma rocha anterior, que pode ser magmática, metamórfica e até mesmo sedimentar. Todo o sedimento transportado pela ação da água (rios, mares, geleiras) e do vento é depositado em camadas que cobrem a superfície terrestre. Essas camadas apresentam espessura variável e são facilmente identificadas.

A história de uma rocha sedimentar começa com a ação do intemperismo sobre outras rochas e prossegue com o transporte e deposição deste material nas bacias sedimentares. Porém, é necessária mais uma etapa que corresponde a litificação deste material, ou seja, transformação em rocha. Todo esse processo é denominado diagênese. A formação da nova rocha vai depender das condições de pressão, temperatura e química do ambiente sedimentar. O material sedimentado precisa se adaptar às novas condições de pressão, temperatura, força da água, pH e outros. Somente assim o material solto e inconsolidado ganha resistência mecânica, e só poderá ser quebrado com o auxílio de instrumentos, tais como um martelo ou uma marreta.

A diagênese começa no final da deposição e envolve todos os mecanismos de compactação, dissolução, cimentação e recristalização diagenética. Vejamos cada etapa separadamente:

1) Compactação: pode ser mecânica (muda o empacotamento intergranular e quebra ou deforma grãos individuais) ou química (resulta do efeito de dissolução de minerais sob pressão).

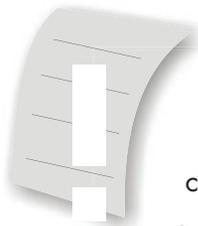
2) Dissolução: ela ocorre com ou sem os efeitos da pressão provocada pelo soterramento. Na ausência de pressão, a dissolução ocorre em função do efeito da **percolação** de soluções; cimentação: os cimentos fazem a agregação dos grãos de areia ou fragmentos de rocha; consiste na precipitação química de minerais e ocorre juntamente com o processo de dissolução. Os cimentos mais comuns são os silicosos (calcedônia e opala, por exemplo), carbonáticos (ex.: calcita e siderita), férricos e ferrosos (ex.: pirita, goethita, marcassita e hemetita) e aluminossilicáticos (argilominerais, tais como clorita, caulinita, illita e esmectita).

3) Recristalização diagenética: neste momento, ocorre modificação na mineralogia e na textura por ação de soluções intersticiais, (o mesmo que interno) em condições de soterramento.

De modo geral, as rochas sedimentares possuem menor resistência mecânica (são menos resistentes a impactos) que as rochas magmáticas e metamórficas, porque se formam em condições de temperatura e pressão inferiores. São classificadas de acordo com o tamanho e origem das partículas. Pode ser: química, quando formada por material oriundo de dissolução e posterior recristalização; ou clástica, quando formada por partículas (clastos) preexistentes, unidas pelo processo de litificação (combinação de compactação e sedimentação). As rochas clásticas são subdivididas seguindo o diâmetro das partículas e são subdivididas em macroclásticos e microclásticos. Adota-se uma classificação granulométrica da ordem do maior para o menor: matacão, bloco, seixo, grânulo, areia grossa, areia fina, silte e argila.

### **Percolação**

é a migração de fluidos ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $F_2$ , ..) na forma de um fluxo laminar através de pequenas fraturas, fissuras, clivagens e/ou poros de material sólido (minerais, rochas, sedimentos e solos).



Diâmetro dos clastos – Uma rocha, ao ser fragmentada, gera partes menores que são classificadas segundo o seu tamanho. O quadro a seguir mostra o diâmetro do fragmento e o nome recebido.

<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>
Matacão	> 256
Bloco	256 – 64
Seixo	64 – 4,0
Grânulo	4,0 – 2,0
Areia muito grossa	2,0 – 1,0
Areia grossa	1,0 – 0,50
Areia média	0,50 – 0,250
Areia fina	0,250 – 0,125
Areia muito fina	0,125 – 0,062
Silte	0,062 – 0,002
Argila	< 0,002

Esses fragmentos podem entrar na composição de rochas sedimentares. Como você pode observar em função dos diâmetros dos clastos, teremos diferentes rochas sedimentares.

Os principais locais para a deposição de sedimentos são os oceanos, os lagos, os desertos, os rios e as geleiras (**Figura 3.12**).



Antonio S. da Silva

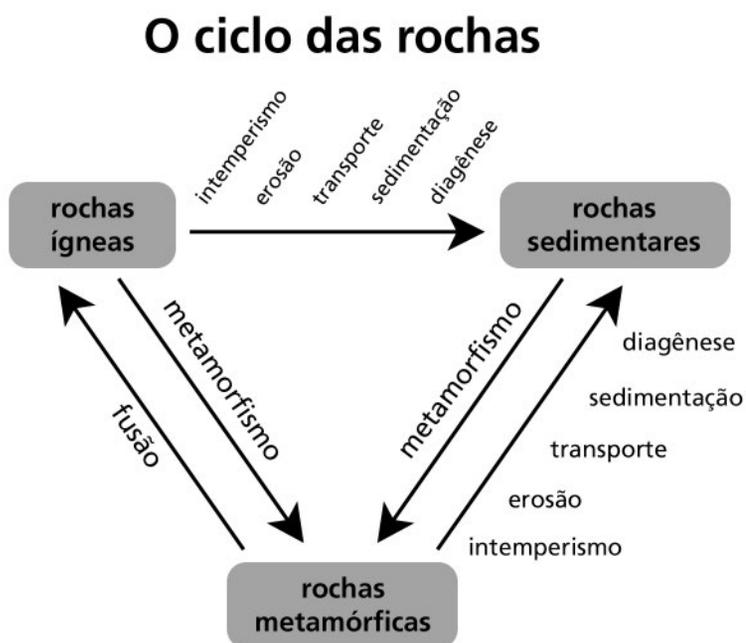
**Figura 3.12:** Depósito de geleira com grande heterogeneidade aos pés do Cerro Tronador (Bariloche, Argentina). A litificação deste material originará uma rocha sedimentar clástica, em que os clastos apresentarão granulometria variada, desde matacões até argilas.

## O ciclo das rochas

Agora que você já viu cada tipo de rocha, é importante lembrar que elas não são permanentes, sofrem constantes mudanças e podem passar de um tipo a outro. De acordo com a dinâmica geológica da crosta terrestre, essa transformação natural constitui o ciclo das rochas. Toda rocha exposta sofre ação do intemperismo físico e químico. Esse processo faz com que a crosta do planeta esteja em constante transformação e evolução, na qual os três tipos de rochas interagem constantemente.

Por exemplo, o processo de formação das rochas sedimentares ocorre sobre rochas magmáticas, metamórficas e outras sedimentares expostas na superfície, quando sofrem a

ação do intemperismo. Da mesma forma, mudanças de pressão e temperatura sobre rochas magmáticas e sedimentares provocam transformações mineralógicas e texturais dando origem a novas rochas metamórficas. Sendo este metamorfismo muito intenso, as rochas irão se fundir gerando magmas que produzirão novas rochas ígneas. Esses processos descritos podem ser observados na **Figura 3.13**:



**Figura 3.13:** Reprodução esquemática do ciclo das rochas.

Como pode ser observado na figura anterior, o ciclo das rochas é muito importante, pois permite que os materiais litificados (rochas) se transformem em solos, e a partir dos solos podemos cultivar plantas, extrair material para nossas casas, filtrar a água da chuva e vários outros usos.



---

### Atende aos Objetivos 1 e 2

3. Com o passar do tempo, o ciclo das rochas age fazendo com que elas sofram uma sequência de mudanças e assim passam de um tipo a outro. Um dos fatores de maior influência sobre o ciclo das rochas é o intemperismo. Explique esta afirmativa.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

Dá-se o nome de intemperismo ao conjunto de alterações físicas e químicas que as rochas sofrem quando ficam expostas na superfície da Terra. Logo, todas as rochas que afloram à superfície terrestre sofrem constante desagregação e decomposição; em seguida, ocorre o transporte dos fragmentos produzidos. Esses sedimentos, com o passar de muito tempo, poderão dar origem a novas rochas, do tipo sedimentar. Quando ocorre o intemperismo físico, a rocha sofre desagregação, ou seja, a separação de grãos e minerais que a compõem, seguida da fragmentação da massa rochosa original. Quando se trata do intemperismo químico, a água aparece como seu principal agente.

## CONCLUSÃO

A importância das rochas está no fato de que são materiais que, ao se litificarem, permitem que possamos estudar e inferir sobre processos e fenômenos que ocorrem a milhares de metros de profundidade, assim como utilizamos material construtivo e para várias outras aplicações. As rochas fazem parte de todo o processo de ciclagem do planeta. Quando se formam e chegam à superfície, possibilitam que novos materiais possam ser aproveitados e quando são consumidas no manto fazem com que os materiais já trabalhados na superfície possam ser enriquecidos e retornar à superfície após milhares ou mesmo milhões de anos.

### *Atividade Final*

---

#### **Atende aos Objetivos 1 e 2**

As rochas são fundamentais para a sociedade, desde o surgimento do homem até as civilizações modernas. Alguns dos aproveitamentos das rochas nos dias atuais são o revestimento de paredes e pisos, com as chamadas rochas ornamentais. Popularmente elas são chamadas de granitos, mas tecnicamente é um grupo maior de rochas, podendo ser gnaiesses, ardósias, quartzitos, mármore e outras. Observe que estamos nos referindo a rochas ígneas e metamórficas e raramente rochas sedimentares são aproveitadas como materiais de revestimento. Com base nessas informações, explique a partir do processo de formação das rochas o porquê de as rochas sedimentares não serem aproveitadas como rochas de revestimento.

---

---

---

---

---

---

---

## *Resposta Comentada*

Como dito anteriormente, as rochas sedimentares são rochas que possuem baixa resistência mecânica devido ao seu processo de formação, que está associado a simples litificação de clastos de diversas granulometrias. As rochas magmáticas e metamórficas passam por processos que permitem que estas rochas ganhem resistência mecânica. Caso as rochas sedimentares sejam utilizadas como materiais de revestimento, sofrerão um desgaste muito rápido, necessitando assim de manutenção e substituição das peças. No entanto, o processo de formação das rochas sedimentares propicia o enriquecimento com outros elementos químicos que ampliam as possibilidades de aproveitamento destas rochas, tais como na indústria cimenteira e como corretivo de solo, em que o calcário é transformado em cimento e corretivo para o pH do solo. Também podem ser utilizados na indústria de vidro, pois o quartzo dos arenitos é a principal matéria-prima para esta indústria. Os arenitos podem ser utilizados na confecção de calçamento de ruas e pátios, fazendo parte, junto com o calcário e basalto, do que conhecemos como pedra portuguesa. O arenito é a pedra de cor mais avermelhada, o calcário, de cor branca e o basalto, de cor preta.

---

## **RESUMO**

Nesta aula, você viu que existem três tipos de rochas: ígneas ou magmáticas, metamórficas e sedimentares. As rochas ígneas são formadas a partir da consolidação do magma no interior ou no exterior da crosta. As rochas metamórficas são formadas a partir das transformações devido ao aumento de temperatura e pressão sobre rochas preexistentes. As rochas sedimentares são formadas a partir da litificação de sedimentos produzidos a partir da alteração física e química de outras rochas. As rochas magmáticas apresentam características muito distintas. As rochas intrusivas são formadas a partir do resfriamento lento do magma, enquanto nas rochas extrusivas este resfriamento é muito rápido. Assim como os demais materiais que compõem o planeta, as rochas apresentam

um ciclo, denominado ciclo das rochas, que envolve a consolidação do magma, a alteração física e química das rochas produzidas e a transformação em sedimentos. Envolve também a consolidação destes sedimentos, formando rochas sedimentares e finalmente as transformações nas rochas duras e produzindo rochas metamórficas.

## **Informação sobre a próxima aula**

Continuando nosso caminho rumo ao aprendizado da Geologia, falaremos na próxima aula sobre os processos que resultarão na alteração física e química das rochas e na formação dos solos.



# Aula 4

## A decomposição de minerais e rochas: o intemperismo

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar os dois tipos de intemperismo e como esse processo é fundamental para a formação dos solos.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. descrever a atuação do intemperismo físico e intemperismo químico;
2. identificar os fatores de formação dos solos;
3. reconhecer os tipos de solos brasileiros.

## INTRODUÇÃO

Na aula anterior, você viu como ocorre a formação das rochas e ficou sabendo que quando esse material chega à superfície do planeta passa a sofrer influências e ações de agentes da dinâmica externa, tais como água (chuva), vento, calor e organismos vivos. Com o passar do tempo, a crosta terrestre sofre transformações resultantes da interação entre hidrosfera, atmosfera e biosfera, e o conjunto dessas transformações é chamado de intemperismo. Nesta aula, este será nosso objeto de estudo: o intemperismo e o seu produto resultante, o solo.

### O que é intemperismo?

Podemos definir o intemperismo como sendo o conjunto de processos que ocorrem na superfície terrestre e provocam a decomposição dos minerais (intemperismo químico) e a desagregação mecânica das rochas (intemperismo físico). A ação do intemperismo está intimamente relacionada com as diversas características climáticas, destacando-se: temperatura, umidade, regime de ventos, constância das chuvas, evaporação, insolação, entre outros.



#### O intemperismo e a vida

A alteração de minerais e rochas forma uma capa de rocha alterada que denominamos manto de intemperismo, também chamado de regolito (palavra derivada do grego *rhegos*, traduzida como manto ou cobertura). Assim, regolito significa manto que recobre as rochas.

Sem essa capa não haveria condições para a manutenção da vida de vários animais e de nós, seres humanos. Esses processos modificam as propriedades de rochas e minerais e criam condições para o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, dos demais organismos vivos, incluindo o ser humano.

O produto final do intemperismo é o solo, que é a camada da biosfera na qual está assentada a população humana e por onde desenvolvemos a maior parte das nossas ações.

Existem duas formas básicas de intemperismo: físico e químico. Alguns autores ainda incluem o intemperismo biológico, mas essa forma de intemperismo é também física ou química, entretanto, causada pelos seres vivos.

Os dois tipos de intemperismo sempre vão atuar em conjunto. Porém, dependendo do ambiente, ocorrerá maior ação do intemperismo físico ou do intemperismo químico.

## **Intemperismo físico**

Começamos pelo intemperismo físico, pois ele é o mais simples de ser explicado e compreendido. Intemperismo físico envolve a desagregação mecânica de rochas. Um fragmento ou um maciço rochoso, quando se separa ou se quebra, está sofrendo intemperismo físico, pois não há alteração química dos minerais. A rocha mantém a mesma composição química e mineralógica.

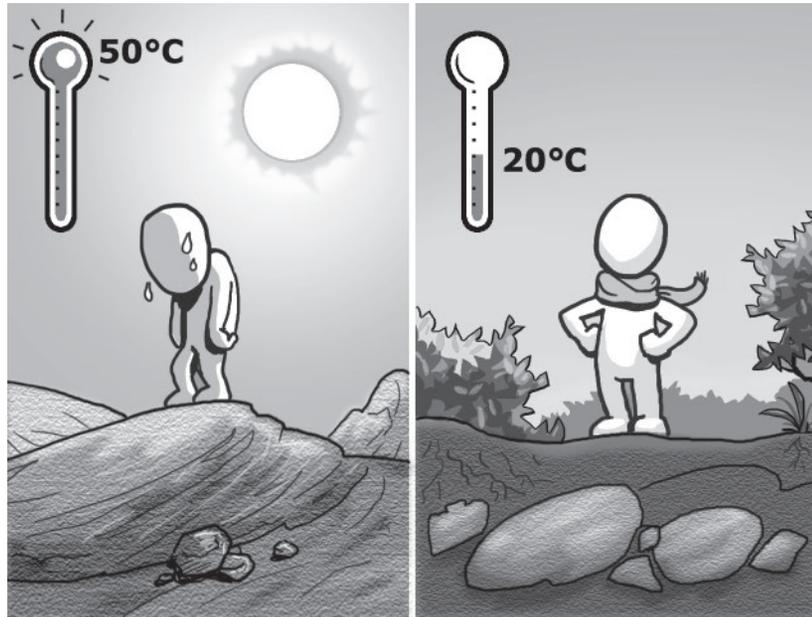
Esse tipo de intemperismo é provocado pelos seguintes agentes: variações de temperatura (quente e frio), cristalização de sais, congelamento da água e ação das raízes das plantas (intemperismo biológico).

Vamos relembrar alguns fatos do nosso cotidiano e ver como o intemperismo físico está mais próximo do que imaginamos. Você já fez uma fogueira próximo a uma pedra? Você já esqueceu uma garrafa de água dentro do congelador? Você já viu uma planta crescendo na parede de uma casa ou de uma construção mais antiga? Você já viu uma calçada quebrada pelas raízes de uma árvore? Como isso se relaciona com o intemperismo físico?

As respostas e as explicações são simples. Quando você faz uma fogueira, a temperatura do material rochoso se eleva. Com a mudança de temperatura, os corpos se dilatam e aumentam de volume. Com o calor, ocorre a expansão e, com o resfriamento, ocorre a contração térmica.

Na natureza, podemos encontrar os mesmos fenômenos nas rochas, no entanto em uma velocidade menor. Os minerais possuem diferentes coeficientes de dilatação térmica, e o contínuo aquecimento diurno seguido do resfriamento noturno (expansão e contração) fragmenta a rocha por conta da fadiga sofrida pelos minerais.

Esse fenômeno surge mais facilmente nos ambientes que possuem maior contraste térmico entre o dia e a noite, como nas regiões desérticas. Nessas áreas, a temperatura do ar atmosférico ultrapassa 40°C durante o dia e, durante a noite, pode cair para 0°C ou menos. Na região semiárida do Nordeste brasileiro, as rochas são aquecidas pela forte insolação e se resfriam bruscamente após a ocorrência de uma chuva repentina, favorecendo a ação do intemperismo físico.



A cristalização de sais é mais comum em climas áridos e semiáridos, onde os sais não são removidos pelas águas devido à baixa precipitação. No clima tropical, essa percepção não é tão simples, pois a manutenção dos sais depende de um clima com pouca ou quase nenhuma chuva.

### **Lixiviação**

é a remoção química de sais. A água da chuva dissolve os elementos químicos presentes nos minerais e os remove. O caminho final dos sais são os mares e oceanos.

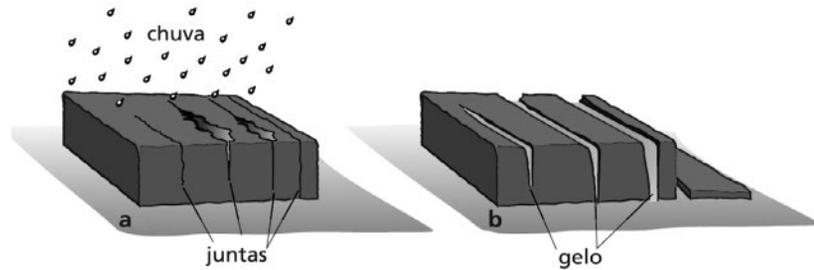
O processo normal é a remoção ou **lixiviação** dos sais. Uma vez dissolvidos, esses compostos seriam removidos completamente do meio. Mas nos climas com tendência à semiaridez e à aridez, os sais dissolvidos não são totalmente removidos, e a sua recristalização vem acompanhada do aumento de volume. Quando esse fenômeno ocorre nas fendas das rochas, há um crescimento das fraturas e acontece a fragmentação da rocha.



Nos ambientes áridos e semiáridos, devido à baixa precipitação, não há água suficiente para completar todo o processo de alteração química de minerais, que inclui também a remoção e o transporte dos sais até os mares e oceanos. Nesse ambiente, a pouca quantidade de

água que é precipitada promove a dissolução dos sais mais solúveis. Porém, esses sais voltam a se recristalizar logo depois. Após preencher as fraturas existentes nas rochas, a água enriquecida de sais evapora e, durante a recristalização, há aumento de volume dos novos cristais, gerando a consequente expansão das fraturas das rochas e provocando o intemperismo físico. Note que, quando falamos em sais, estamos nos referindo a sulfetos, cloretos, nitratos e carbonatos que ficam sobre a superfície após a evaporação da água.

O intemperismo causado pela solidificação da água ocorre nos ambientes onde as variações de temperatura ao longo do ano permitem o congelamento e descongelamento da água precipitada por meio de chuva e neve. Quando congelada, a água é capaz de expandir em 9% o seu volume (isso explica por que garrafas de vidro com água quebram no congelador doméstico). Nas regiões temperadas, as chuvas que caem durante o verão e mesmo no outono podem ser aprisionadas nas fendas das rochas. No início do inverno, com as temperaturas abaixo de zero, a água congela, aumentando a pressão nas paredes das rochas, provocando a expansão das fraturas (**Figura 4.1**). Esse fenômeno tem ação mais destrutiva, dependendo do número de fraturas e poros presentes nas rochas e do volume de água que irá ocupá-los. Entretanto, é de baixa ocorrência no Brasil, ficando restrito aos planaltos da região Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e, mesmo assim, nos poucos dias em que a temperatura fica abaixo de zero.



**Figura 4.1:** O congelamento da água nas fendas e fraturas acelera o intemperismo físico, devido à maior fragmentação de afloramentos de rocha.  
Fonte: Modificado de TOLEDO et al., 2008.

Da mesma forma que os sais e a água congelada, as raízes das plantas também contribuem para acelerar o intemperismo físico. Muito raramente, um afloramento rochoso é completamente ausente de microfraturas (**Figura 4.2**). As plantas aproveitam essas microfraturas para se fixar; porém, à medida que crescem, suas raízes aumentam as fraturas.

Além dos fatores associados a agentes externos, o intemperismo físico pode ocorrer quando corpos rochosos aprisionados ascendem à superfície. Por conta do alívio de pressão, a rocha se expande e sofre fraturas, chamadas de juntas de alívio (**Figura 4.2**).



Antonio S. da Silva

**Figura 4.2:** Plantas que utilizam as fraturas para fixar raízes contribuem para acelerar o intemperismo físico, pois ampliam as fraturas, facilitando a circulação da água. As fraturas de alívio de pressão, ou juntas de alívio, podem ser observadas na foto (veja a seta). Normalmente, são geradas paralelas à superfície, após a rocha resfriar. O alívio de carga acima da rocha causa descompressão e expansão, que acaba por produzir uma microfatura, como a assinalada pela seta.



---

### Atende ao Objetivo 1



Antonio S. da Silva



chuva é o seu principal agente, pois, quando precipitada, **percola** e atravessa solos e rochas fraturadas, ganhando tempo para reagir quimicamente com os minerais.

A superfície da Terra é um ambiente geoquímico completamente diferente daquele que permitiu a cristalização de minerais e a formação das rochas. A presença de água, oxigênio e outros gases provocam reações químicas que desequilibram os minerais expostos na superfície.

A água é considerada o **solvente** universal. Seu poder de dissolução está relacionado com suas características (principalmente pH, gases dissolvidos e temperatura) e a forma como as rochas resistirão à sua ação. A água torna-se mais ácida ao se combinar com o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera e nos poros dos solos (resultante da respiração dos animais e da decomposição da matéria orgânica). Assim, o pH é reduzido ainda mais e aumenta seu poder de dissolução, aumentando a taxa do intemperismo químico, principalmente nas áreas de clima tropical, devido à grande quantidade de chuva.

Pouquíssimos minerais resistem ao ataque químico da água e dos demais agentes. O quartzo é um dos minerais que se mantêm inalterados no clima tropical. A maioria dos demais minerais se decompõe com o passar do tempo, vai liberando os compostos mais solúveis e mantendo no meio os compostos mais estáveis. Agora, o que era rocha passa a ser chamado de solo, e os compostos mais estáveis são denominados **minerais secundários**, ou minerais de argila.



O solo é um corpo natural que resulta da ação conjunta de agentes externos, como o relevo, o clima, os organismos e o tempo, sobre uma rocha-mãe composta por minerais e enriquecida com matéria orgânica. É o tempo que determina a maturidade do processo de formação dos solos, classificados como jovens ou maduros. Porém, esse

### **Percolação**

é o movimento descendente de água através do perfil de solo ou de uma fratura de rocha.

### **Solvente**

é a substância que permite a dispersão de outra substância em seu meio. Em uma dissolução de água e sal de cozinha, a água é o solvente, porque dispersa o sal em seu meio. A água é um solvente inorgânico, polar, chamado frequentemente de “solvente universal”, pois é usado para dissolver muitas substâncias.

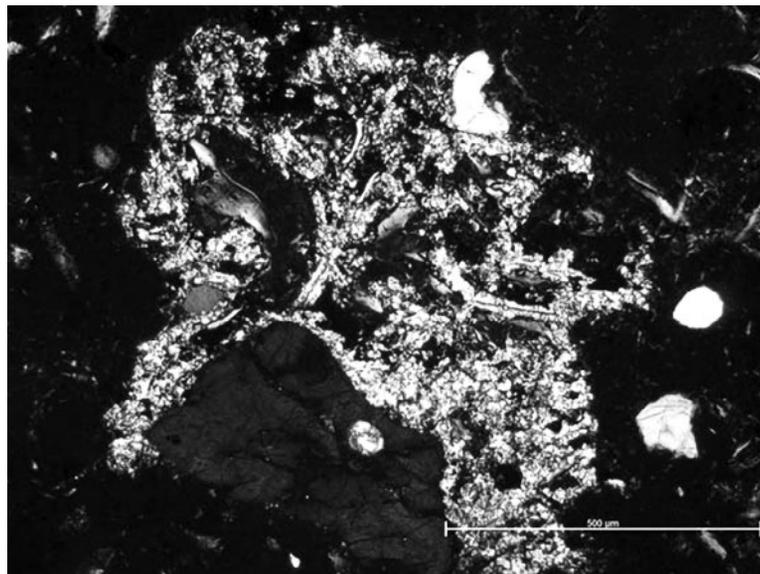
### **Minerais secundários**

são aqueles minerais oriundos da decomposição dos minerais que faziam parte da rocha. Esses produtos secundários podem ter sido decompostos e/ou recompostos depois da alteração química. Normalmente, são partículas de pequeno tamanho e possuem composição química diferenciada.

processo de formação do solo é lento, pode durar milhares ou milhões de anos, dependendo dos agentes intempéricos e erosivos que provocam a fragmentação das rochas.

A alteração química de um mineral pode ser dividida em três fases:

- a primeira delas corresponde ao início do ataque químico, quando apenas a superfície do mineral é atacada;
- a segunda ocorre pela decomposição total do mineral, porém ainda é mantida a textura original (**Figura 4.3**);
- e a terceira e última, quando há o desaparecimento total de sua textura.

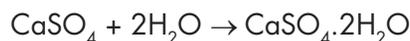


Antonio S. da Silva

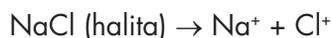
**Figura 4.3:** Fotografia obtida com auxílio de microscópio óptico de lâmina de solo, em que pode ser observado em branco e no centro da foto um feldspato parcialmente alterado, sendo denominado neste momento de gibsitita (mineral secundário). A estrutura e a textura do mineral são mantidas, mas já houve a remoção dos elementos mais solúveis e, portanto, não se pode mais chamá-lo de feldspato (mineral primário).

O intemperismo químico envolve algumas reações que veremos a seguir.

A primeira delas é a hidrólise. Essa reação ocorre pela quebra da ligação entre os **íons** dos minerais pela ação dos íons H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup> da água. Sempre haverá uma combinação ou reação química da água (H<sub>2</sub>O) com os minerais presentes nas rochas e nos solos. Nessas reações químicas, pode haver consumação total do mineral original ou pode haver um mineral secundário. A seguir, você pode observar como se dá a hidrólise da anidrita em gipso. Veja que não há remoção de nenhum dos elementos que compõem a anidrita.



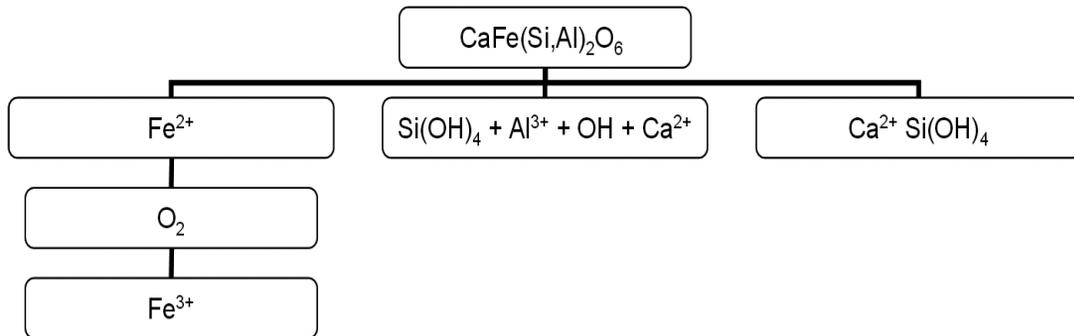
A segunda reação do intemperismo químico é a dissolução. Essa reação pode ser mais bem-exemplificada pela dissolução da halita (NaCl), ou sal de cozinha. Minerais com alta solubilidade são facilmente dissolvidos, dependendo, nesse caso, da quantidade de água que entra em contato com esses minerais. Minerais de baixa solubilidade não serão atacados por esse tipo de reação química, como o quartzo (SiO<sub>2</sub>).



O terceiro tipo de reação envolve o oxigênio do ar atmosférico, formando óxidos ou hidróxidos, quando a água está presente na reação. Essa reação afeta, principalmente, os minerais que contêm íons de ferro e manganês, o que deixa os solos tropicais com a coloração avermelhada. A oxidação ocorre inicialmente com a liberação do Fe<sup>+2</sup> pela hidrólise. Com a evaporação da água, o ar atmosférico passa a ocupar o espaço antes ocupado pela água. O ferro então se combina com o O<sub>2</sub>, passando do estado hidratado para o estado oxidado.

### **Íons**

são átomos, grupos de átomos ou compostos que estão eletricamente carregados em consequência da perda (cátions) ou do ganho (ânions) de elétrons.

**Piroxênio****Patrimônio arquitetônico e chuva ácida**

Alguns cientistas têm afirmado que o processo de alteração das rochas tem se intensificado nas últimas décadas, notadamente nas grandes cidades. Essa alteração mais acelerada poderia estar relacionada com as características das chuvas nas cidades. A maior quantidade de material particulado na atmosfera, bem como a maior quantidade de gases, notadamente o enxofre, tem conferido às chuvas um caráter mais ácido e, portanto, mais corrosivo.

As pesquisas desenvolvidas em universidades estão avaliando o estágio de corrosão de monumentos arquitetônicos e igrejas construídas nos séculos XVIII e XIX. Os resultados iniciais comprovam que a corrosão é a responsável pela deterioração de blocos de granitos, gnaises e outras rochas menos resistentes à alteração química, o que implica maior custo e pesquisa de novas formas de manutenção e conservação do patrimônio histórico e arquitetônico.

Para saber mais sobre esse assunto, pesquise notícias em páginas da web, como no endereço: <http://www.brasilecola.com/geografia/chuvaacida.htm>.

Dentre os organismos vivos, os micro-organismos (bactérias e fungos) são os primeiros a atacar quimicamente uma rocha (**Figura 4.4**). Após o ataque, as rochas são colonizadas por líquens, algas e musgos que, para se fixarem sobre as superfícies rochosas, secretam substâncias que promovem a alteração química dos minerais. Além disso, ocorre a liberação de gás carbônico, nitratos e ácidos orgânicos que acabam sendo incorporados nas soluções que atravessam solos e rochas. Tudo isso contribui para a redução do pH da água e o aumento da intensidade do intemperismo químico.



Antonio S. da Silva

**Figura 4.4:** Fungos colonizando um afloramento de rocha. A fixação dos fungos e mesmo a sua decomposição pós-morte são o início da formação de solos, pois a alteração química do material rochoso criará condições para a fixação de vegetais superiores e, posteriormente, a formação do horizonte A.

A eficiência do intemperismo também depende das características mineralógicas e químicas das rochas. Algumas rochas têm minerais menos resistentes ao intemperismo, e outras têm minerais mais resistentes à alteração. Sob um mesmo ambiente intempérico, as rochas irão reagir de forma diferenciada ao ataque químico, formando materiais com diferentes estágios de evolução. Dependendo do grau de evolução, um perfil de intemperismo pode apresentar maior ou menor quantidade de minerais remanescentes da rocha.

Lembre que, quando apresentamos a formação de rochas e minerais, foi dito que eles possuem diferentes temperaturas e velocidades de cristalização, logo os minerais terão diferentes velocidades de alteração química. Com base nessas características, foi organizada uma lista que apresenta as diferentes estabilidades dos minerais. Essa sequência ou seletividade de alteração explica o porquê das diferentes taxas de alteração das rochas.

Para demonstrar o nível de estabilidade dos minerais, foi elaborada uma série, denominada Série de Goldich (**Quadro 4.1**).

**Quadro 4.1:** A Série de Goldich ordena os minerais do menos estável para o mais estável (a seta para cima indica a crescente estabilidade)

<b>Mais estável</b>		<b>Último a cristalizar</b>	
Óxidos de ferro (hematita)	↑		
Hidróxidos de alumínio (gibbsite)			
Quartzo		Quartzo	
Argilominerais			
Muscovita		Muscovita	
Ortoclásio		Ortoclásio	
Biotita			
Albita			
Anfibólios		Anfibólios	
Piroxênios		Piroxênios	
Anortita			
Olivina			
Calcita			
Halita			
<b>Menos estável</b>			<b>Primeiro a cristalizar</b>



---

### Atende ao Objetivo 1

2. Vimos que o ciclo das rochas é muito influenciado pelo intemperismo, e que a água tem importante participação nesse processo. A presença de água está relacionada com qual tipo de intemperismo? Justifique.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

Relaciona-se com os dois tipos de intemperismo mas principalmente com o químico, que ocorre quando os minerais são alterados ou dissolvidos por reações químicas, sendo a água o seu principal agente. Por isso, esse tipo de intemperismo é mais comum em climas tropicais, devido à maior umidade. A água tem a capacidade de transformar a composição mineral das rochas, e isso pode acontecer com intensidade variável, a depender do grau de temperatura e umidade do local. Nesse tipo de intemperismo, ocorre o acréscimo de hidrogênio (hidratação), oxigênio (oxigenação), ou carbono e oxigênio (carbonatação) em minerais que antes não continham nenhum desses elementos.

## A formação dos solos

O intemperismo é o primeiro passo para a formação dos solos. Mesmo depois da alteração, o material rochoso continua sua evolução, e novos processos passam a atuar. Esses novos processos são chamados de pedogênese (pedo = solo; gênese = origem), o que possibilitará a formação do solo.

A pedogênese acontece como um ato contínuo do intemperismo. As alterações químicas, mineralógicas e estruturais ocorridas nas rochas desorganizam os minerais. A pedogênese promove uma nova organização, que inclui as contínuas remoção e decomposição dos minerais remanescentes das rochas.

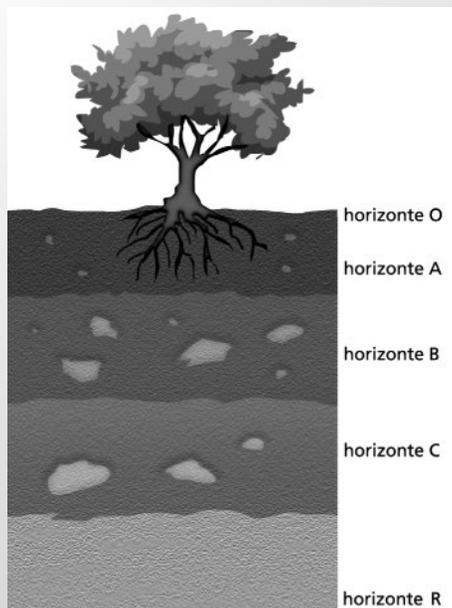
Antes de explicar como os solos se formam, convém conferir: você sabe o que é solo? Solo é o nome que recebem as camadas sobrepostas, mais ou menos horizontalizadas, com diversos graus de alteração, espessuras e composição. Podem ser definidos como corpos naturais dinâmicos que contêm matéria viva resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação se processa em certo intervalo de tempo e é influenciada pelo relevo.

Veja que nessa definição já existem novos personagens, principalmente pelo fato de que o solo contém matéria viva e é fortemente influenciado pelos seres vivos e pelo tempo.



Ao fazer um corte no solo (escavação), é possível visualizar a presença de diversas camadas; são os horizontes do solo, que aparecem alinhados. A partir da superfície do solo, temos o horizonte O (composto por restos vegetais), o horizonte A (rico em húmus), o horizonte B (acumula materiais dos horizontes superiores e tem cor avermelhada pela presença de óxido de ferro), o horizonte C

(material levemente modificado, semelhante à rocha matriz), o horizonte E (pobre em argilas e rico em areia) e o horizonte R (rocha matriz consolidada). O conjunto desses horizontes, situados em uma seção vertical que vai da superfície até o material originário, é o perfil do solo.



Então, agora vamos ver rapidamente quais são os fatores que influenciam na formação dos solos. Esses fatores são: clima, material de origem, organismos vivos, relevo e tempo.

- CLIMA

O clima atua através de dois elementos principais: temperatura e precipitação, que irão influenciar diretamente no teor de umidade do solo (deficiência e excedente hídrico) e assim condicionar a alteração química dos minerais remanescentes. A temperatura tem como papel principal acelerar as reações químicas que ocorrem no solo e a precipitação com o solvente que irá hidratar, hidrolisar e remover os cátions, e assim acelerar o processo evolutivo.

- RELEVO

Os elementos do relevo que influenciam na pedogênese são: declividade, forma das vertentes, exposição solar e zonação altitudinal.

A ação da declividade é relativamente simples de se explicar. As vertentes com maior declividade produzem maiores fluxos superficiais e, conseqüentemente, menores taxas de infiltração, logo a formação dos solos será mais lenta. Por outro lado, áreas com declividades mais baixas facilitam a infiltração da água, que permanece mais tempo na superfície, e assim há condições para a formação de solos mais profundos.

As vertentes côncavas são acumuladoras de água e, nesse caso, os solos sempre possuem maior teor de umidade. Nos locais onde há estagnação da água, é comum o solo apresentar **hidromorfia**, cores mais amareladas e tons mais pálidos.

Os solos nos divisores de água e/ou nas vertentes convexas são mais secos devido ao fato de que esses ambientes atuam como zonas dispersoras de água.

As vertentes que recebem maior incidência de raios solares são mais secas, têm os solos mais rasos e a vegetação menos exuberante. No hemisfério sul essas vertentes têm orientação SSE e no hemisfério norte, NNE. Por outro lado, as vertentes orientadas no hemisfério sul para SSW e no hemisfério norte para NNW recebem menor incidência dos raios solares e, portanto, são mais frias, úmidas, têm solos mais desenvolvidos e apresentam vegetação mais exuberante.

- ORGANISMOS VIVOS

Cobertura vegetal, musgos e líquens, micro-organismos e animais escavadores são os organismos vivos que mais influenciam na formação do solo. Sua ação ocorre de diferentes formas. Vamos relacionar algumas delas, mas você pode consultar outros livros e materiais na internet para saber mais sobre o papel dos seres vivos na formação dos solos.

Solos que apresentam **hidromorfia** são aqueles que possuem alguma característica influenciada diretamente pela presença da água. Normalmente, estão localizados na posição mais baixa do relevo, onde pode haver acúmulo de água e afloramento do lençol freático.

Vamos começar pela cobertura vegetal. O seu papel principal é na proteção do solo contra a ação das gotas de chuva, na deposição de resíduos vegetais – que serão decompostos pelos micro-organismos – e na redução da temperatura do solo devido ao sombreamento. Ao quebrar a velocidade com que a chuva golpeia o solo, a cobertura vegetal reduz as perdas por erosão, além de aumentar o volume de água infiltrada no solo.

A ação de musgos e líquens está relacionada com o início da formação dos solos. Quando essas formas de vida colonizam rochas, estão fazendo intemperismo e pedogênese, pois permitem que sejam acumulados restos orgânicos que darão início aos solos. No clima tropical, o papel de musgos e líquens é minimizado, mas muitas vezes, nas regiões temperadas e polares, essas são as únicas formas de vegetação que recobrem os solos (vide **Figura 4.4**).

A fauna do solo é dividida em macro e micro. A microfauna corresponde a todos os organismos decompositores de material orgânico (animal e vegetal) que são adicionados ao solo. Seu papel fundamental é mineralizar esses resíduos orgânicos e transformá-los em matéria orgânica (**Figura 4.5**).

Já a macrofauna engloba minhocas, formigas, cupins e até animais de maior porte, como os roedores. E o que fazem esses animais? Apresentaremos agora um novo conceito: *bioturbação*. Qual o significado dessa palavra? bio = vida; turbação = revolvimento, homogeneização. Assim, bioturbação pode ser entendida como a homogeneização do solo feita pela fauna.

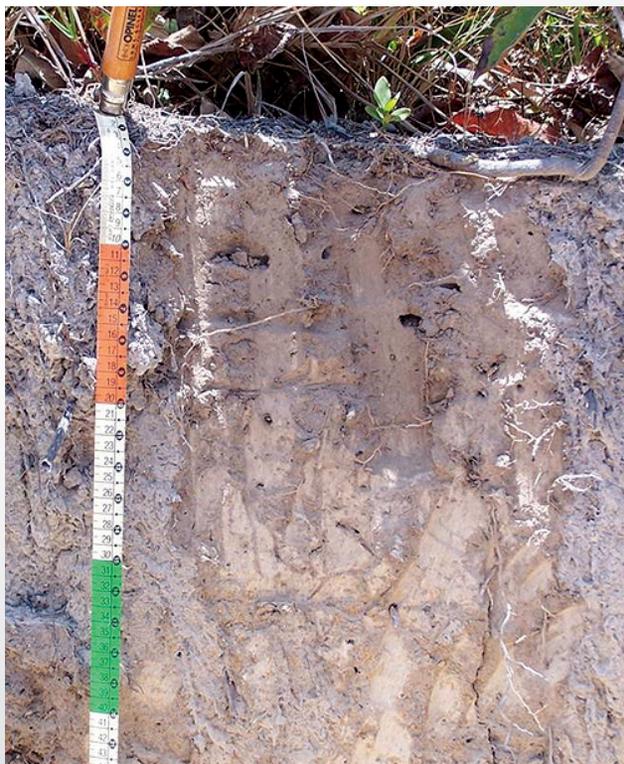


Antonio S. da Silva

**Figura 4.5:** Foto de um sambaqui na ilha de Cabo Frio (Arraial do Cabo), no estado do Rio de Janeiro. Os sambaquis são locais onde civilizações antigas depositavam restos orgânicos. Esses restos são decompostos por bactérias e outros micro-organismos e incorporados ao solo como matéria orgânica.



Você sabe como ocorre a bioturbação? Quando um animal abre uma galeria ou um buraco no solo, o material que está embaixo é levado para a superfície, mas parte do material que está em cima cai nesse buraco. Assim, os solos podem apresentar zonas de misturas altamente influenciadas pela fauna do solo (fauna endopedônica). Esses animais também contribuem para a aeração do solo, pois à medida que abrem galerias, facilitam a circulação do ar atmosférico no solo e, assim, o desenvolvimento das bactérias, que precisam do oxigênio para decompor os restos orgânicos depositados no solo.



Antonio S. da Silva

**Figura 4.6:** Na foto, vemos galerias escavadas por formigas e cupins, que são alguns dos animais que fazem a bioturbação do solo.

Um solo com grande atividade biológica é um solo saudável. Por isso, é importante manter o solo livre de ações que resultem em grandes impactos sobre sua fauna, tais como as queimadas, que podem matar a fauna endopodônica, eliminando, portanto, parte do solo.

- MATERIAL DE ORIGEM

Você saberia responder qual é o material de origem dos solos? Leia com atenção os próximos parágrafos, pois as informações que serão colocadas aqui serão muito úteis para o curso de Geomorfologia.

Em uma análise muito simples, e mesmo inicial, podemos afirmar que o material de origem dos solos é a rocha. De certa forma, esse conceito não está errado, mas também não está totalmente completo, pois nem sempre um solo é formado a partir de uma rocha, e você vai entender por quê. Em alguns locais, observamos que existe uma ligação direta entre o solo, o material intemperizado e a rocha. Quando isso ocorre, os solos são denominados residuais. Por que residuais? Porque correspondem aos restos ou resíduos da rocha que está logo abaixo (**Figura 4.7**).



**Figura 4.7:** Perfil de solo residual. A seta assinala a zona de transição entre a rocha alterada e o solo propriamente dito.

No entanto, há ocasiões em que o solo não tem relação com a rocha que está presente abaixo dele. Quando viajamos, raramente vemos o material rochoso nos cortes feitos nos morros para a abertura das estradas. O que vemos são perfis de solos, muitas vezes com vários metros de profundidade. Isso se deve ao fato de que, no

clima tropical, o processo de intemperismo é mais agressivo. Sendo assim, consegue alterar mais rapidamente o material rochoso, em função do maior volume de água precipitada. A água da chuva é fundamental para a formação dos solos; mas, quando é precipitada em grandes volumes, consegue remover o solo e depositá-lo nos locais mais baixos da encosta. Ainda podemos chamar de solo esse material que foi transportado? Você irá me responder que não. Pois, para ser solo, é necessário ter horizontes organizados e com as características que estamos vendo aqui. Esse material removido, quando chega à parte baixa da encosta, é chamado de **colúvio**; e quando chega aos rios, recebe o nome de **sedimentos**.

Quando o colúvio volta a sofrer ação dos processos de formação dos solos, não existe mais uma rocha. Logo, esses solos dos sopés das encostas não se originam de uma rocha, mas do material de origem coluvionar (**Figura 4.8**).



Antonio S. da Silva

**Figura 4.8:** Nesta foto podemos perceber um colúvio delimitado pela linha escura. Essa linha corresponde à antiga superfície do solo, que foi recoberta pelo material transportado em algum evento chuvoso. O material acima dessa linha é o que chamamos de colúvio.

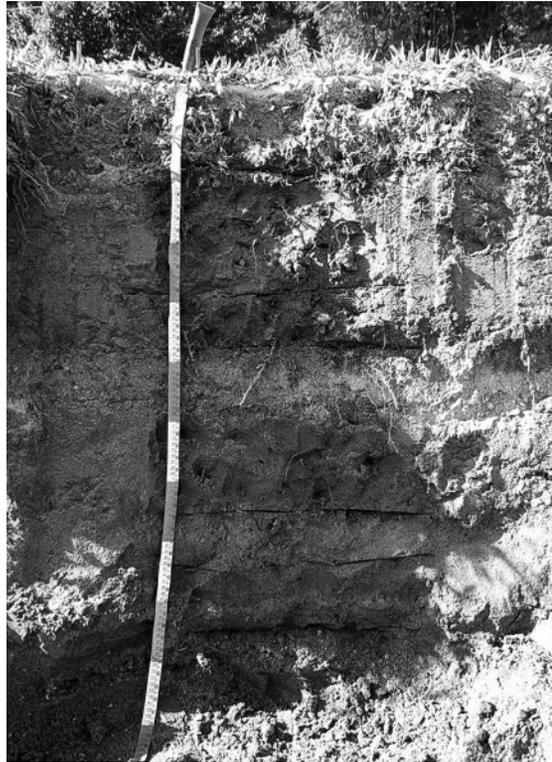
Mas esse mesmo material que foi removido das encostas pode chegar ao rio. Quando esses sedimentos forem depositados, darão origem a um novo tipo de solo, que também não possui filiação genética com a rocha que serve de base para esses sedimentos. A esses solos damos o nome de solos aluviais (**Figura 4.9**).

### **Colúvio**

nada mais é do que o solo removido do topo das encostas e depositado nos locais mais baixos.

### **Sedimentos**

são os materiais de origem mineral ou orgânica transportados pela água, pelo ar ou gelo e que são depositados nas bacias sedimentares ou outros ambientes de sedimentação, tais como planícies fluviais, praias, dunas e outros.



Antonio S. da Silva

**Figura 4.9:** Camadas superpostas relacionadas a sucessivos eventos deposicionais de um rio. Esses sedimentos são transformados em solos a partir do momento em que há fixação dos vegetais.

A partir desse momento, não podemos mais dizer que o material de origem dos solos é simplesmente a rocha. Existem várias outras possibilidades para que possamos formar os solos.

- TEMPO

O último fator de formação do solo é o tempo. Quanto tempo você leva se deslocando de sua casa até seu trabalho? Uma hora? Trinta minutos? Depende do tipo de transporte que você utiliza, certo? Se for de bicicleta, o tempo será maior do que se você for de carro, mas de ambas as formas você chegará ao seu trabalho. Você deve estar se perguntando o que isso tem a ver com o tempo de formação dos solos?

A resposta é simples. Dependendo do tipo climático, a formação dos solos pode ser mais rápida ou mais demorada.

Imaginemos uma mesma rocha, mas em ambientes climáticos diferentes. Se esse clima apresentar temperaturas mais elevadas e um grande volume de precipitações, a rocha será alterada mais rapidamente e teremos uma formação de solo mais eficiente. Caso contrário, a rocha levará muito mais tempo para ser alterada e a formação dos solos será mais lenta. Teremos, a partir de uma rocha, dois ou mais solos distintos. Um mais evoluído quimicamente e outro com um grau de evolução menor devido ao menor intemperismo da rocha.



### **Atende ao Objetivo 2**

3. Vamos imaginar que, ao olhar uma revista ou livro sobre solos, você encontre a seguinte descrição sobre os argissolos:

- são solos não hidromórficos;
- têm coloração mais avermelhada;
- são, em geral, profundos e lixiviados.

Para uma pessoa comum, essas palavras poderiam ser estranhas, mas para você, não. Então, responda o que significa cada uma dessas características: hidromorfia, cor, profundidade e lixiviação.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## *Resposta Comentada*

Solos hidromórficos são formados sob condições de hidromorfismo em ambientes de redução, ou seja, caracterizados pela presença de água, por isso, sua principal característica é a limitação de má drenagem. Nesse caso, a cor do solo será predominantemente cinza, branca, esverdeada ou azulada, indicando a redução do ferro. Formam-se sempre em relevo plano ou côncavo, sua textura é bastante variável, indo da arenosa até a franco-argilosa, seu teor orgânico é baixo e diminui com a profundidade.

A coloração avermelhada é comum nos solos tropicais não hidromórficos, como os argissolos. Essa cor é causada pela reação entre o oxigênio atmosférico e o ferro presente no solo.

A lixiviação é a extração dos constituintes do solo pela ação de um líquido percolante, como a água. Esse processo arrasta os sais minerais presentes no solo, tornando-os pobres em nutrientes. Por isso, os solos lixiviados são, geralmente, aqueles que se encontram expostos a uma ação maior da chuva, que promove mais intemperismo químico, conseqüentemente, tornando os solos mais profundos.

---

## **Os solos brasileiros**

Os solos brasileiros encontram-se estruturados, por meio do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, em treze classes, no primeiro nível categórico. O sistema prevê seis níveis categóricos, mas falaremos apenas no primeiro nível nesta aula.

As características dos solos estão relacionadas com os fatores responsáveis pela sua formação, como acabamos de ver.

- **ARGISSOLOS**

Os argissolos são solos não hidromórficos constituídos por material mineral e que possuem como característica principal o aumento do teor de argila do horizonte superficial para o horizonte

subsuperficial (de coloração mais avermelhada). Em geral, são profundos, lixiviados e, juntamente com os latossolos, ocorrem em grande parte do Brasil.

- CAMBISSOLOS

São solos que têm pouco desenvolvimento intempérico e apresentam grande variedade de características associadas ao material de origem. Normalmente, estão associados aos locais mais íngremes e com grande declividade. Como são pouco profundos, podem gerar fortes fluxos de água, vindo a causar movimentos de massa nas regiões serranas.

- CHERNOSSOLOS

São solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte superficial rico em matéria orgânica, de coloração escura e de elevada fertilidade. Ocorrem em diversos locais no Brasil, mas sempre associados a ambientes e materiais de origem que contribuem para a sua elevada fertilidade.

- ESPODOSSOLOS

Estão localizados principalmente nos ambientes de restinga, mas podem se desenvolver sempre que houver material de origem com elevada quantidade de areia. O que caracteriza esse solo é o horizonte subsuperficial escuro, devido à migração da matéria orgânica. Essa migração é facilitada pela elevada porosidade que existe entre os grãos de areia.

- GLEISSOLOS

São solos característicos de áreas alagadas. Não apresentam oxidação do ferro, portanto, as cores são sempre acinzentadas, azuladas, esverdeadas ou mesmo próximas ao branco. Durante a época das cheias, é comum ocorrerem inundações nas áreas de ocorrência desses solos.

- LATOSSOLOS

São solos muito intemperizados, profundos (podendo atingir dezenas de metros) e amplamente distribuídos no Brasil. Devido a

essa intensa alteração química, são solos extremamente lixiviados e de baixa fertilidade.

- LUVISSOLOS

São solos típicos de ambientes com clima mais seco. São semelhantes aos argissolos, mas possuem maior fertilidade e menor grau de intemperismo.

- NEOSSOLOS

Esses solos apresentam pouco desenvolvimento. Normalmente, estão associados aos locais de deposição recente ou ambientes com intensa remoção de solos, tais como ambientes de serra. Apresentam apenas um horizonte (superficial) e, logo abaixo, o material de origem (rocha ou material transportado).

- NITOSSOLOS

Essa classe corresponde às antigas terras roxas. Apresentam coloração muito vermelha e são originados da decomposição de rochas básicas. Sua principal área de ocorrência no Brasil é a região Sul, o oeste de São Paulo, parte de Mato Grosso do Sul e o Triângulo Mineiro.

- ORGANOSSOLOS

Assim como os neossolos, essa classe de solo compreende solos pouco evoluídos, mas que são constituídos por material orgânico com variado estágio de decomposição. A acumulação e preservação dos restos orgânicos se dão em ambientes mal a muito mal drenados, ou em ambientes úmidos de altitude. Os teores de carbono orgânico são sempre muito elevados.

- PLANOSSOLOS

Como o nome pode indicar, essa classe de solo ocorre em áreas de relevo suave ondulado. Possui acúmulo de argila no horizonte subsuperficial, o que pode impedir a circulação vertical de água, causando retenção de água em algumas épocas do ano. São pouco profundos e apresentam sinais de hidromorfia no horizonte subsuperficial.

- PLINTOSSOLOS

Você provavelmente já ouviu falar no termo laterita. Esse termo, comum nos livros didáticos de Geografia e Geologia, está se referindo a uma classe de solo chamada atualmente de plintossolo. Esses solos ocorrem em área de relevo suave ondulado a plano, mas têm horizonte subsuperficial endurecido, devido ao acúmulo de ferro. O ferro presente nesses solos pode ser considerado o final do processo de alteração, visto que os compostos de ferro são muito estáveis e sofrem pouca remoção.

- VERTISSOLOS

Finalmente, chegamos à última classe de solo. Os solos dessa classe são caracterizados pela presença de argilas expansíveis que irão definir um horizonte vértico. Possuem pouca variação textural ao longo do perfil, mas esta não é suficiente para caracterizar um horizonte B textural. O que mais chama atenção nesses solos é a mudança no volume do solo entre as estações chuvosa e seca. Durante a estação mais úmida, as argilas absorvem a água e aumentam de tamanho (expansão), fechando completamente a porosidade do solo (fendas). Na estação seca, ocorre uma intensa evaporação da água retida pelas argilas, que diminuem de tamanho, gerando a contração e abertura das fendas. Quando ocorre o fechamento das fendas, a permeabilidade é reduzida, causando impedimento total à circulação da água. Esses solos ocorrem nas regiões das bacias sedimentares do Nordeste brasileiro e em alguns outros ambientes, como no Pantanal e em vários outros locais com climas variados.



### Atende aos Objetivos 2 e 3

4. Os solos brasileiros são o reflexo do nosso clima tropical. Dentre as treze classes de solos apresentadas, quais delas podem ser consideradas como os solos típicos do clima tropical? Explique sua resposta.

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

Das classes de solos apresentadas, os argissolos, os latossolos e os plintossolos podem ser considerados como sendo solos tropicais por excelência. Devido ao fato de que no Brasil o clima é essencialmente tropical, há maior ação do intemperismo químico. Sendo assim, os solos são muito profundos, lixiviados e, portanto, muito evoluídos quimicamente. Das classes de solos apresentadas, as únicas que podem se enquadrar nos requisitos solicitados na questão são os argissolos, os latossolos e os plintossolos. Os primeiros são muito profundos e pobres quimicamente, os segundos também são profundos e lixiviados, e o terceiro apresenta materiais que correspondem ao final do processo de alteração química.

---



## Resposta Comentada

O intemperismo pode ser químico ou físico. O intemperismo físico corresponde à alteração da estrutura física das rochas, feita a partir de uma desagregação mecânica. Por exemplo: quando uma única rocha é dividida em duas partes, ela sofreu uma alteração física, e não química, pois as duas partes não tiveram sua composição química modificada pela simples quebra da rocha. Para que haja intemperismo químico, é necessário que ocorra uma alteração da estrutura química da rocha. O intemperismo físico é típico de climas secos, sejam eles quentes ou frios. Já o intemperismo químico, cuja atuação é mais profunda e importante do que a do intemperismo físico, tem sua ocorrência em áreas úmidas e quentes. A principal importância do intemperismo consiste na formação dos solos, através do processo denominado ciclo das rochas.

---

## RESUMO

Nesta aula, você viu como ocorre o processo de intemperismo e que este é dividido em intemperismo físico e intemperismo químico. Alguns autores incluem também o chamado intemperismo biológico, mas este não pode ser considerado uma forma de intemperismo distinta. O intemperismo físico envolve a fragmentação mecânica de rochas, enquanto o intemperismo químico altera totalmente as rochas, transformando-as em solo. O material intemperizado sofre influência de outros fatores e, depois de organizado, recebe o nome de solo. Os fatores de formação do solo são: clima, relevo, organismos vivos, material de origem e tempo. Os solos são organizados e recebem uma classificação para facilitar seu estudo. No Brasil, os solos são organizados em treze classes principais.

## Informação sobre a próxima aula

Na próxima aula, veremos que o tempo em Geologia é contado de forma diferente daquela com a qual estamos acostumados. Vamos diferenciar idade relativa e idade absoluta. Também falaremos um pouco sobre os fósseis e a ciência que estuda esses restos.

# Aula 5

## O tempo geológico: escala, datação das rochas e Paleontologia

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar a divisão do tempo em Geologia, conceituando tempo cronológico e tempo relativo através da datação de fósseis nas rochas sedimentares.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. explicar as divisões do tempo em Geologia;
2. identificar as características dos processos de fossilização.

## INTRODUÇÃO

O tempo pode estar baseado em diversas escalas de análise, a depender dos objetivos propostos. Podemos recorrer ao tempo histórico, ao tempo biológico, ao tempo geológico, e assim por diante. O tempo histórico pode ser medido em frações de segundo (as corridas de automóveis fazem a divisão de milésimo de segundo), dias, anos e séculos, levando em consideração os eventos de curta e longa duração. Essa concepção de tempo é mais empregada pelo historiador, porque este se utiliza das formas de organização da sociedade para citar um determinado tempo possível de registro e documentação para posterior pesquisa. Logo, para haver tempo histórico, é necessária a presença humana.

O tempo biológico, medido em anos, está relacionado ao tempo de vida das espécies, sobretudo a humana. Leva em consideração o período de gestação, o crescimento, o desenvolvimento, o envelhecimento e a morte de um indivíduo. É mais empregado pela Biologia e bem mais curto que o tempo histórico.

Já o tempo geológico, objeto de estudo desta aula, é infinitamente superior aos dois tipos de tempos anteriores, porque se refere ao tempo da Terra, analisado pela Geologia, na escala de milhões, centenas de milhões, enfim, bilhões de anos. Vamos conhecê-lo.

### **Tudo tem um início, um meio e um final...**

Um dos objetivos dos seres humanos é descobrir a sua origem e a do planeta. A Geologia é a ciência que pode explicar essas origens, ou pelo menos possui ferramentas que permitem ter mais informações. Essas ferramentas são a descrição de rochas (magmáticas, metamórficas e, principalmente, sedimentares), estruturas geológicas e **fósseis**. Com esses estudos é possível estabelecer correlações entre as rochas de continentes distintos, tais como América do Sul e África. Ao se estabelecer a similaridade entre as rochas, pode-se inferir as condições de sua formação, época (idade) e outros.

**Fósseis** são como restos, geralmente de partes duras e resistentes, como conchas, ossos e dentes, ou qualquer outro vestígio de ser vivo, como moldes, rastros, marcas preservadas, troncos de árvores etc., que indicam a existência desse ser na época de deposição dos sedimentos que deram origem à rocha que os contém. Geralmente são encontrados em rochas sedimentares. Somente em casos excepcionais aparecem em rochas metamórficas e magmáticas.



Dave Dyet



Aldo Cavini Benedetti



Martyn E. Jones

**Figura 5.1:** Diferentes tipos de seres vivos que foram fossilizados: vegetais e animais.

Fontes: <http://www.sxc.hu/photo/1332154>

<http://www.sxc.hu/photo/1184769>

<http://www.sxc.hu/photo/1278167>

Mas nem sempre foi assim. Nem sempre a ciência foi a responsável por estabelecer e definir os estudos sobre a evolução do planeta. Durante muito tempo, a busca pela origem de tudo foi uma responsabilidade da Igreja. O pensamento intelectual contava com a forte presença dos teólogos oficiais da Igreja. O cristianismo da época utilizou o livro bíblico do Gênesis (narrativa da criação) para calcular que a Terra teria sido formada pouco mais de quatro mil anos

antes da era atual. Esse cálculo foi obtido através da contagem de toda a descendência após os seis dias usados por Deus para criar a Terra e tudo que nela existe (conforme escrito na Bíblia).

Esse pensamento começou a perder força com o surgimento do Iluminismo, importante movimento da cultura ocidental, a partir do qual as explicações sobrenaturais foram substituídas por fenômenos naturais, as leis da natureza. Os geólogos da época já observavam o processo de erosão das montanhas e a deposição de sedimentos, fenômenos extremamente lentos, não condizentes com a narrativa bíblica.

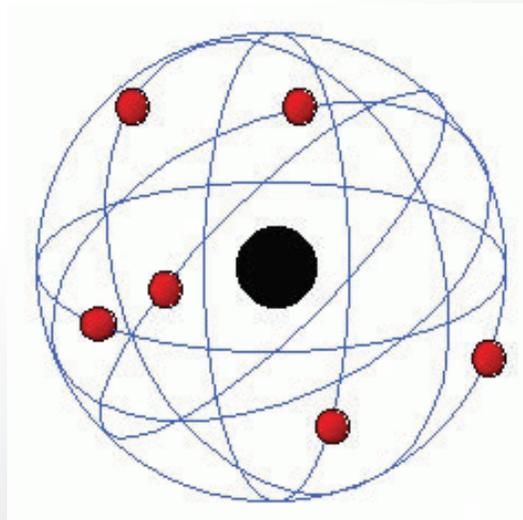
No século XIX, foi feita uma tentativa de datar a idade da Terra através do gradiente de temperatura da crosta, considerando que a temperatura aumenta com a profundidade. Mas foi com a descoberta da radioatividade que novas perspectivas se abriram, através de uma ciência denominada Geocronologia (medição direta da idade das rochas).

Todas as rochas possuem um relógio radioativo que começa a funcionar a partir do momento em que elas são formadas (cristalização dos minerais). Caso ainda existam dúvidas sobre este assunto, volte à Aula 2.



### **Geocronologia e um pouco de Química**

Antes de explicar como é feita a datação das rochas, é necessário lembrar um pouco de Química, para facilitar sua compreensão. Todos os minerais e rochas possuem elementos químicos. Estes são formados por átomos que, por sua vez, são cercados por elétrons e contêm um núcleo composto por prótons e nêutrons. A imagem mostra o modelo do átomo de Rutherford, também conhecido como modelo planetário do átomo. É uma teoria sobre a estrutura do átomo, que teria um núcleo positivo muito pequeno. Os elétrons descreveriam órbitas helicoidais em altas velocidades, para não serem atraídos e caírem sobre o núcleo.



Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Atome\\_de\\_Rutherford.png](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Atome_de_Rutherford.png)

Todo átomo possui um número de massa definido, que corresponde à soma do seu número de prótons e nêutrons. Porém, pode ocorrer um decaimento radioativo (reação espontânea que ocorre no núcleo do átomo instável), tornando o átomo estável. Um elemento instável qualquer, que passa por esse decaimento radioativo, é chamado de elemento-pai. O elemento estável que foi formado é chamado de elemento-filho. Durante o decaimento radioativo, cada elemento-pai necessita de um tempo para se transformar em elemento-filho, independentemente das mudanças físicas e químicas do ambiente e dos processos geológicos. O tempo necessário para o decaimento radioativo é chamado de meia-vida. Após esse período, a metade da massa original do elemento-pai será convertida em elemento-filho.

Para concluir esse pequeno estudo de química: é o conhecimento entre a meia-vida e a razão entre o número de átomos dos elementos pai e filho que permite a determinação de idade dos minerais e das rochas.

**Tabela 5.1:** Elementos mais utilizados para datação radiométrica

Elemento-pai (instável)	Elemento-filho (estável)	Meia-vida (bilhões de anos)
Potássio	Argônio	1,3
Tório	Chumbo 280	14,01
Urânio	Chumbo 207	0,704
Rênio	Ósmio	42,3
Rubídio	Estrôncio	48,8

A Geocronologia é o ramo da Geologia encarregado da datação das rochas. Para atingir tal objetivo, essa ciência aplica vários métodos radiométricos, sendo que a opção pelo mais adequado vai de acordo com a composição química do material a ser datado, da sua provável idade e do objetivo do estudo (**Tabela 5.2**).

**Tabela 5.2:** Isótopos e materiais comumente utilizados nos principais métodos radiométricos de datação

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

Ga = giga anos ou bilhões ( $10^9$ ) de anos.

Fonte: Teixeira et al., 2009.

Qualquer dos métodos empregados necessita de laboratórios químicos específicos, para evitar contaminação, com as seguintes características: ar purificado através de filtros; ambiente mantido sob pressão superior à do ambiente externo; análises realizadas em capelas de fluxos laminares de ar; utilização de reagentes superpuros; uso de equipamento computadorizado (espectrômetro de massa).

A datação pode ser feita tanto em minerais quanto em amostras representativas da rocha. O objetivo é definir a idade da cristalização da rocha ígnea, a idade do metamorfismo ou da deformação sofrida.

Como você deve ter observado na **Tabela 5.2**, não há indicações para a datação de rochas sedimentares, por isso não é possível estabelecer o tempo absoluto dessas rochas. Mas lembre-se de que, quando os cientistas começaram a datar as camadas de rochas, não havia conhecimento tecnológico que permitisse precisão. Assim, era muito comum fazer datação relativa, e toda a divisão do tempo em Geologia começou dessa forma. Até os dias atuais, ainda são utilizados alguns dos conceitos usados nas primeiras pesquisas. Veja um exemplo: por que chamar duas das divisões da escala do tempo de Terciário e Quaternário? Ora, se existiam o Terciário e o Quaternário, era porque antes deles vinham as rochas secundárias e as rochas primárias. Mas não há menção desses dois últimos nomes na escala de tempo. Com o avanço das descobertas, que não foram poucas, os nomes foram mudando e novas divisões foram sendo incorporadas. E isso nós veremos a partir de agora.

## A escala do tempo geológico

A escala do tempo geológico é infinitamente superior ao tempo de vida dos seres humanos. Para ilustrar essa afirmação, analise o trecho da letra da música “O vento”, da banda Los Hermanos:

Posso ouvir o vento passar  
Assistir a onda bater  
Mas o estrago que faz  
A vida é curta pra ver



Garvin Mills

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1381078>

Podemos ter uma ideia da dimensão de tempo dos fenômenos geológicos pela letra da música. Desde que nos conhecemos por gente, as rochas estão no mesmo lugar, as praias continuam com a mesma dinâmica (exceto aquelas que sofreram intervenção direta do ser humano), mas nós envelhecemos e mudamos completamente as nossas formas. Para nós, o tempo passa muito mais rápido do que a velocidade dos fenômenos geológicos.

Vamos fazer algumas comparações e analogias para que você possa compreender exatamente a dinâmica do tempo geológico. Imagine um livro contendo 460 páginas, em que cada página contenha 10 milhões de anos da história da Terra. Assim, a página 1 relataria o início da formação da Terra. Os primeiros organismos unicelulares surgiriam somente na página 70. As primeiras plantas terrestres estariam registradas a partir da página 418. Os dinossauros apareceriam pela primeira vez na página 440. Já o ser humano surgiria somente na metade da página 460.

Agora, imaginemos que toda a história da Terra tivesse a duração de 24 horas. Observe a **Tabela 5.3** e veja fatos interessantes que ocorreram no planeta durante toda a sua história. Veja como nós somos recentes no planeta. Vamos posicionar o nosso relógio à 0h e iniciar a leitura da tabela de baixo para cima.



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1365362>

**Tabela 5.3:** Escala geológica de tempo (com conversão para 24 horas)

Éon	Eras	Períodos	Início		Duração (horas)	
			Em anos	24 horas		
Fanerozoico	Cenozoica	Quaternário	1.800.000	23:59:25	0:00:35	
		Terciário	65.000.000	23:39:12	0:20:13	
	Mesozoica	Cretáceo	142.000.000	23:13:17	0:25:55	
		Jurássico	208.000.000	22:53:26	0:19:50	
		Triássico	245.000.000	22:41:36	0:11:50	
	Paleozoica	Permiano	286.000.000	22:28:29	0:13:07	
		Carbonífero	360.000.000	22:04:48	0:23:41	
		Devoniano	410.000.000	21:48:48	0:16:00	
		Siluriano	440.000.000	21:39:12	0:09:36	
		Ordoviciano	505.000.000	21:18:24	0:20:48	
			Cambriano	544.000.000	21:05:55	0:12:29
	Proterozoico			2.500.000.000	10:40:00	10:25:55
Arqueano			3.800.000.000	3:44:00	6:56:00	
Hadeano			4.500.000.000	0:00:00	3:44:00	

Fonte: Modificado de: <[http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Escala\\_de\\_Tempo.php](http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Escala_de_Tempo.php)>. Acesso em: 7 ago. 2012.

As primeiras 3h44 foram infernais e sem nenhum fato que mereça destaque. As primeiras formas de vida surgiram entre 5 e 6 horas e dominaram o planeta até as 21h. O *Homo sapiens* surgiu às 23h 59min 57s (vinte e três horas, cinquenta e nove minutos e cinquenta e sete segundos). Se você gostou dessa comparação e ficou curioso, vá ao box multimídia e conheça a história completa nas referências que foram indicadas.



Se considerarmos todo o tempo da Terra, os seres vivos como conhecemos hoje em dia surgiram no planeta há pouquíssimo tempo. No *Livro digital de Paleontologia: a Paleontologia na sala de aula*, coordenado por Marina Bento Soares, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o apoio da Sociedade Brasileira de Paleontologia,

encontramos um bom exemplo capaz de nos ajudar nessa abstração. Conheça-o no endereço <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Index.html>

Visite também a página da Sociedade Brasileira de Paleontologia: <http://www.sbpbrasil.org/portal/>

E também a página do 4º Distrito do DPNM: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/indice.php>



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1378922>

O estudo da evolução da Terra levou à criação de uma coluna do tempo geológico dividida em éons, eras, períodos e épocas. Cada uma dessas divisões é marcada por determinados eventos que modificaram a paisagem do planeta. É importante saber que a transição entre as eras e os períodos é normalmente determinada por um evento de extinção em massa. A **Tabela 5.4** apresenta um resumo dos acontecimentos no planeta e os correlaciona com a coluna do tempo geológico.

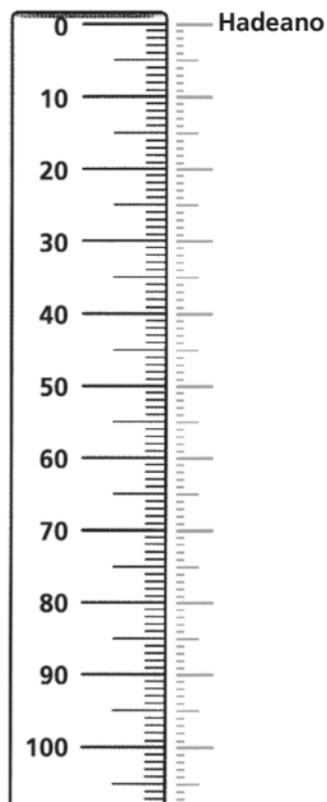
**Tabela 5.4:** Principais eventos evolutivos no planeta Terra

Eras	Períodos	Tempo	Principais eventos
		Milhões de anos	
Cenozoica	Quaternário	1,8	Aparecimento do <i>Homo sapiens</i> ; a idade da glaciações.
	Terciário	65	A idade dos mamíferos; os primeiros cetáceos; os primeiros homínídeos.
Mesozoica	Cretáceo	142	Evolução e separação dos mamíferos (marsupiais e placentários); as primeiras aves; o meteoro e a extinção dos dinossauros.
	Jurássico	208	O domínio dos dinossauros; répteis voadores.
	Triássico	245	A idade dos répteis; surgimento de crocodilos de hábito terrestre e marinho; surgimento dos primeiros mamíferos.
Paleozoica	Permiano	286	Extinção dos trilobitas; evolução dos répteis para formas carnívoras e herbívoras; a grande extinção (a mãe das extinções).
	Carbonífero	360	Origem do carvão mineral (revolução industrial); áreas pantanosas; insetos com asas; aparecimento dos répteis.
	Devoniano	410	Mares tropicais quentes, rasos e com muitos recifes; extinção dos primeiros vertebrados terrestres; os anfíbios.
	Siluriano	440	Recuperação da fauna após a extinção do final do Ordoviciano; conquista definitiva dos continentes pelos vegetais; diversificação dos peixes.
	Ordoviciano	505	A colonização dos continentes; aparecimento dos recifes de corais; aumento do número de predadores; colonização dos continentes pelos vegetais.
	Cambriano	544	A explosão de vida; teor de oxigênio próximo aos valores atuais; a fauna do Folhelho de Burgess; os invertebrados; exoesqueleto; o domínio dos trilobitas.
Proterozoico		2.500	Os primeiros organismos multicelulares; processos erosivos nos continentes; a Fauna de Ediacara.
Arqueano		3.800	A origem da vida; as primeiras bactérias (extremófilos – arqueobactérias); as cianobactérias; fotossíntese e a produção de O <sub>2</sub> ; os primeiros fósseis e as primeiras rochas (os estromatólitos).
Hadeano		4.500	Nascimento da Terra; erupções vulcânicas; formação da lua; os primeiros mares.



### Atende ao Objetivo 1

1. Agora você vai fazer a comparação entre o tempo geológico e uma fita com 100 cm (ou um metro) de comprimento, assinalando as principais divisões do tempo geológico. No início, marque o Hadeano e veja onde será marcado o início do Quaternário. Serão dados alguns intervalos, mas você deve completar todos eles.



## Resposta Comentada

Em zero marcamos o Hadeano. A próxima divisão do tempo corresponde ao Arqueano, que foi assinalado em 15,6 cm. Com 44,4 cm da nossa régua, teve início o Proterozoico. Veja que quase chegamos à metade. O Cambriano teve início quando estávamos com 87,9 centímetros. Para finalizar, o Quaternário teve início faltando apenas 4 milímetros para atingirmos a marca de 100 centímetros.

---

## A Paleontologia: o uso dos fósseis

Os cinemas do mundo todo já exibiram uma infinidade de filmes sobre dinossauros, causando grandes curiosidades no público. Certamente, em algum momento você já se perguntou se esses seres gigantes realmente existiram. Será que eles eram mesmo dessa forma, assim como aparecem nas telas e nos livros? Em diversos museus é possível visitar réplicas de dinossauros, ou até mesmo esqueletos desses animais, encontrados em diversos lugares (**Figura 5.2**).



Antonio S. da Silva

**Figura 5.2:** Esqueleto de um megatério (preguiça-gigante) exposto no Museu Centro de Interpretação Histórica da cidade de El Calafate, na Argentina.

---

A Paleontologia é uma ciência de caráter multidisciplinar (Ciências, Biologia, Geografia, Geologia). Quando bem explorada pedagogicamente, torna-se um poderoso instrumento facilitador do processo de investigação científica, promovendo uma visão mais integrada do conhecimento científico.

O profissional que faz a busca e o estudo de fósseis é o paleontólogo. Ele pode ter formação em Geologia e Biologia, principalmente, pois estuda a incorporação dos restos orgânicos nas rochas. Assim, é possível estabelecer tanto a evolução do mundo orgânico quanto a das rochas que apresentam esses restos.

Comumente, esse profissional é confundido com o arqueólogo (que estuda as culturas humanas e as civilizações dos últimos 10 mil anos). A Paleontologia é uma palavra derivada do grego *palaios* = antigo + *ontos* = ser + *logos* = estudo. Como ciência, data do século XIX e se dedica ao estudo da evolução dos seres vivos ao longo dos tempos geológicos, através de registros fossilíferos e de seus posicionamentos **estratigráfico** e **paleogeográfico**, combinando métodos e conceitos das ciências geológicas e biológicas.

Essa ciência tem foco nas evidências diretas ou indiretas de vida mais antiga que 10 mil anos. Esse divisor temporal é importante porque marca o início do Holoceno, a mais recente época geológica, após a última fase glacial.

**Estratigrafia** é um ramo da Geologia intimamente ligado à Paleontologia por se prestar à datação e correlação das camadas geológicas e auxiliar na interpretação de antigos ambientes de sedimentação.

A **Paleogeografia** faz a descrição física do passado geológico. Através dela é feita a reconstituição da distribuição dos antigos continentes e mares, das modificações do relevo e da variação das condições ambientais.



### Fase glacial

O planeta Terra passou por longos períodos alternados de resfriamento e aquecimento global. Entre os intervalos de refrigeração, teria havido a expansão das geleiras nas altas latitudes do planeta (próximo aos polos), correspondendo às chamadas idades glaciais. As rochas da Terra podem conter indícios indiretos da ocorrência das antigas glaciações,

como as alterações geoquímicas que ficaram registradas em decorrência das mudanças do nível do mar associadas a avanços e recuos das geleiras continentais.

A Paleontologia está subdividida em três ramos:

- 1) Paleobotânica (ocupa-se com os vegetais fósseis);
- 2) Paleozoologia (ocupa-se com os fósseis de animais);
- 3) Paleoecologia (investiga os ambientes e os hábitos de vida dos animais e vegetais pré-históricos).

Além disso, existe a Micropaleontologia, que faz o estudo somente de fósseis minúsculos – os microfósseis –, como esporos e formas jovens de conchas.

Como você deve ter percebido, estudar a evolução dos seres vivos depende em grande parte dos fósseis. Isso porque é preciso saber como eles eram no passado. Vamos ver agora como ocorre o processo de fossilização.

## **Como é o processo de fossilização dos organismos?**

A fossilização é um conjunto de processos capazes de conservar restos ou vestígios de animais e plantas, que somente ocorre mediante condições ambientais específicas que favoreçam a preservação dos restos.

É necessário um conjunto de processos físicos, químicos e ambientais no ambiente deposicional para que um organismo, após a sua morte, possa se transformar em fóssil. A situação mais normal é o completo desaparecimento do organismo.

Dentre as condições favoráveis para a fossilização, podemos destacar o rápido soterramento, a ausência de decomposição

bacteriológica, a composição química e estrutural do esqueleto, o modo de vida do organismo e as condições químicas do meio, como o pH.

Dentre os fatores que contribuem para a destruição dos fósseis estão o processo de metamorfização e destruição de rochas, as águas percolantes, os agentes erosivos e abrasivos, os eventos tectônicos e outros.

Alguns ambientes são extremamente favoráveis à preservação dos restos dos organismos, como lagos, fundos de mares, ambientes áridos, resinas naturais (âmbar), lagoas asfálticas, além de cinzas vulcânicas, solos congelados e depósitos calcários de grutas.



Você já ouviu falar de Pompeia? E dos mamutes congelados na Sibéria? A cidade italiana de Pompeia foi destruída por uma erupção do vulcão Vesúvio no ano 79 d.C. Uma nuvem de cinzas cobriu completamente a cidade e matou várias pessoas, mantendo o molde dos corpos. Nesta imagem, os corpos das pessoas que tentavam fugir da erupção do Vesúvio foram refeitos em gesso.



Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Pompeii\\_Garden\\_of\\_the\\_Fugitives\\_02.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Pompeii_Garden_of_the_Fugitives_02.jpg)

O mamute foi um animal extinto há aproximadamente doze mil anos. Foram encontrados fósseis desses animais congelados no norte da Sibéria. O processo de fossilização consegue manter tecidos moles, com possibilidade até mesmo de clonar o DNA dessa espécie. O seu desaparecimento deve-se às mudanças climáticas do final do Quaternário, mas também existem indicadores de que o ser humano tenha contribuído para sua extinção, pois esse animal era caçado para fornecer carne, vestimentas, além dos ossos para casa e instrumentos de caça.



Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mammouth\\_-\\_Mus%C3%A9e\\_de\\_Pr%C3%A9histoire\\_des\\_gorges\\_du\\_Verdon\\_.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mammouth_-_Mus%C3%A9e_de_Pr%C3%A9histoire_des_gorges_du_Verdon_.jpg)

A fossilização ocorre em diferentes etapas ou fases. São elas: morte; necrólise (quando o tecido é decomposto por organismos necrófagos e bactérias – **Figura 5.3**); desarticulação e dispersão (transporte); soterramento; diagênese (acumulação); e, por fim, o soerguimento das rochas fossilíferas.



Antonio S. da Silva

**Figura 5.3:** Restos mortais de uma ave. A tendência natural após a morte de um organismo é o seu total desaparecimento devido à ação de predadores, decompositores e transporte. A fossilização quebra essa sequência e possibilita que tenhamos conhecimento da fauna que viveu há milhões de anos.

Ocorrem diferentes tipos de fossilização.

a) Recristalização: esse processo conduz à destruição da microestrutura original das partes resistentes; não há alteração química, mas pode haver a passagem de um mineral a outro.

b) Carbonização (também chamada de destilação): processo em que os constituintes voláteis escapam, deixando uma película de carbono que facilita o reconhecimento do organismo.

c) Substituição: ocorre a retirada do material original, seguida de uma deposição no seu local de material de natureza diferente.

d) Permineralização: processo em que os poros de conchas e ossos são preenchidos por substâncias minerais (**Figura 5.4**).

e) Incrustação: processo em que o organismo é envolvido por um depósito mineral delgado.



Antonio S. da Silva

**Figura 5.4:** Pedaco de um fêmur de dinossauro encontrado na Patagônia argentina. O clima semiárido, quase desértico, auxilia na preservação dos restos. Muitas vezes, ocorre o preenchimento de sílica nos poros existentes nos ossos, o que contribui para a preservação dos fósseis.

Economicamente, o estudo dos fósseis é viável por orientar as pesquisas de petróleo e carvão, ambos recursos de interesse econômico para a humanidade. Além disso, possuem valor inestimável ao estudo da Estratigrafia, Paleogeografia e **Paleoclimatologia**.

### **Paleoclimatologia**

Estudo das variações climáticas ao longo da história geológica da Terra.



---

## **Atende ao Objetivo 2**

2. A fossilização é um processo que somente ocorre devido a condições especiais. Os ambientes desérticos e semiáridos são locais onde é mais comum a ocorrência de fósseis. Assinale a alternativa que justifica essa afirmação:

a. ( ) As temperaturas durante a noite baixam a zero, o que facilita o congelamento da água e dos organismos mortos.

- b. ( ) A ausência de água facilita a ação das bactérias, que destroem rapidamente os tecidos moles, restando apenas o esqueleto ósseo.
- c. ( ) As condições de baixa umidade reduzem a quantidade de bactérias e desidratam o organismo, dificultando sua decomposição.
- d. ( ) Nessas áreas há uma menor quantidade de predadores, o que diminui a ação de transporte e fragmentação dos organismos mortos.

### *Resposta Comentada*

A única alternativa que atende à questão é a letra c. Esses ambientes com umidade muito baixa não permitem a ação das bactérias decompositoras, que necessitam de umidade para sobreviver. As bactérias precisam de um ambiente úmido e quente. Nas áreas desérticas, sobra calor e falta umidade.

---

## **CONCLUSÃO**

Nesta aula, nós vimos que para definir a idade da Terra são usados métodos de laboratório que datam com grande precisão a cristalização dos minerais que compõem as rochas. Esses métodos são utilizados nas rochas ígneas e metamórficas, mas não podem ser aplicados nas rochas sedimentares. Para esse grupo de rochas, são utilizados os fósseis, que podem estar preservados nas diversas camadas sedimentares. Os fósseis são restos de animais que viveram há pelo menos 12 mil anos e que se encontram preservados. Dessa forma, pode ser estabelecida a idade relativa das camadas.

## Atividade Final

---

### Atende aos Objetivos 1 e 2

Uma das preocupações dos cientistas que fazem pesquisas com as mudanças climáticas é o derretimento da camada de gelo existente na Sibéria (norte da Ásia). Existem animais e restos de outros materiais orgânicos que estão soterrados por uma capa de gelo que, ao se derreter, pode deixá-los em contato com o ar atmosférico. O que pode acontecer com esse material orgânico? Que processos passarão a atuar sobre esse material após o seu contato com o ar atmosférico? Por que existe esta preocupação dos cientistas com a decomposição desses restos?

---

---

---

---

---

---

---

### Resposta Comentada

Os animais e restos de material orgânico somente estão preservados devido ao congelamento, que impede que bactérias atuem decompondo os tecidos moles. Ao entrar em contato com o ar atmosférico, esses restos irão se decompor, pois passarão a atuar bactérias aeróbias, que retiram oxigênio do ar e liberam gás carbônico ao decompor os restos orgânicos.

---

## RESUMO

Nesta aula você viu que a definição da idade da Terra é feita com base do decaimento radioativo de elementos químicos presentes nos minerais. Esse processo de datação fica restrito às rochas magmáticas e metamórficas e é conhecido como datação

absoluta, pois define, com relativo grau de precisão, a data em que ocorreu a cristalização do mineral. O outro processo de datação, também conhecido como datação relativa, utiliza os fósseis presentes nos diversos estratos de rochas sedimentares. Nesse caso, é definido o intervalo de tempo necessário para que aquela camada tenha se depositado. A camada localizada abaixo é mais velha, ou mais antiga, e a camada acima é mais nova.

## **Informação sobre a próxima aula**

Na próxima aula, veremos com detalhes os temas relacionados à deriva continental, às placas tectônicas e ao vulcanismo.

# Aula 6

## A dinâmica interna do planeta Terra: placas tectônicas, atividades magmáticas e metamorfismo

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar a tectônica do planeta Terra, as teorias e as confirmações da dinâmica das placas tectônicas.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. conceituar a deriva continental;
2. identificar as principais placas tectônicas;
3. correlacionar a tectônica de placas e eventos metamórficos.

## INTRODUÇÃO

Todos nós sabemos que o Sol é o grande responsável pelos fenômenos que ocorrem na superfície do planeta Terra e na atmosfera. Entretanto, quando o assunto é o interior do planeta, seus efeitos são pouco expressivos. Nesta aula, vamos fazer uma viagem ao interior da Terra. E, para que você compreenda a dinâmica interna do nosso planeta, vamos voltar a estudar a tectônica de placas, considerando as diferentes camadas da Terra: a crosta, o manto e o núcleo (conforme exposto na Aula 1).

Porém, é importante destacar as dificuldades na realização de estudos no interior da Terra, devido à inacessibilidade das observações diretas. A tecnologia ainda não criou mecanismos capazes de enfrentar as altas pressões e temperaturas do interior do planeta. Por isso, todo o conhecimento produzido sobre a temperatura interior da Terra está limitado a dados obtidos através de furos de sondagem feitos na crosta, no interior das minas. Até o presente, o furo mais profundo atingiu doze quilômetros (feito em Koala, na Rússia). Preparado para seguir viagem?

### Tectonismo

Conforme visto na primeira aula, o calor do interior da Terra aumenta à medida que a profundidade também aumenta (gradiente térmico). Entretanto, a **sismologia** descobriu que o núcleo interior da Terra é sólido, caso contrário, o crescente aumento de temperatura verificado com a profundidade faria com que todo o material fosse fundido.

O fluxo geotérmico (transporte de calor) dentro de uma camada da Terra é o produto da variação da temperatura com a profundidade, pela condutividade térmica das rochas ali presentes. Esse fluxo de calor pode variar de acordo com a composição, a idade e a natureza do material das rochas e dos processos que ocorrem logo abaixo delas.

A **sismologia** estuda a estrutura da Terra, desde a superfície até o seu núcleo, para compreender os mecanismos envolvidos na tectônica global do nosso planeta.

O transporte de calor pode ocorrer por dois processos: condução e convecção. A condução é um processo lento, no qual ocorre a transferência de energia entre uma molécula e suas vizinhas, particularmente nas matérias sólidas. Já a convecção é um processo rápido que provoca movimento de massa e ocorre nos corpos fluidos do núcleo externo e do manto.

Todo esse movimento é consequência e, de certa forma, causa da injeção de matéria e calor na superfície, produzindo grandes transformações, algumas delas de maneira catastrófica (terremotos e vulcanismo), enquanto outras sequer são percebidas (orogenia).

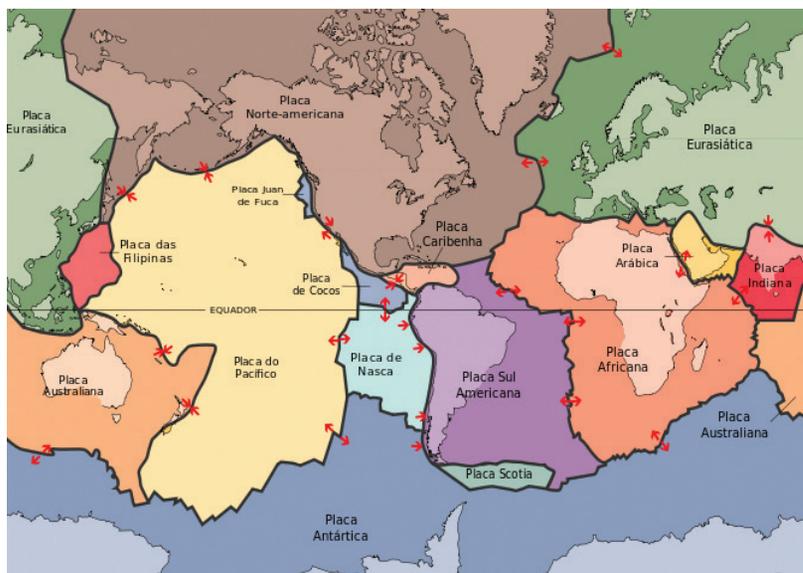


Orogenia é o conjunto de processos que levam à formação ou ao rejuvenescimento de montanhas ou cadeias de montanhas. Sua área de atuação é marcada pela ocorrência frequente de sismos e pela presença abundante de vulcões.

Essas transformações – terremotos, vulcanismos e orogenia – são resultado dos movimentos da crosta terrestre. A crosta terrestre, ou litosfera, é uma camada de terra e rochas irregulares, sendo composta por placas tectônicas que não são fixas, porque ficam sobre o magma (rocha fundida de alta temperatura). Essas placas dão à litosfera terrestre a aparência de um grande quebra-cabeça, em que as peças se encaixam. As placas estão em constante movimento e exercem pressão umas contra as outras. Assim, as bordas das placas tectônicas se chocam ou se afastam, devido ao deslocamento que sofrem em variadas direções.

São contadas dez grandes placas tectônicas: Placa Eurasiática, Placa Arábica, Placa Africana, Placa Australiana-indiana, Placa do Pacífico, Placa Sul-americana, Placa Norte-americana, Placa

Antártica, Placa Filipina e Placa Nazca (**Figura 6.1**). Também existem várias outras placas menores, tais como a Placa do Caribe, a Placa das Filipinas, a Placa Scotia, a Placa de Cocos e a Placa Juan de Fuca. Mas nem sempre foi assim.



**Figura 6.1:** Mosaico de placas tectônicas. As setas indicam a direção do movimento.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Placas\\_tect2\\_pt\\_BR.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Placas_tect2_pt_BR.svg)

Ao longo das eras geológicas, as placas tectônicas se uniram e se separaram em vários momentos, formando configurações continentais muito diferentes daquela que temos hoje. Em um desses momentos, na passagem do Proterozoico para o Fanerozoico, teve início uma aglutinação dos continentes. Nessa época (540 milhões de anos atrás), foi formado o supercontinente denominado Pangea. A **Figura 6.2** mostra as massas continentais unidas. Observe que o formato dos continentes atuais ainda não estava completamente definido, mas já é possível perceber alguns contornos.



**Figura 6.2:** O megacontinente Pangea era constituído pelos continentes Laurásia e Gondwana.

Fonte: Modificado de Toledo et al. (2000).

Mas essa não foi a primeira vez que as massas continentais se uniram. Há indícios de que esse fenômeno ocorreu diversas outras vezes na história do planeta. Entretanto, as dimensões e os formatos dessas massas continentais eram muito diferentes.



A Pangea (*pan* = todo e *gea* = terra) teria iniciado a sua formação por volta de 540 milhões de anos e durou todo o Paleozoico. A fragmentação ocorreu durante o Mesozoico e continua até os dias atuais. Ainda durante o Proterozoico, há cerca de 1,1 bilhões de anos, outro supercontinente foi formado, Rondínia. Poucos percebem, entretanto, que as massas de terra continentais que, provavelmente, colidiram para formar supercontinentes, tenham se despedaçado várias vezes no passado. Durante a época de formação da Pangea, foram formados vários depósitos glaciais, indicando que a Terra foi mergulhada em uma grande idade do gelo,

e isso se refletiu nas diversas extinções em massa de que falamos na Aula 5.

Para mais informações e para ter acesso a animações, visite a página do Serviço Geológico dos Estados Unidos: <http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/pltec/index.html>

Para ter acesso a uma animação que mostra a formação da Pangea, acesse o link: <http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/pltec/pangea.html>

## A Deriva Continental

Se observarmos a porção leste do mapa da América do Sul e a porção oeste do mapa do continente africano, é possível verificar uma nítida semelhança no formato dos dois continentes, como um encaixe perfeito entre as peças de um quebra-cabeça. Essa observação, levantada por Francis Bacon em 1620, foi a primeira evidência de que os continentes estiveram unidos no passado. Mas foi somente no início do século XX que a teoria da tectônica de placas surgiu, em decorrência das ideias revolucionárias apresentadas anteriormente pelo alemão Alfred Wegener.



### **Alfred Wegener**

A formação inicial de Alfred Wegener foi Astronomia. No entanto, era visível seu interesse pela Geofísica, tornando-se profundo conhecedor de ciências emergentes como a Meteorologia e Climatologia. Wegener demonstrou que o clima e as litologias coincidiam mesmo que separados pelos oceanos. Depois de encontrar vestígios de sementes arbóreas tropicais na Groenlândia, concluiu que isso

somente poderia ocorrer devido ao deslocamento dos continentes. No entanto, ele não sabia explicar a razão pela qual os continentes se moviam e, a princípio, os geólogos, especialmente os norte-americanos, desprezaram as suas ideias. Só se convenceram quando foram descobertas rochas magnéticas de idades diferentes que apontavam para direções diferentes e não apenas para o Polo Norte magnético. A melhor explicação para essas variações era o movimento dos continentes. Estava aí o início da comprovação da Teoria da Deriva Continental.

De acordo com a teoria de Wegener, havia um supercontinente, que ele denominou de Pangea, que teria iniciado sua fragmentação há cerca de 220 milhões de anos (Triássico), quando os dinossauros ainda habitavam a Terra. Segundo essa teoria, a fragmentação originou dois continentes: Laurásia e Gondwana.

As principais evidências da deriva dos continentes apresentada por Wegener foram a presença de fósseis comuns no Brasil e na África e a evidência de glaciações em lugares como o sudeste brasileiro, o sul da África e o oeste da Austrália.

A teoria desenvolvida por Wegener ficou esquecida após a sua morte (1930) e só voltou à tona durante a Segunda Guerra Mundial, com as tecnologias militares desenvolvidas para localizar submarinos no fundo dos mares. Isso possibilitou o traçado de mapas detalhados do relevo do fundo oceânico, mostrando um ambiente geologicamente mais ativo do que se imaginava até então.

Seguindo essa lógica, entre as décadas de 1950 e 1960, a Geocronologia trouxe novas informações sobre a idade das rochas oceânicas e o estudo do seu magnetismo. Assim, a deriva dos continentes passou a ser estudada com mais seriedade.

Logo em seguida, o norte-americano Harry Hess apresentou a hipótese da expansão do fundo oceânico, em que apontava que essas estruturas estariam relacionadas a processos de convecção do interior da Terra.



### **Biogeografia e Deriva Continental: a Linha Wallace**

A chamada Linha Wallace foi estabelecida pelo geógrafo e naturalista Alfred Russel Wallace e mostrou, no século XIX, a separação de duas zonas zoogeográficas: Ásia e Austrália. Nas ilhas situadas a oeste da linha havia macacos, chimpanzés, lêmures, tigres, ursos, veados e elefantes, enquanto que nas terras influenciadas pela Austrália não havia nenhum desses animais. Por outro lado, na Austrália havia cangurus, gambás e ornitorrincos. A Linha Wallace separa populações tão distintas e que permanecem até os dias atuais completamente separadas, exceto pelos animais que conseguem voar. Em nenhum lugar do mundo há um contraste tão grande de faunas separadas por distâncias tão pequenas (apenas 25 km). Apesar da brilhante constatação, Wallace não pode explicar o que levou a tamanha segregação. Não imaginou e não havia conhecimento na época que indicasse uma influência direta da tectônica de placas. Hoje a fauna é diferente, mas existem fósseis iguais nos dois continentes.



**Figura 6.3:** Linha Wallace.

A Teoria da Deriva Continental foi a hipótese elaborada por Alfred Wegener no início do século XX para explicar o arranjo e a distribuição das massas continentais atuais. Mais recentemente, na década de 1960, um grupo de cientistas reuniu diversas evidências para tentar explicar como esse processo teria ocorrido, elaborando a Teoria da Tectônica de Placas. A principal evidência apontada por Wegener foi o contorno dos continentes (a costa leste da América do Sul tem uma forma que quase se encaixa na forma da costa oeste da África), o que evidencia que no passado existia apenas uma massa continental (Pangeia) que, ao se fragmentar, resultou nos continentes que temos hoje e na formação de algumas ilhas oceânicas (fragmentos deixados durante o deslocamento dos continentes).

A Teoria da Tectônica de Placas foi a evolução desse pensamento de Wegener. A diferença é que passou-se a considerar que a crosta terrestre está dividida e se movimenta sobre grandes placas tectônicas. Estas se movimentam impulsionadas pelas forças provenientes do interior da Terra, que Wegener ainda não conhecia.



---

### **Atende aos Objetivos 1 e 2**

1. A partir das proposições e dos conceitos apresentados, apresente as evidências que comprovam a Teoria da Deriva Continental e a da Tectônica de Placas.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

São várias as comprovações que podem ser utilizadas nos dias atuais. A primeira delas está relacionada ao formato dos continentes, principalmente América do Sul e África. O litoral leste da América do Sul e o oeste da África se encaixam perfeitamente. A segunda delas diz respeito aos fósseis encontrados nesses dois continentes, que comprovam que um dia foram apenas um. Ainda podemos afirmar que, indiretamente, a Linha Wallace comprova a aproximação de duas placas tectônicas, que carregam consigo faunas que evoluíram de maneira diferente.

## As placas tectônicas

**Litosfera** é a camada superficial da Terra, que flutua sobre um substrato mais denso, que é a **astenosfera**, uma camada mais plástica – porque as rochas são mais maleáveis –, que constitui uma zona de baixa velocidade. Ela se comporta como um fluido viscoso, no qual ocorrem deformações na escala do tempo geológico.

As placas litosféricas podem ser classificadas em oceânicas ou continentais e apresentam características bastante distintas. Variam na composição litológica e química, na morfologia, na estrutura, na espessura, idade e dinâmica. A maioria das placas possui porções oceânicas e continentais.

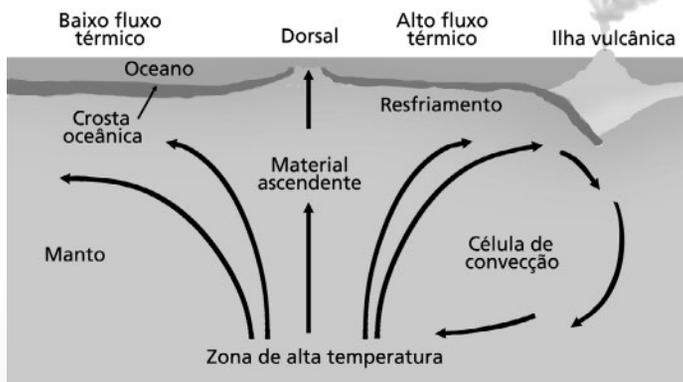
Para compreender a movimentação das placas tectônicas, é preciso considerar a íntima ligação entre a **astenosfera** e a **litosfera**, porque a primeira é movida se a segunda se mover. Além disso, a litosfera possui uma energia cinética, por conta do fluxo térmico do interior da Terra. O princípio é o de uma célula de convecção.



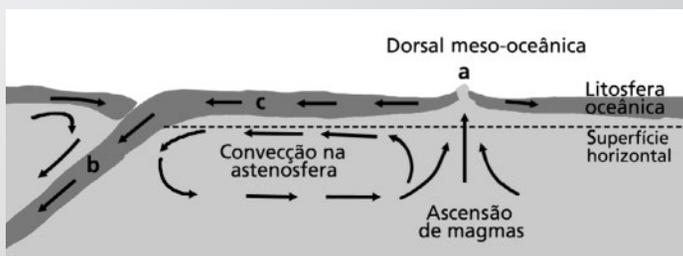
### Célula ou corrente de convecção

A convecção ocorre no manto. É um movimento lento da rocha que, sob temperatura elevada, apresenta-se como um material plástico-viscoso que, devido à menor densidade, migra para cima se expandindo. Enquanto isso, o material que está ao redor – mais frio e denso – desce, ocupando o lugar deixado pela massa aquecida. A velocidade do movimento de convecção é de apenas alguns centímetros por ano.

O alto fluxo de calor interno provoca a ascensão do material do manto, porque o aumento da temperatura o torna mais denso. Quando o material atinge a superfície, se movimenta lateralmente e o fundo oceânico se afasta, produzindo uma fenda que é rapidamente preenchida por novas lavas. Estas, quando solidificadas, formam um novo fundo oceânico, a partir da Dorsal, como você pode observar na figura a seguir.



**Figura 6.4:** Esquema das correntes de convecção responsáveis pela injeção de matéria e espalhamento do fundo oceânico.  
Fonte: Modificado de Toledo et al. (2000).



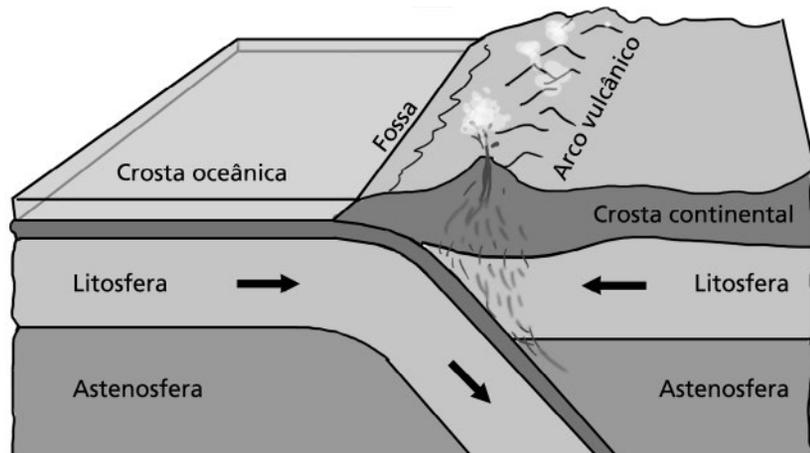
**Figura 6.5:** Movimentação das placas tectônicas devido às correntes convectivas.  
Fonte: Modificado de Toledo et al. (2000).

## A classificação dos limites das placas tectônicas

Podemos classificar três tipos distintos de limites entre as placas tectônicas.

a) Limite convergente – nesse tipo de limite ocorre a colisão de placas tectônicas (**Figura 6.6**). O comportamento e o destino das placas convergentes dependem principalmente do tipo de litosfera de que eles são feitos. Placas muito espessas e pouco densas, tais

como as placas continentais, apresentam comportamento diferente das placas oceânicas, que são finas e muito densas (vide boxe explicativo sobre a colisão de placas tectônicas).

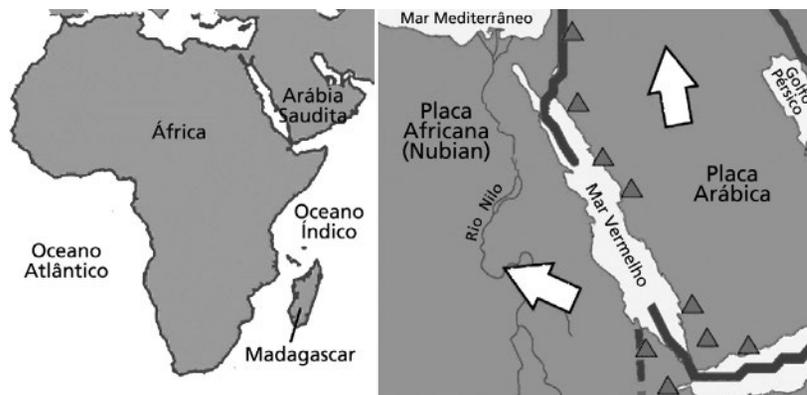


**Figura 6.6:** Limite convergente de placa continental x oceânica.

Fonte: Modificado de <http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/pltec/converge.html>.

**Rift** é um vale de grande extensão formado a partir das fraturas decorrentes do movimento distensivo da crosta, ou seja, quando as placas se movem em sentidos opostos. O resultado desse afastamento são as falhas, que podem ter maior ou menor complexidade, mas, em geral, prolongam-se por centenas de quilômetros.

b) Limite divergente – quase toda a crosta da Terra é formada nos limites divergentes de placas, pois se encontram nas profundezas dos oceanos. Estas são zonas onde duas placas se afastam uma da outra, permitindo que o magma do manto possa subir e se solidificar como uma nova crosta. Podemos dar vários exemplos de limites divergentes de placas. O mais famoso deles é o limite entre a América do Sul e a África, mas ele fica submerso pelo oceano Atlântico. Outro exemplo é o limite entre a África e a Península Arábica (**Figura 6.7**). Esse limite ativo forma o mar Vermelho, que hoje separa o que já foi unido no passado. Podemos comparar esse mar com o início da formação de um novo oceano. A placa africana está sofrendo um grande processo de fragmentação. O próprio vale do rio Nilo corre em grande parte em um **rift**.



**Figura 6.7:** Processo de separação da África e da Península Arábica, com a formação de um novo oceano.

Fonte: Modificado de <http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/pltec/diverge.html>.

c) Limite conservativo ou transformante – nesses limites as placas deslizam lateralmente uma em relação à outra e não provocam destruição nem geração de crosta ao longo das fraturas (falhas transformantes). As transformações imprimidas nas placas ficam restritas a zonas de metamorfismo, provocando diversos terremotos, como os que ocorrem na Califórnia, na zona de contato entre a placa norte-americana, a partir da placa do Pacífico, ao longo da Falha de San Andreas (ou Santo André) (**Figura 6.8**).



**Figura 6.8:** Limite de placa conservativo ou transformante, onde não há destruição de placas.

Fonte: Modificado de <http://geomaps.wr.usgs.gov/parks/pltec/SAtransform244x201.gif>



## A colisão de placas tectônicas

A colisão de placas tectônicas pode ser dos seguintes tipos: continental x oceânica; oceânica x oceânica; continental x continental.

No primeiro caso, há a colisão de uma placa mais leve com uma mais densa. A mais densa mergulha sob a menos densa. Nesse caso, é gerada uma zona de subducção e de intenso magmatismo, porque a crosta que mergulhou sofre processo de fusão parcial. Também são nesses limites que ocorrem fossas e províncias vulcânicas. A placa menos densa sobe e forma os grandes dobramentos modernos (Andes e Montanhas Rochosas, por exemplo).

A placa oceânica permanece sólida até cerca de 100 km de profundidade. A partir dessa profundidade há um aumento brutal na temperatura e na pressão, fazendo com que a placa “derreta” e libere água e gases. Esses fluidos forçam a placa que está acima, gerando uma cadeia de reações químicas que irá fundir o manto acima da placa que submerge. Assim são criadas as condições para que o magma (rocha derretida) faça seu caminho em direção à superfície. Quando esse material consegue chegar à superfície, forma os vulcões, que expõem gás, cinzas e lava. Nessas zonas são gerados também grandes terremotos, que causam muita destruição na superfície. No segundo caso – placa oceânica x placa oceânica –, novamente a densidade é a chave para a nossa resposta. Lembre-se de que as placas oceânicas nascem nas dorsais oceânicas, onde a rocha derretida do manto se eleva, esfria e se solidifica. A rocha recém-criada é menos densa que a rocha criada há

muito tempo. Ou seja, quanto mais afastada da dorsal oceânica, mais fria e mais densa (mais pesada) fica. Assim, quando duas placas oceânicas colidem, a placa que é mais antiga, portanto mais fria e mais densa, é a que vai afundar. O resto da história é muito parecido com a colisão de placas continentais *versus* oceânicas, que acabamos de ver.

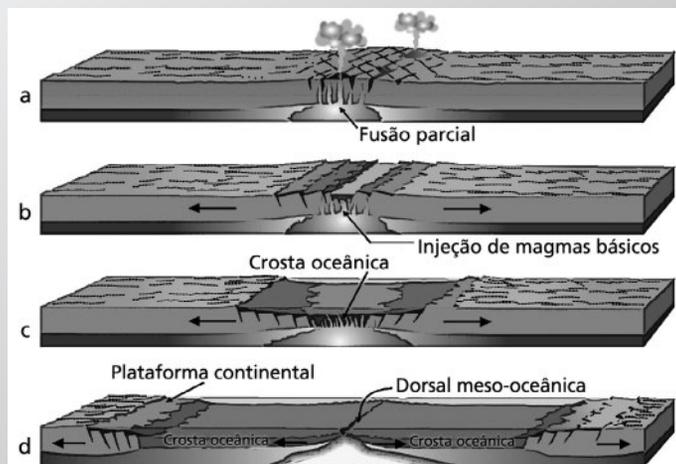
O terceiro tipo de colisão envolve placa continental x placa continental. Já é possível imaginar que as placas são leves o suficiente para não afundar. Logo, somente temos um caminho: em direção ao céu. É assim que as maiores montanhas são formadas, e o melhor exemplo é a Cordilheira do Himalaia. Nesses limites, rochas sólidas são dobradas e falhadas, sendo lançadas umas por cima das outras, fazendo com que a montanha não pare de crescer.



### **Como nasce um oceano?**

O nascimento de um oceano tem início com a quebra de um continente. A placa litosférica continental é puxada lateralmente por forças divergentes. Com o estiramento da crosta continental, ocorre o fraturamento, formando uma depressão no meio do continente. Nessa etapa, as águas começam a inundar as terras continentais, gerando lagos salinos. A atividade vulcânica é intensa, pois o estiramento da crosta continental faz com que o magma se aproxime da superfície. Continuando o processo, há a separação do continente em dois e, entre eles, um oceano que

está nascendo. A subida de material magmático quente da astenosfera gera uma série de erupções vulcânicas, que formam um denso assoalho oceânico de basalto, denominado crosta oceânica. Esse material que sobe empurra os dois continentes em direções opostas, ampliando ainda mais o oceano, que atinge um estágio mais avançado. Caso a atividade vulcânica seja muito intensa, pode vir a formar uma cadeia meso-oceânica. Um exemplo atual de um oceano em estágio de abertura inicial é o Mar Vermelho, que separa a Península Arábica da África Oriental. Um exemplo atual de um oceano maduro é o Oceano Atlântico, que separa a América da África e Europa.



**Figura 6.9:** Esquema do nascimento de um oceano: a) início da fragmentação devido a pressões e fusão parcial da crosta; b) a placa já separada começa a ser empurrada em direções opostas, devido à injeção de magmas básicos; c) o novo oceano começa a se formar, com a injeção de água nos locais mais baixos; d) o oceano formado não pára de crescer.

Fonte: Modificado de Toledo et al. (2000).

Para saber mais sobre esse tema, consulte o sítio do Projeto Caminhos Geológicos: <http://www.caminhos-geologicos.rj.gov.br/sitept/home/>

## As margens continentais

A dança das placas tectônicas (fragmentação e aglutinação) deixa evidências geológicas nas margens dos continentes atuais, que podem ser ativas ou passivas. As margens continentais ativas estão situadas nos limites das placas convergentes, local de ocorrência de zonas de **subdução** e falhas transformantes. Nas margens ativas, se desenvolvem as mais importantes atividades tectônicas, formando as cordilheiras. Esse processo recebe o nome de orogênese (tema da Aula 9). Como exemplo, podemos apontar a costa do Pacífico na América do Sul, porque a cadeia andina está em constante desenvolvimento.

As margens continentais passivas são aquelas que se desenvolveram durante o processo de formação das bacias oceânicas, que ocorre mediante a fragmentação dos continentes. Na Geologia esse processo é chamado de rifteamento, palavra derivada do termo em inglês *rift valley*.



**Zona de subdução** é o local de convergência das placas tectônicas onde uma das placas desliza para baixo da outra. Esse movimento descendente provoca a fusão parcial do manto subjacente e induz à ocorrência de vulcanismos. As maiores zonas de subdução encontram-se no oceano Pacífico (costa oeste da América do Sul e da América do Norte).

---

### Atende ao Objetivo 2

2. A origem dos oceanos está associada à fragmentação das placas continentais. Tomando-se como exemplo a continuidade da fragmentação da placa africana, identifique o tipo de limite existente entre essas novas placas tectônicas que irão se formar e explique sua resposta.

- a. (    ) Convergente
- b. (    ) Divergente
- c. (    ) Conservativo

---

---

---

## Resposta Comentada

O tipo de limite de Placa Tectônica Convergente ocorre quando as placas tectônicas colidem. No tipo de limite conservativo, as placas tectônicas se movem em direções opostas, mas sem colidirem. As placas tectônicas que se fragmentam geram um limite divergente, como o que ocorreu entre as placas da América do Sul e a da África, entre a Placa Arábica e a Placa de Núbia. Assim, caso a Placa Africana continue a se separar, os blocos fraturados tenderão a se afastar, gerando um limite divergente.

---

## A tectônica de placas e o metamorfismo

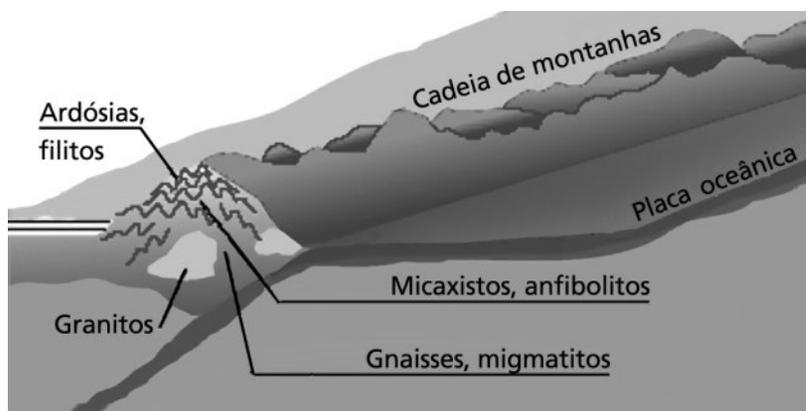
Já estudamos o fenômeno do metamorfismo na Aula 3. Mas, a partir de agora, vamos explicar com mais detalhes os processos que resultam no metamorfismo de rochas.

Existem diferentes tipos de metamorfismo (metamorfismo regional, metamorfismo de contato, metamorfismo de soterramento, metamorfismo hidrotermal, metamorfismo de fundo oceânico e metamorfismo de impacto). No entanto, se for levada em consideração a tectônica global, veremos que o metamorfismo é formado em três ambientes distintos dos limites das placas convergentes: nas zonas de subducção, nas zonas de colisão e no fundo oceânico.

### Metamorfismo regional

Nas zonas de colisão de placas tectônicas (oceânica x continental; oceânica x oceânica; ou continental x continental), o metamorfismo é do tipo regional, ou seja, atinge grandes dimensões da superfície do planeta (**Figura 6.10**).

Quando ocorre a colisão de placas oceânicas com placas continentais, ocorre a subducção da placa oceânica – mais densa – e o soerguimento da placa continental – mais leve. As transformações nas rochas ocorrem ao longo das cordilheiras, como exemplificado nos Andes e nas montanhas Rochosas. O metamorfismo gerado nesses ambientes ocorre a partir da combinação de aumento de temperatura e pressão durante milhões de anos.



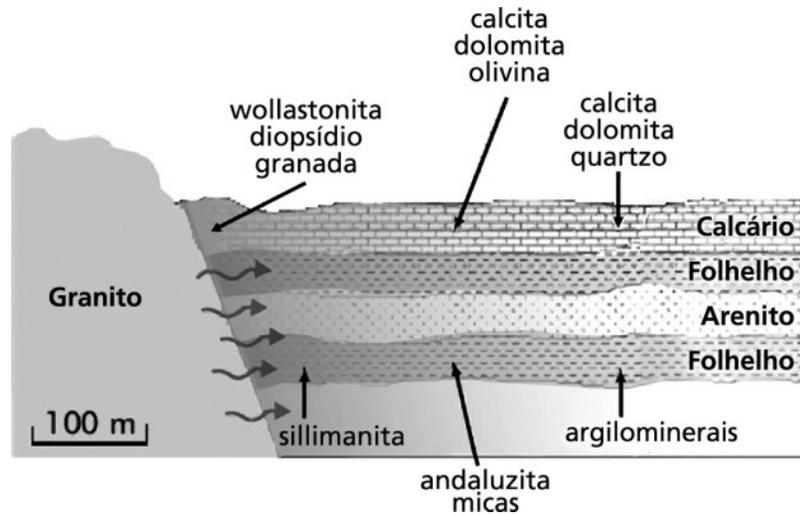
**Figura 6.10:** Metamorfismo regional com diferentes intensidades de metamorfismo. Na superfície são produzidas rochas de baixo grau, tais como ardósias e filitos, e no interior são produzidas rochas de alto grau, tais como gnaisses e migmatitos. Fonte: Modificado de Teixeira et al, 2009.

## Metamorfismo de contato

O metamorfismo de contato ou termal ocorre em **rochas encaixantes** ao redor de corpos ígneos intrusivos, formando auréolas de metamorfismo (**Figura 6.11**). As transformações nas rochas pré-existentes decorrem do aumento de calor e pressão emanados do corpo ígneo. A extensão do metamorfismo depende diretamente da intensidade do calor emanado. O grau de metamorfismo é maior junto à fonte de calor e diminui à medida que se afasta do corpo intrusivo.

### **Rocha encaixante**

Refere-se a uma rocha mais antiga em relação a um corpo de rochas mais recente, que a penetrou (intrudiu). Uma rocha encaixante sempre tem idade superior à rocha que a penetrou.

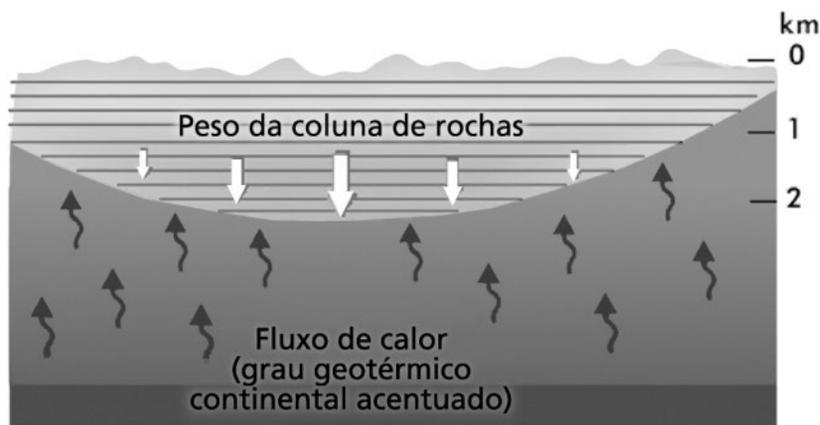


**Figura 6.11:** Metamorfismo de contato ou termal. A intensidade do metamorfismo é maior junto ao corpo ígneo.

Fonte: Modificado de Teixeira et al., 2009.

## Metamorfismo de soterramento

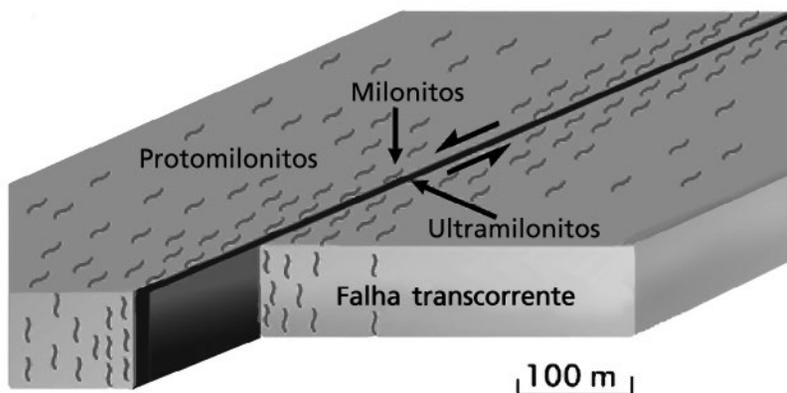
Esse tipo de metamorfismo não está mais relacionado à tectônica e ocorre durante a subsidência de bacias sedimentares e em locais onde a crosta está se tornando mais fina. Com o empilhamento de sucessivas camadas de sedimentos, há aumento de calor e pressão, e aquelas camadas situadas na base podem se deformar e se metamorfozizar (**Figura 6.12**). Nesse caso, o grau de metamorfismo não é elevado e, normalmente, está associado à foliação das micas, que se orientam em função do peso das camadas superiores.



**Figura 6.12:** Metamorfismo de soterramento.  
Fonte: Modificado de Teixeira et al., 2009.

## Metamorfismo cataclástico

O metamorfismo cataclástico ou dinâmico ocorre ao longo de zonas de falhamento ou cisalhamento (**Figura 6.13**). Esse tipo de metamorfismo provoca poucas transformações texturais e estruturais e minerais mais frequentemente fragmentados, fraturados ou pulverizados.



**Figura 6.13:** Metamorfismo cataclástico ou dinâmico.  
Fonte: Modificado de Teixeira et al., 2009.

## **Metamorfismo hidrotermal**

O metamorfismo hidrotermal ocorre a partir da percolação da água nas fraturas e espaços intergrãos das rochas. Processa-se através de trocas iônicas entre a água quente, com temperaturas entre 100°C e 370°C, e as paredes das fraturas.

## **Metamorfismo de fundo oceânico**

O metamorfismo de fundo oceânico ocorre junto às dorsais meso-oceânicas, a partir das interações entre a água fria e a crosta recém-formada e aquecida. É um tipo específico de metamorfismo hidrotermal, pois envolve a troca iônica entre a água que se aquece e os minerais das rochas formadas recentemente.

## **Metamorfismo de impacto**

Finalmente, o metamorfismo de impacto ocorre ao redor das crateras resultantes do impacto de meteoritos. As ondas de choque se dissipam, gerando auréolas de metamorfismo, em função da fragmentação das rochas e do excessivo calor que pode chegar a 5.000°C.

De acordo com a variação de pressão e temperatura, o metamorfismo pode ser de alto, médio ou baixo grau. Um metamorfismo de alto grau implica em fortes alterações nas características do protólito, podendo quase gerar uma nova rocha magmática. O grau baixo ocorre quando as condições de temperatura e pressão não são muito elevadas. O grau médio de metamorfismo é uma condição intermediária entre o alto e o baixo grau.



---

### Atende ao Objetivo 3

3. A palavra metamorfismo nos faz remeter à metamorfose, que significa transformação, mudança de forma. Dentre os tipos de metamorfismo, dois atuaram na região Sudeste do Brasil. O primeiro tem idade de mais de 200 milhões de anos, e o segundo fenômeno de metamorfismo ocorreu há, aproximadamente, 70 milhões de anos, quando promoveu a formação da Serra do Mar. Quais os tipos de metamorfismo que ocorreram em cada um desses eventos?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

O primeiro evento ocorreu com a colisão das placas da América do Sul e da África, quando formaram o megacontinente Gondwana. O tipo de metamorfismo gerado nesse evento foi o regional, que ocorre em zonas de colisão de placas. O segundo evento ocorreu após a separação desses dois continentes. As fraturas na crosta geraram zonas de fraqueza, o que permitiu que corpos magmáticos comesçassem a subir. Esses corpos magmáticos muito aquecidos deformam as rochas encaixantes, que passam a ter seus minerais reorganizados. O tipo de metamorfismo gerado nesse evento foi o metamorfismo de contato.

## CONCLUSÃO

Ao nos depararmos com informações de que nos afastamos da África um pouco mais a cada ano, e que a Austrália está em processo contínuo de aproximação da Ásia, não imaginamos como isso pode ocorrer. No entanto, as evidências de que isso está ocorrendo são as mais diversas, e a cada dia os cientistas acrescentam uma nova peça ao grande quebra-cabeça que é a explicação do mosaico de placas tectônicas. Podemos concluir que, da mesma forma como as placas já estiveram unidas no passado, elas voltarão a se unir em um futuro geológico muito distante. Não sabemos como isso ocorrerá, mas, ao observarmos a disposição dos atuais continentes, podemos afirmar que a África se fragmentará em vários pedaços e um deles se unirá à Europa, fechando o mar Mediterrâneo.

### *Atividade Final*

---

#### **Atende aos Objetivos 1, 2 e 3**

As margens continentais podem ser classificadas de acordo com a tectônica global e, em escala de detalhe, segundo as oscilações de marés, os regimes de ondas etc. Isso explica a ocorrência de terremotos em muitos países. Considerando a tectônica global, como pode ser classificado o litoral do Brasil? Por que não ocorrem terremotos de grande magnitude no Brasil? Explique sua resposta.

---

---

---

---

---

## *Resposta Comentada*

O Brasil está localizado na porção central da Placa Sul-americana. O nosso litoral é banhado pelo oceano Atlântico, e portanto, em zona de distensão da placa. Assim, nosso litoral é classificado como de margem passiva, pois não apresenta colisão de placas e, por consequência, também não ocorrem terremotos, como na costa oeste da América do Sul (oceano Pacífico).

---

## **RESUMO**

Nesta aula falamos sobre tectônica de placas e deriva continental. A Geologia teve um grande avanço com a confirmação do deslocamento das placas tectônicas. Hoje são conhecidas dez grandes placas e algumas placas menores. O deslocamento dessas placas influencia diretamente toda a vida do planeta, na maioria das vezes afastando, ora aproximando faunas diversas. As zonas de contato de placas produzem algumas transformações nas rochas, produzindo um novo grupo de rochas, denominado de metamórficas. Existem alguns tipos de metamorfismo que somente ocorrem nas zonas de colisão de placas. Todos os grandes dobramentos modernos são produzidos nas zonas de colisão.

## **Informação sobre a próxima aula**

Na próxima aula, falaremos sobre vulcanismo e terremotos. Esses eventos estão intimamente ligados à tectônica de placas, que você acabou de ver. Falaremos sobre os diversos tipos de vulcanismo, os tipos de terremotos e sobre essa atividade no Brasil e no mundo.



# Aula 7

## Vulcanismo, terremotos e tsunamis: os fenômenos naturais que assustam a humanidade

*Antonio Soares da Silva  
Alexssandra Juliane Vaz*

## Meta da aula

Apresentar a dinâmica dos fenômenos naturais: vulcões, terremotos e tsunamis, a partir da tectônica do planeta.

## Objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. identificar áreas onde o vulcanismo ocorre com maior frequência;
2. descrever como ocorrem os terremotos;
3. correlacionar os terremotos no assoalho oceânico e a ocorrência de tsunamis.

## INTRODUÇÃO

Em abril de 2010, os aeroportos europeus pararam, e pelo menos 17 mil voos foram cancelados naquele mês. Veja a manchete do sítio G1 no dia 15 de abril: “Cinza espalhada por vulcão da Islândia fecha aeroportos na Europa.” O nome do culpado é Eyjafjallajökull, o vulcão que lançou fumaça carregada de enxofre a 11 mil metros de altura. Especialistas explicaram que, por menor que seja a quantidade, as cinzas de um vulcão podem danificar as turbinas e outros equipamentos das aeronaves, a curto ou longo prazo, aumentando o risco de sofrer uma pane.

Fato semelhante aconteceu em junho de 2011, no Brasil, após a emissão de cinzas do vulcão chileno Puyehue, que atingiu parte significativa da atmosfera da América do Sul, prejudicando voos em Buenos Aires, Montevideu, São Paulo, Porto Alegre, Rio de Janeiro e mesmo na Austrália.

Além dessas notícias, também é comum ver nos jornais de todo o mundo informações sobre os prejuízos causados pelo vulcanismo no Japão, no Caribe, no Sudeste Asiático e em vários outros cantos do planeta.

Como você deve estar observando, quase todas as notícias divulgadas pela imprensa relatam caos e destruição. Mas será que a existência do vulcanismo traz apenas consequências negativas? Veremos que não. Nosso objetivo aqui é explicar esse fenômeno natural, apresentando suas causas, sua importância para a Terra e seus produtos. Vamos conhecer os processos que levam o magma à superfície, a classificação e morfologia dos vulcões, seus riscos e seus benefícios à humanidade.

Vamos apresentar e discutir como esses fenômenos associados à dinâmica interna ocorrem, sua frequência e os ambientes mais propícios. Ao final desta aula, esperamos que você possa distinguir o que é verdade científica e previsões alarmistas sobre o fim do mundo.

## Vulcão: a válvula de uma panela de pressão

Para começar, antes que você responsabilize os vulcões pelos prejuízos que causam na superfície terrestre, pense no que aconteceria com uma panela de pressão sem o pino que libera o vapor produzido pelo aquecimento no seu interior. Certamente, ela explodiria! Assim como a panela, o planeta Terra precisa liberar a energia contida em seu interior, e o sábio mecanismo desenvolvido pela natureza para esse fim foram os vulcões. Vamos entender isso.

O vulcanismo abrange todos os processos e eventos que permitem e provocam a ascensão do material magmático, do interior para a superfície da Terra, em estado gasoso, líquido e/ou sólido. Podemos definir um vulcão como sendo uma estrutura geológica elevada e cônica, criada quando magma, gases e partículas quentes (como cinzas) escapam para a superfície terrestre. Eles lançam estes materiais em alta quantidade na atmosfera, podendo causar resfriamento climático temporário.



**Figura 7.1:** Erupção do vulcão Stromboli, na costa da Sicília, Itália.  
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:DenglerSW-Stromboli-20040928-1230x800.jpg>

A erupção vulcânica é a liberação do calor interno terrestre, acumulado durante os anos do tempo geológico, principalmente em decorrência do decaimento de elementos radioativos. Esse fluxo de calor é o fenômeno responsável pela destruição da crosta através dos vulcões e terremotos (que veremos adiante).



### **Vulcões extraterrestres**

Este quadro poderia ter outro título: só existem vulcões na Terra? Já vimos na Aula 1 que as atividades vulcânicas também ocorrem na Lua e em outros planetas. Em Marte, temos a maior estrutura vulcânica conhecida do sistema solar. Trata-se do monte Olimpo, que apresenta um cone de 26 km de altura. No satélite mais interno de Júpiter (Io), as erupções vulcânicas expõem lavas com temperaturas superiores às da Terra; os jatos de enxofre alcançam mais de 300 km de altura.

A Terra possui vulcões desde o início da sua formação; aliás, já falamos disso também na Aula 1. No entanto, os vulcões possuem uma vida útil, ou seja, nascem, crescem e morrem ou ficam extintos. Onde a tectônica está ativa, temos vulcões ativos, e onde a tectônica não atua mais, os vulcões estão extintos e deixam apenas suas marcas para que saibamos que um dia já estiveram liberando a energia do interior do planeta.

Qual é a diferença entre um vulcão adormecido e um extinto? Não existe um consenso sobre qual é o tempo necessário para afirmar que um vulcão está extinto. O seu tempo de vida pode ser de alguns meses até milhões de anos. Existem vulcões que tiveram sua última erupção há alguns milhares de anos, mas ainda não se pode afirmar que os mesmos estão extintos. Assim, o conceito de

adormecido refere-se ao intervalo de tempo entre uma erupção e outra, e o conceito de extinto é utilizado quando se descobre uma estrutura vulcânica em um local tectonicamente estável.

Para exemplificar, apresentamos o caso do vulcão Tungurahua, localizado nos Andes equatorianos. Após 70 anos de repouso, ele voltou à ativa, em 1999, provocando a migração forçada de cerca de 25 mil pessoas que viviam na região.

Será que é possível avaliar a magnitude de uma erupção?

Podemos avaliar a magnitude pelo número de vítimas, pela quantidade de material expelido ou mesmo pelo tempo de duração da erupção. Confira os dados da tabela a seguir:

**Tabela 7.1:** Magnitude das erupções vulcânicas

<b>Vulcão</b>	<b>Local/Ano</b>	<b>Magnitude da erupção</b>
Stromboli	Itália, 1996	pequena
Ulzen	Japão, 1991	moderada
Nevado del Ruiz	Colômbia, 1985	moderada a grande
Santa Helena	EUA, 1980	enorme
Pinatubo	Filipinas, 1991	gigantesca
Tambora	Indonésia, 1815	colossal
Krakatoa	Indonésia, 1883	colossal
Yellowstone	EUA, 630.000 a.C.	incomensurável

Fonte: Modificado de Teixeira et al., 2009.

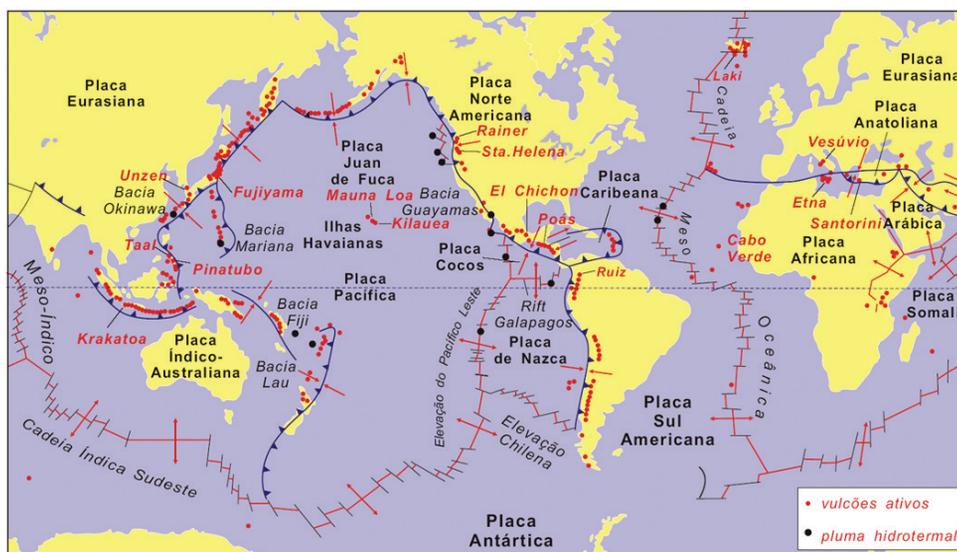


Os vulcões aparecem em várias mitologias, sempre associados ao fogo ou ao calor interno da Terra. Na mitologia latina, o deus Vulcano, ou deus do fogo, era festejado em festas em várias cidades do Império Romano, inclusive em Pompeia. Na mitologia grega, Vulcano era conhecido como Hefesto, filho de Zeus com sua irmã Hera. Hefesto foi lançado ao mar por Zeus e passou a viver em uma ilha vulcânica.



## Atende ao Objetivo 1

1. O Círculo de Fogo do Pacífico é uma famosa área, no entorno deste oceano, devido à elevada ocorrência de vulcanismo e terremotos. Observe a figura a seguir e explique por que esta área possui um grande número de vulcões ativos.



---

---

---

---

---

### Resposta Comentada

Nesta área, há uma intensa atividade tectônica, com grande número de vulcões ativos e terremotos, devido ao fato de ser uma região de colisão de placas tectônicas. Assim, sempre que há a liberação de energia ocorrem tremores de terra ou algum vulcão entra em erupção.

## A estrutura de um vulcão

A morfologia do monte Fuji, no Japão, apresenta o formato cônico, o mais comum de um vulcão. Mas nem sempre a lava chega à superfície através deste tipo de edifício vulcânico; há casos em que a erupção ocorre através de fissuras na crosta, com poucos metros de largura e quilômetros de profundidade.



O monte Fuji localiza-se em um dos pontos de encontro da Placa Euroasiática, da Placa de Okhotsk e da Placa das Filipinas, que formam parte do território japonês. O vulcão está classificado como ativo, porém com baixo risco de erupção, já que a última foi registrada em 1707, há mais de 300 anos. O monte Fuji está na ilha de Honshu e é a montanha mais alta do Japão (35º do mundo). Recebe anualmente cerca de 200 mil pessoas entre alpinistas e turistas do mundo todo.

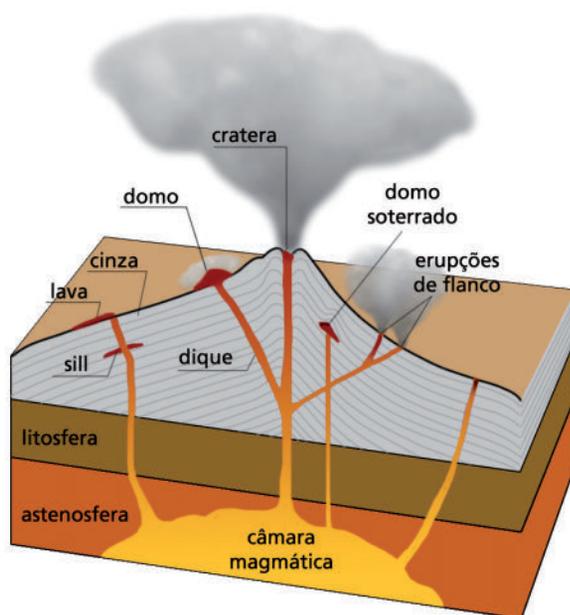


**Figura 7.2:** Fotografia clássica do monte Fuji.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:FujiSunriseKawaguchiko2025WP.jpg>

A composição química, o conteúdo dos gases, a viscosidade e a temperatura da lava são fatores responsáveis pelo formato de um vulcão. Quando as lavas são pouco viscosas, formam edifícios vulcânicos suaves e derrames extensos e espessos. As lavas que apresentam bastante viscosidade não fluem com facilidade, resultando em edifícios mais íngremes. O modo de acumulação do material vulcânico também depende das características do ambiente superficial. No caso do vulcanismo submarino de grande profundidade, a pressão da água diminui a força da explosão e impede a formação e a expansão do vapor. Além disso, a água tem a capacidade de resfriar a lava mais rápido que o ar, deixando a parte submersa mais íngreme que o perfil localizado acima do nível do mar.

Os principais elementos geométricos de um vulcão são a caldeira e a cratera. A cratera é como um vaso de boca larga por onde o magma e demais produtos associados extravasam. Ela está ligada à câmara magmática, através da chaminé. As paredes de uma cratera podem desmoronar com o passar do tempo, causando o seu preenchimento parcial (**Figura 7.3**).



**Figura 7.3:** Perfil esquemático de um vulcão do tipo estrato.  
Fonte: Modificado de Teixeira et al. (2009).

A caldeira é uma depressão circular que se forma no topo do vulcão, em decorrência do colapso da cratera, que ocorre pela perda de apoio interno, devido ao escape de gases e à saída do magma. Nos vulcões extintos, a caldeira e a cratera podem ser preenchidas por água e, caso este vulcão seja reativado, irá emitir torrentes de lama, emanação de gases e a liberação da água acumulada com o passar dos anos.



### Yellowstone e Poços de Caldas

O Parque Nacional Yellowstone, nos EUA, possui a mais famosa caldeira vulcânica do mundo, por vezes designada como supervulcão de Yellowstone. Sua cratera possui cerca de 90 quilômetros de extensão, e sua caldeira é 40 vezes maior do que a do monte Santa Helena, totalizando aproximadamente 2.800 km<sup>2</sup> de área. A denominação de supervulcão deve-se ao fato de que uma possível erupção poderia durar semanas, persistindo por meses ou até por anos, provocando grandes danos ao planeta, podendo causar a extinção de diversos animais, inclusive a do ser humano. No Brasil, a caldeira mais conhecida está na região de Poços de Caldas (MG), uma estância hidromineral famosa pelas águas sulfurosas medicinais.



**Figura 7.4:** Gêiser em atividade no Parque Nacional de Yellowstone (EUA).  
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Steam\\_Phase\\_eruption\\_of\\_Castle\\_geyser\\_with\\_double\\_rainbow.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Steam_Phase_eruption_of_Castle_geyser_with_double_rainbow.jpg)

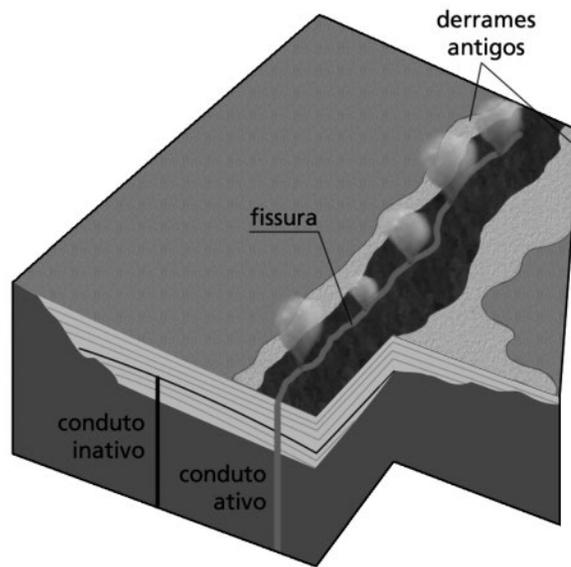


### Filme: 2012

Na trama, devido a bombardeamentos de erupções solares, o núcleo da Terra começa a aquecer a um ritmo sem precedentes, provocando o deslocamento da crosta terrestre. Isso resulta em vários tipos de cenários apocalípticos, dentre eles, a erupção do supervulcão de Yellowstone, mergulhando o mundo em caos. Vale a pena assistir.

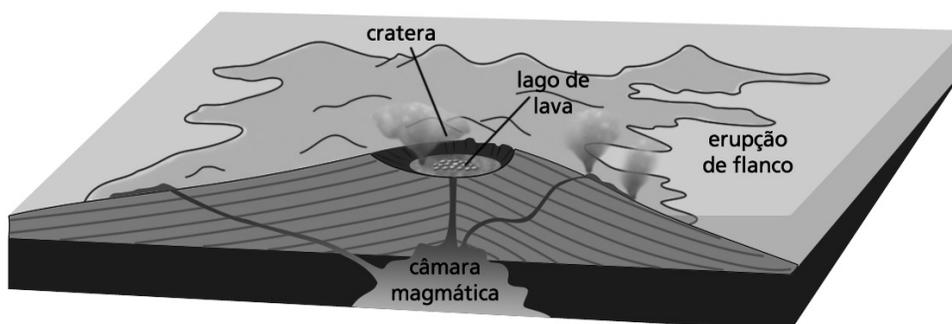
Os vulcões apresentam diferentes estilos de liberação da lava, o que permite classificar as erupções vulcânicas em fissurais (**Figura 7.5**) ou centrais (**Figura 7.6**). Esta classificação depende da sua localização em relação às placas litosféricas e ao tipo de seus produtos.

a) Erupções fissurais: correspondem ao principal tipo de atividade ígnea terrestre em termos de volume. São um tipo de vulcanismo onde não há formação de cone vulcânico. A ascensão da lava dá-se através das fissuras da crosta, e por isso estas são chamadas vulcões de rift (falhamento). Elas ocorrem nos vales submarinos mais profundos, localizados ao longo das cadeias montanhosas meso-oceânicas, distribuídas por mais de 76.000 km de comprimento sob os oceanos. Foi este tipo de erupção vulcânica que deu origem à Formação Serra Geral da bacia do Paraná, na passagem entre o Jurássico e o Cretáceo, e atualmente pode ser vista na Islândia.



**Figura 7.5:** Esquema de erupções fissurais como as que ocorrem após a abertura do oceano Atlântico.  
Fonte: Modificado de Teixeira et al. (2009).

b) Erupções centrais: neste tipo de erupção, ocorre a formação do edifício vulcânico, com fortes explosões que expõem lava e grande volume de cinzas. Os cones são classificados em estratovulcões (mais comuns), vulcões de escudo (comuns no Havaí), domos vulcânicos e cone vulcânico.



**Figura 7.6:** Esquema de uma erupção pontual de vulcão tipo escudo.  
Fonte: Modificado de Teixeira et al. (2009).

Os principais produtos vulcânicos encontram-se listados na tabela.

<b>Produto</b>	<b>Tipo de erupção</b>	<b>Características dos componentes</b>
Lava; Fontes de lava	Erupção magmática fluida ou viscosa	Rocha em estado de fusão, frequentemente contendo minerais, acompanhada por liberação de gases
Cinzas <i>Lapilis</i> Blocos Bombas	Erupção explosiva de fragmentos sólidos e semiplásticos, ejetados na atmosfera	Partículas da dimensão de grãos de areia ou mais finas (silte) Ejetólitos no estado sólido ou ainda pastoso (2 – 64mm) Fragmentos de lava ou rocha encaixante (> 64 mm) Massas arredondadas ou alongadas de lava (> 64 mm), ejetadas em estado pastoso
Gases	Erupções diversas	Exalações de vapor de água CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , S, C, H e Ar
Nuvens ardentes	Erupções explosivas com fluxo piroclástico	Emulsões superaquecidas com fragmentos de rochas e lava
Lahar	Fluxo de lama associado a fenômenos eruptivos ou consequentes	Torrentes de alta densidade com fragmentos de rocha e outros materiais que se movimentam por gravidade
Fumarola; Gêiser	Atividade vulcânica terminal ou quiescente	Ejeções intermitentes de água e vapores; exalações de gases, geralmente causando precipitados minerais

## Vulcanismo no Brasil

Nos dias atuais, o Brasil não possui nenhum registro de vulcão ativo. Nosso território deixou de ser afetado por atividades vulcânicas há pelo menos 80 milhões de anos. Entretanto, nosso país foi marcado por intensa manifestação vulcânica no passado (Mesozoico), responsável pela formação de diversos ambientes e relevos. Porém, por se tratar de um fenômeno antigo e de superfície, seus produtos foram sendo erodidos ao longo dos anos, deixando poucos testemunhos no presente.

O intenso magmatismo do Mesozoico atingiu diversas regiões, principalmente o Sul, na bacia do rio Paraná. Uma área com aproximadamente 1 milhão de km<sup>2</sup> foi coberta por lavas basálticas, que chegam a centenas de metros de espessura em certos lugares.

Após este evento de derrame de lavas básicas, passou a ocorrer no Brasil erupções vulcânicas pontuais e com um magma de caráter alcalino-sódico. Os principais representantes deste vulcanismo são as intrusões alcalinas de Lajes (SC), Poços de Caldas (MG), Jacupiranga (SP), Araxá (MG), Itatiaia, Nova Iguaçu e morro de São João, estes três últimos no estado do Rio de Janeiro (**Figura 7.5**).



**Figura 7.7:** Imagem de satélite, captura do programa Google Earth, evidenciando o domo vulcânico do morro de São João, localizado no município de Casemiro de Abreu, estado do Rio de Janeiro. Observe o aspecto da circularidade.

A origem do vulcanismo na serra geral da bacia do Paraná deve-se à presença de anomalias térmicas no manto, acompanhadas por sucessivas rupturas na crosta, e/ou à existência de fissuras profundas na crosta. Tudo isso esteve associado à fragmentação do supercontinente Gondwana, que culminou com a formação do assoalho do oceano Atlântico (fenômeno verificado até os dias atuais), como visto na Aula 6.

O vulcanismo mais moderno da história geológica do país está restrito às nossas ilhas do oceano Atlântico, tais como: Fernando de Noronha (suas fases vulcânicas ocorreram entre 11,8 até 1,7 milhões de anos), Trindade, rochedos de São Pedro e São Paulo, e Abrolhos.



### **O vulcão de Nova Iguaçu**

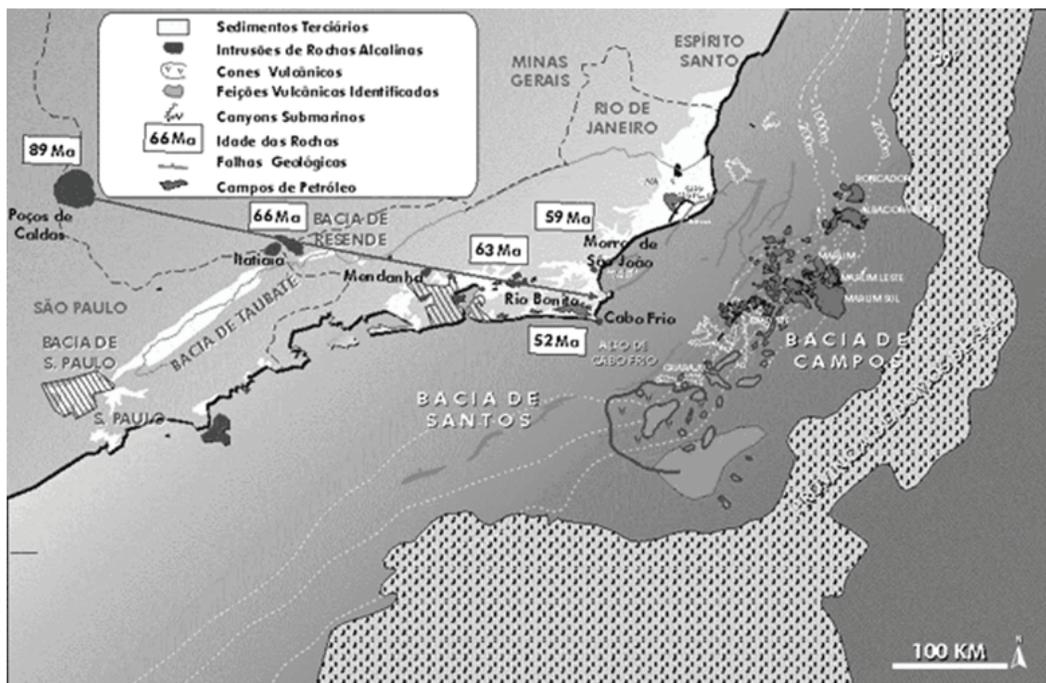
Quem mora no Rio de Janeiro, certamente, já ouviu falar do vulcão de Nova Iguaçu. Existe mesmo vulcão em Nova Iguaçu?

A hipótese do vulcão de Nova Iguaçu não é uma teoria comprovada, e sim uma discussão científica ainda em aberto. Pesquisas recentes realizadas por uma equipe conjunta da UERJ, da UFF e a Petrobras revelaram a inexistência de cratera, edifício vulcânico, derrames de lava e fluxos piroclásticos em Nova Iguaçu. Os trabalhos indicam que a região de Nova Iguaçu sofreu uma denudação aproximada de 3 km de profundidade que eliminou os edifícios vulcânicos que estiveram presentes na era dos dinossauros. Logo, não existe mais o vulcão de Nova Iguaçu. As rochas atualmente expostas correspondem aos corpos subvulcânicos de quilômetros de profundidade da época de erupção. Para mais informações, consultar o sítio do Projeto Caminhos Geológicos no seguinte endereço: [http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/sitept/index.php?http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/lista\\_placas](http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/sitept/index.php?http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/lista_placas)  
Ao acessar a página, procure Nova Iguaçu na lista de municípios.



## Atende ao Objetivo 2

2. As atividades vulcânicas no Brasil existiram há milhões de anos, e não há mais vulcões ativos no território brasileiro. A atividade vulcânica ficou concentrada em intrusões de rochas alcalinas, tais como em Poços de Caldas (89 milhões de anos), Itatiaia (66 milhões de anos), Rio Bonito (63 milhões de anos) e morro de São João (59 milhões de anos), conforme apresentado na figura a seguir.



Fonte: Modificado de Mahriok et al., 1995.

Qual é a relação entre as idades do magmatismo alcalino (vulcões extintos) e o deslocamento da placa tectônica da América do Sul para a esquerda?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Resposta Comentada

O vulcanismo no Brasil está associado à abertura do oceano Atlântico. Assim, à medida que nova crosta foi se formando, os vulcões foram se extinguindo. Por isso, Poços de Caldas é o mais antigo, com 89 milhões de anos, e as nossas ilhas oceânicas possuem apenas alguns poucos milhões de anos, como Fernando de Noronha, que possui vulcanismo datado entre 11,8 a 1,7 milhões de anos.

---



Multimídia

### As formas geográficas e o derrame de lava

O derrame de lavas basálticas no Sul do Brasil deu origem a diversos cânions e quedas-d'água. Em alguns locais, como próximo a Torres, no estado do Rio Grande do Sul, a espessura do pacote de lavas basálticas ultrapassa os 1.000 metros de espessura. A região deu origem a paisagens belíssimas entre os estados de Santa Catarina – cânion Fortaleza (São Joaquim e Lauro Muller) e Rio Grande do Sul – cânion do Itaimbezinho (Caxias do Sul), assim como as cataratas do Iguazu (ICMBio - [http://www4.icmbio.gov.br/parna\\_iguacu/](http://www4.icmbio.gov.br/parna_iguacu/) e <http://www.cataratasdoiguacu.com.br/portal/>).



**Figura 7.8:** Cânion do Itaimbezinho, localizado no Rio Grande do Sul, próximo à divisa com Santa Catarina. Sua origem está associada aos derrames de lavas basálticas da bacia do Paraná, durante o Mesozoico.

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Itaimbezinho.jpeg>

## O estudo dos vulcões e os riscos

O trabalho de cientistas que estudam os vulcões é o de se antecipar às grandes erupções que possam colocar em risco as pessoas que residam nas cercanias dos vulcões. O mapeamento das áreas de risco estabelece zonas de segurança para o uso do solo em regiões típicas de vulcanismo e, assim, rotas alternativas de fuga.

Hoje em dia, são utilizados instrumentos que monitoram e detectam os sinais da atividade vulcânica, mesmo que precocemente, tais como: movimentação do magma em profundidade, dilatação e inclinação do terreno vulcânico e emissões gasosas que normalmente precedem as erupções.

Um bom exemplo foi a retirada de 250.000 pessoas da área de risco antes da erupção do vulcão Pinatubo (Filipinas), em 1991. Isso foi possível porque os sismógrafos perceberam a ascensão do magma, e as autoridades locais tiveram tempo suficiente para remover a população.

As erupções vulcânicas são capazes de influenciar o comportamento do clima, provocando inicialmente o aquecimento da atmosfera, mas logo após há um resfriamento, devido ao bloqueio da luz solar. O impacto maior dos gases vulcânicos está relacionado à liberação de cinzas e  $\text{SO}_2$ , que se transforma em ácido sulfúrico após a interação entre os raios solares e o vapor de água presentes na estratosfera.

O vulcanismo também é importante fonte de produção de energia em campos geotérmicos (locais próximos aos corpos ígneos subsuperficiais). A produção de energia elétrica “limpa” e renovável ocorre da seguinte forma: o calor do processo magmático aquece a água que está aprisionada nas rochas, e estas, quando perfuradas, permitem o escape veloz de fluidos (água e vapor) que giram turbinas, produzindo a eletricidade.

Além desse benefício, os vulcões produzem recursos minerais de origem hidrotermal. As lavas, ricas em nutrientes, transformam-se em solos férteis com o passar dos anos, e outros produtos são aproveitados comercialmente, como aditivos ao cimento, abrasivos, ingredientes farmacêuticos e para a indústria de materiais de limpeza.



### **Magma e solo**

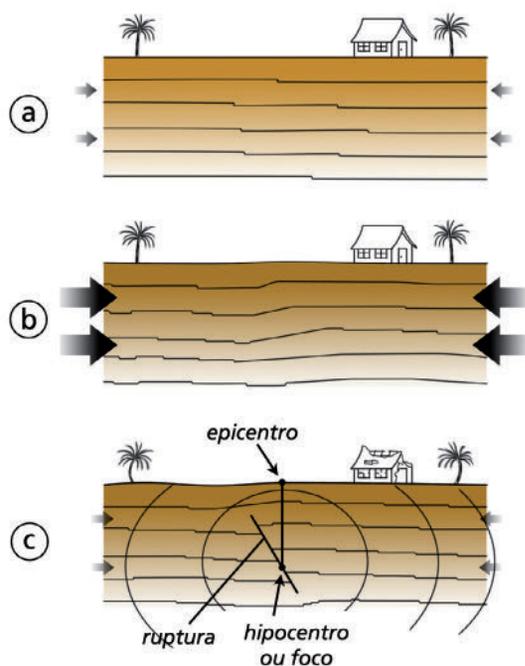
As rochas vulcânicas da bacia do Paraná têm uma importância muito grande para a agricultura do Brasil. Os solos que se desenvolveram sobre estas apresentam boa fertilidade e são, até os dias atuais, intensamente explorados para produção agrícola. As antigas terras roxas (atuais nitossolos) são solos de coloração avermelhada e com boa fertilidade. Estes solos surgiram como resultado do intemperismo de rochas basálticas, pertencentes à Formação Serra Geral e originaram-se do maior derrame vulcânico que o planeta já presenciou. Sua aparência vermelho-escura está relacionada à presença de minerais de ferro. Este tipo de solo aparece, além dos estados da região Sul, do estado de São Paulo, no sul e no sudoeste de Minas Gerais e sudeste do Mato Grosso do Sul. O nome, Terra Roxa, foi dado pelos imigrantes italianos que trabalhavam nas fazendas de café. Eles se referiam ao solo pelo nome terra rossa, que em italiano, significa vermelho, devido à pronúncia, os brasileiros aportuguesaram o termo italiano, então, para terra roxa. A diversidade dos cultivos possíveis sobre esse solo inclui a cultura de cana-de-açúcar, café, milho, soja, trigo e frutas.

## **Terremotos**

Para entender como os terremotos ocorrem, temos de estudá-los, associados à movimentação das placas da litosfera (conforme apresentado na Aula 6).

Terremotos são tremores passageiros da crosta que ocorrem próximo à superfície terrestre. Eles podem ser desencadeados por atividades vulcânicas, falhas geológicas e, principalmente, pelo encontro entre placas tectônicas.

Com a movimentação das placas tectônicas, as tensões vão se acumulando. Essas pequenas movimentações, compressivas ou distensivas, já são suficientes para produzir perturbações internas, principalmente nas bordas das placas, onde as tensões são maiores e vão se acumulando. Enquanto a rocha tiver resistência para suportar as tensões, nada ocorre. Quando as rochas atingem o limite da sua resistência, ocorre uma ruptura, e esse movimento repentino gera vibrações que se propagam na forma de ondas em todas as direções. O local em que a ruptura inicia-se e as tensões são liberadas é denominado hipocentro (ou foco); sua projeção na superfície é o epicentro, e a distância entre esses dois pontos é chamada de profundidade focal, conforme apresentado na **Figura 7.9**:



**Figura 7.9:** Um sismo é resultado da acumulação de energia e esforços ao longo de uma ruptura (falha tectônica).

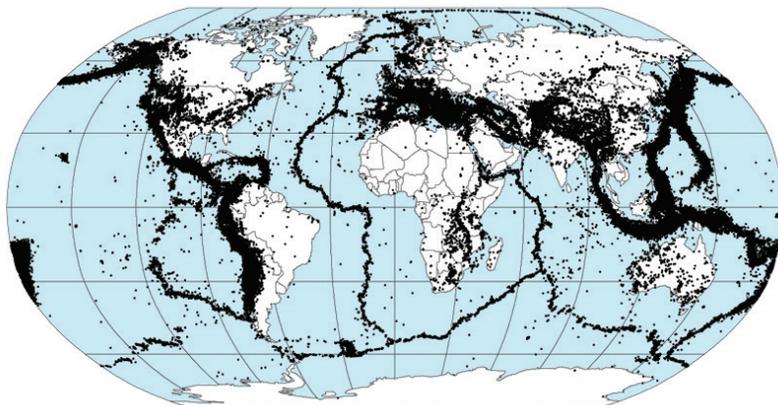
- a) as forças compressivas acumulam-se ao longo dos anos;
- b) o limite de resistência das rochas é excedido;
- c) há uma ruptura, gerando vibrações que provocam destruição na superfície.

Fonte: Modificado de Teixeira et al. (2000).

Os terremotos de grande magnitude causam grandes destruições e estão associados às zonas de placas tectônicas convergentes, como no Haiti, onde um terremoto de magnitude 7 deixou mais de 200 mil mortos em janeiro de 2010. O país mais pobre das Américas ainda teve 300 mil feridos, 4 mil pessoas amputadas, milhares de desabrigados e mais da metade das construções completamente destruídas.

Quando são de baixa intensidade, não causam grandes estragos, e normalmente são chamados de abalos sísmicos ou tremores de terra.

Observe na **Figura 7.10** que os pontos dos terremotos coincidem com os limites das placas tectônicas:



**Figura 7.10:** Determinação dos epicentros de 358.214 tremores entre 1963 e 1998.

Fonte: Modificado de [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Quake\\_epicenters\\_1963-98.png](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Quake_epicenters_1963-98.png)

A intensidade dos terremotos pode ser classificada de acordo com os efeitos que as ondas sísmicas provocam nos lugares, a partir da descrição das consequências sobre pessoas, objetos, construções e natureza (escala de Mercalli Modificada) ou de acordo com a intensidade da energia liberada (Escala Richter – **Tabela 7.2**). Na escala de Mercalli Modificada, cada grau corresponde ao dobro da aceleração do grau anterior (**Tabela 7.3**), enquanto que na Escala Richter cada ponto da escala corresponde a um fator 10 vezes maior nas amplitudes das vibrações.

**Tabela 7.2:** Escala Richter

<b>Efeitos do terremoto na escala Richter</b>	
Menos de 3,5	Geralmente, não é sentido, mas pode ser registrado.
3,5 a 5,4	Frequentemente, não se sente, mas pode causar pequenos danos.
5,5 a 6,0	Ocasiona pequenos danos em edificações.
6,1 a 6,9	Pode causar danos graves em regiões onde vivem muitas pessoas.
7,0 a 7,9	Terremoto de grande proporção, causa danos graves.
De 8 graus ou mais	Terremoto muito forte. Causa destruição total na comunidade atingida e em comunidades próximas.

**Tabela 7.3:** A intensidade dos terremotos e a percepção dos seus efeitos

<b>Grau</b>	<b>Descrição dos efeitos</b>
I	Não sentido.
II	Sentido por poucas pessoas paradas, em andares superiores.
III	Sentido dentro de casa. Alguns objetos pendurados oscilam. Vibração parecida à da passagem de um caminhão leve.
IV	Objetos suspensos oscilam. Vibração parecida à da passagem de um caminhão pesado. Paredes e estruturas de madeira rangem.
V	Sentido fora de casa; direção estimada. Pessoas acordam. Portas oscilam, fecham, abrem.
VI	Sentido por todos. Muitos se assustam e saem às ruas. Janelas, louças quebradas. Reboco fraco e construção de má qualidade racham.
VII	Difícil manter-se em pé. Objetos suspensos vibram. Algumas trincas em construções normais. Escorregamentos de barrancos arenosos.
VIII	Colapso parcial em construções normais. Queda de chaminés, monumentos, torres e caixas-d'água. Trincas no chão.
IX	Pânico geral. Construções comuns bastante danificadas. Tubulação subterrânea quebrada. Rachaduras visíveis no solo.
X	Maioria das construções destruída até nas fundações. Danos sérios a barragens e diques. Grandes escorregamentos de terra.
XI	Trilhos entortados. Tubulações subterrâneas completamente destruídas.
XII	Destruição quase total. Grandes blocos de rochas deslocados. Linhas de visada e níveis alterados. Objetos atirados ao ar.



### **A Escala Richter**

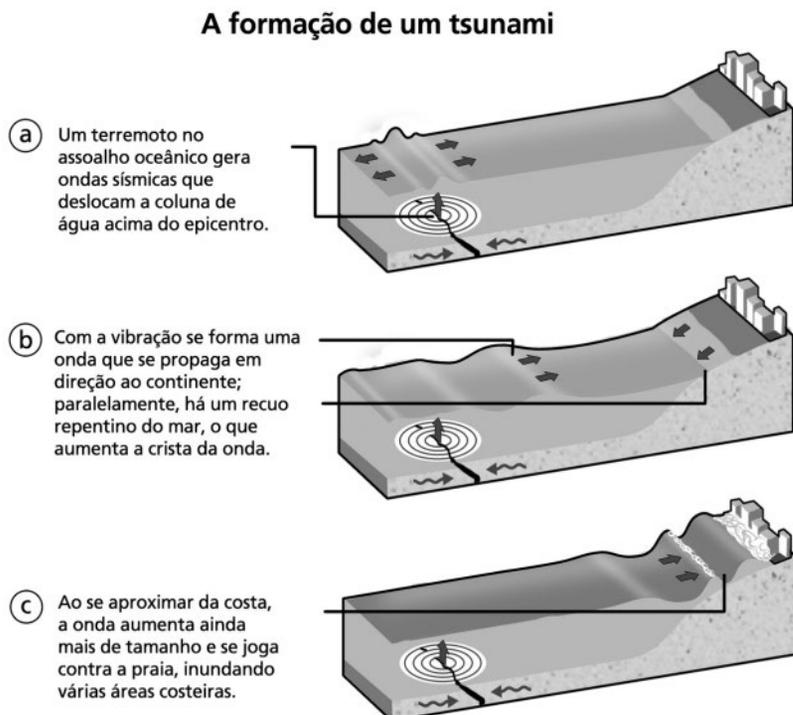
Esta escala mede o tamanho relativo dos sismos, ou seja, a sua magnitude. Ela foi criada, em 1935, por Charles Richter. Essa escala é logarítmica, ou seja, de um grau para o grau seguinte a diferença na amplitude das vibrações é de dez vezes. Isso significa que um terremoto de magnitude 8 tem vibrações dez vezes maiores que um terremoto de magnitude 7 e cem vezes maiores que um cuja magnitude é 6. A Escala Richter não tem fim. Até hoje, não houve um terremoto de 10 graus. Para se ter uma ideia mais exata do que representa um terremoto muito forte, se ele atingir magnitude 9 na Escala Richter, provocará uma rachadura que cortará a crosta terrestre numa distância igual à que separa o Rio de Janeiro de São Paulo, com cada bloco afastando-se 10 m em relação ao outro. Em 90% dos casos, a magnitude de um terremoto não passa de 7 graus.

## **Tsunamis**

Os tsunamis são ondas gigantes que podem atingir regiões costeiras após a ocorrência de um grande terremoto com epicentro no mar. Elas são geradas pelo deslocamento rápido da coluna de água na área epicentral de um terremoto ocorrido em uma falha próxima ao fundo do mar. Esse deslocamento propaga-se como ondas em todas as direções e sua velocidade irá depender da profundidade do mar.

Os tsunamis são mais frequentes no Pacífico, devido à predominância de falhas inversas nas zonas de subducção. Quando ocorrem em alto-mar, as ondas têm a velocidade de um avião e o comprimento de centenas de metros. As ondulações são suaves e

acabam passando despercebidas. Próximo do litoral, a velocidade da onda diminui, causando acumulação da energia em uma extensão menor de água, o que provoca o aumento da altura da onda e o transporte da água para a costa, causando as inundações (**Figura 7.11**).



**Figura 7.11:** Esquema da propagação de um tsunami.



---

### Atende aos Objetivos 2 e 3

3. Assim como os vulcões, os terremotos também são frequentes no oceano Pacífico. No entanto, a ocorrência de terremotos pode vir acompanhada de tsunamis, como os que ocorreram em 2004, na Tailândia e na Indonésia, e em 2011, no Japão. Em que situação um terremoto pode gerar um tsunami? Explique sua resposta.

---

---

---

---

---

---

---

### *Resposta Comentada*

Um terremoto, quando ocorre no assoalho oceânico, pode causar ondas gigantes (tsunamis). Há um deslocamento da massa de água acima do local onde ocorreu o terremoto, fazendo com que a água desloque-se em todas as direções. Quando se aproximam do continente, estas ondas gigantes inundam terras planas, situadas junto ao litoral.

---

## CONCLUSÃO

Vulcões, terremotos e tsunamis fazem parte do cotidiano do planeta. São mais frequentes em algumas zonas onde a atividade tectônica é mais ativa. Algumas ações podem ser tomadas para se conviver com estes fenômenos, mas na maioria das vezes, o processo é tão rápido que não há tempo para se prevenir, principalmente

com relação aos terremotos. Hoje, uma grande parte da população mundial vive em áreas sujeitas a estes fenômenos. Uma atividade tectônica global poderia mudar o clima do planeta e ameaçar grande parte da vida que existe. Esta é uma situação difícil, mas não é impossível de acontecer, pois já ocorreu no passado.

## Atividade Final

---

### Atende aos Objetivos 1, 2 e 3

Durante o terremoto, seguido de um tsunami que ocorreu na Tailândia e na Indonésia, em 2004, uma menina inglesa que passava férias em uma cidade da Tailândia conseguiu salvar várias pessoas. Ela usou o conhecimento adquirido nas aulas de Geografia e deu o alerta de tsunami. Com base na **Figura 7.11** e, considerando que você está em uma praia no oceano Pacífico, diga qual das situações apresentadas pode ser utilizada como indicador da ocorrência de tsunami. Explique sua resposta.

---

---

---

---

---

---

### Resposta Comentada

Das situações apresentadas, o recuo repentino do nível do mar é o indicador que pode ser utilizado por uma pessoa na praia. Sabemos que o mar apresenta pequenos recuos em função das ondas considerados normais. Um recuo muito grande e repentino é o que indicaria a proximidade de um tsunami, pois com esse recuo a altura da onda fica maior e pode atingir áreas fora da zona de arrebentação, consideradas normais.

## RESUMO

Nesta aula, você viu as características de vulcões, terremotos e como se forma um tsunami. Os vulcões e terremotos são a face mais visível da atividade endógena da Terra. Seu poder de destruição é muito grande. Vulcões impedem que aviões se desloquem; terremotos destroem a infraestrutura de cidades e põem em risco todo o processo de ajuda às pessoas afetadas. Os países que possuem maior desenvolvimento são os que mais sofrem prejuízos com estes fenômenos, vide o que ocorreu com o Japão, em março de 2011. No entanto, os países mais pobres são os que apresentam maior número de mortos, como exemplificado pelo Haiti, em janeiro de 2010.

### **Informação sobre a próxima aula**

Na próxima aula, continuaremos a falar sobre a atividade tectônica e como ela fica impressa nas rochas. Falaremos sobre as deformações e a quebra em materiais rochosos.

# Geologia Aplicada à Geografia

# Referências

## **Aula 1** .....

CORDANI, U. G. *O planeta terra e suas origens*. In TEIXEIRA, W. et al. (org.) *Decifrando a Terra*, SP: Companhia Editora Nacional, 2008.

ARAGÃO, M. J. *História da Terra*. RJ: Interciência, 2008.

LEINZ, VIKTOR e AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. SP: Editora Nacional, 1985.

KELLER, E. A. *Environmental Geology*. 9ª ed. Prentice Hall. 2011.

STEINER, J. E. *A origem do universo e do homem*. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v20n58/20.pdf>>

## **Aula 2** .....

Departamento de Geologia da UFRJ. Disponível em <http://www.geologia.ufrj.br/>

Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/>

LEINZ, VIKTOR e AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. SP: Editora Nacional, 1985.

MADUREIRA, J. B., ATENCIO, D. MCREATH, I. *Minerais e rochas: constituintes da terra sólida*. In TEIXEIRA, W. et al. (org.) *Decifrando a Terra*. SP: Companhia Editora Nacional, 2008, p. 27-42.

UNESP. *Museu de Minerais e Rochas Heinz Ebert*. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/museudpm/entrar.html>

## **Aula 3** .....

TEIXEIRA, W. et al. (org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

## **Aula 4** .....

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Manuais técnicos em geociências*. Vol.4. Manual técnico de pedologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_pedologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_pedologia.pdf)>. Acesso em: 7 ago. 2012.

LEPSCH, I. F. *19 lições de Pedologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B.; MELFI, A.J. Intemperismo e formação dos solos. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008, p. 27-42.

## **Aula 5** .....

CARVALHO, I. S. *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2000.

TEIXEIRA, W. et al. (org.). *Decifrando a Terra*. SP: Companhia Editora Nacional, 2008.

## **Aula 6** .....

Projeto Caminhos Geológicos. Disponível em: <http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/sitept/home>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

Serviço Geológico dos Estados Unidos. Disponível em: <<http://geomaps.wr.usgs.gov/parks>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

TASSINARI, C.C.G.; DIAS NETO, C.M. Tectônica global. In TEIXEIRA, W. et al. (org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 78-107.

## **Aula 7** .....

TASSINARI, C. C. G.; DIAS NETO, C. M. Tectônica Global. In TEIXEIRA, W. et al (org.) *Decifrando a Terra*. SP: Companhia Editora Nacional, 2009, p. 78-107.

SZABÓ, G. A. J.; TEIXEIRA, W.; BABINSK, M. Magma e seus produtos. In TEIXEIRA, W. et al. (org.) *Decifrando a Terra*. SP: Companhia Editora Nacional, 2009, p. 152-185.

