

# DINÂMICA NATURAL DOS PROCESSOS DO MEIO FÍSICO

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Dilma Vana Rousseff  
MINISTRO DA EDUCAÇÃO: Aloizio Mercadante

**SISTEMA UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL**  
DIRETOR DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA DA COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO  
DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR – CAPES:  
Jean Marc Georges Mutzig

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
UNICENTRO**

REITOR: Aldo Nelson Bona  
VICE-REITOR: Osmar Ambrósio de Souza  
DIRETOR DO CAMPUS CEDETEG: Juliano Tadeu Vilela de Resende  
VICE-DIRETORA DO CAMPUS CEDETEG: Sonia Maria Kurchaidt  
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESP: Marcos Ventura Faria  
COORDENADORA NEAD/UAB/UNICENTRO: Maria Aparecida Crissi Knüppel  
COORDENADORA ADJUNTA NEAD/UAB/UNICENTRO: Jamile Santinello

**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS/GUARAPUAVA**

DIRETOR: Jorge Luiz Favaro  
VICE-DIRETOR: Luiz Gilbereto Bertotti

**CHEFIA DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA/GUARAPUAVA**

CHEFE: Sérgio Fajardo  
VICE-CHEFE: Sandra Lucia Videira Góis

**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO E PESQUISA NA  
CIÊNCIA GEOGRÁFICA**

COORDENADOR DO CURSO: Lisandro Pezzi Schmidt  
COORDENADOR DE TUTORIA: Aparecido Ribeiro de Andrade

**COMITÊ EDITORIAL DO NEAD/UAB**

Aldo Bona, Edelcio Stroparo, Edgar Gandra, Jamile Santinello, Klevi Mary Reali,  
Margareth de Fátima Maciel, Maria Aparecida Crissi Knüppel,  
Rafael Sebrian, Ruth Rieth Leonhardt.



GISELE PIETROBELLI  
ELIZA DO BELEM TRATZ

# DINÂMICA NATURAL DOS PROCESSOS DO MEIO FÍSICO

REVISÃO ORTOGRÁFICA  
Daniela Leonhardt  
Maria Cleci Venturini  
Soely Bettes

PROJETO GRÁFICO E EDITORAÇÃO  
Andressa Rickli  
Espencer Ávila Gandra  
Luiz Fernando Santos

CAPA  
Espencer Ávila Gandra

GRÁFICA UNICENTRO  
180 exemplares

Nota: O conteúdo da obra é de exclusiva responsabilidade dos autores.

# SUMÁRIO

---

INTRODUÇÃO	07
INTRODUÇÃO À CIENCIA GEOLÓGICA	09
MINERAIS	21
ROCHAS ÍGNEAS	39
METAMORFISMO E ROCHAS METAMÓRFICAS	59
SEDIMENTOS E ROCHAS SEDIMENTARES	69
RECURSOS MINERAIS, UM RECURSO NATURAL	83
PROCESSOS GEOAMBIENTAIS	93
REFERÊNCIAS	99



# INTRODUÇÃO

O que a paisagem esconde sobre as Eras geológicas? Você, já parou pra pensar que a paisagem natural que observamos diariamente guarda informações acerca do passado geológico da Terra? Muitas vezes, estas informações estão escondidas nas diferentes rochas e minerais. É através da datação de rochas que contamos a história da Terra em anos, milhões de anos, bilhões de anos.

Essas mesmas rochas e minerais que fornecem chaves para a interpretação das eras são capazes também de dar suporte à economia criando empregos e desenvolvendo regiões. Em contrapartida, a exploração dos recursos minerais pode resultar em sérios impactos ambientais, caso o quadro de legislação não seja seguido rigorosamente. Esse quadro configura os processos de interação entre o homem e o meio físico.

E as rochas, são todas iguais? Quais os processos geradores, ciclo e ligação com a dinâmica interna da Terra? Dinâmica interna capaz de movimentar as placas tectônicas e resultar em sismos violentos associados principalmente as zonas de colisão de placas, podendo acarretar em eventos geoambientais geofísicos como terremotos, manifestações vulcânicas e tsunamis.

Aliás, quando falamos em eventos geoambientais não podemos deixar de citar fatores da dinâmica externa da Terra ligados à biota, clima, meteorologia, hidrologia e quem diria, fatores extraterrestres, como o risco de impacto por meteoros. Todos estes eventos são capazes de gerar desde acidentes ambientais até desastres sendo os mais conhecidos no Brasil os

desastres hidrológicos causados, sobretudo, por enchentes e deslizamentos de massa.

Um pouco deste conteúdo é exposto neste livro, que conta com os seguintes capítulos temas: introdução à ciência geológica; minerais, rochas ígneas, rochas metamórficas, rochas sedimentares, recursos minerais e processos geoambientais.



# INTRODUÇÃO À CIÊNCIA GEOLÓGICA

**G**eologia, do grego *geo* = terra e *logia* = estudo, é a ciência que estuda a Terra, sua composição, estrutura, propriedades físicas, história e os processos que ocorreram e ocorrem no planeta, determinando a sua configuração. Está inserida entre as ciências da Terra.

## OBJETIVOS DA CIÊNCIA GEOLÓGICA

- Estudo das propriedades dos constituintes do interior e da superfície da Terra, em diferentes escalas (temporal e espacial);
- estudo dos processos geológicos que ocorrem no presente e que ocorreram no passado geológico do planeta;
- estabelecimento de procedimentos sustentáveis de utilização dos recursos materiais e fenômenos geológicos como fonte de matéria prima e energia;
- resolução de problemas ambientais causados anteriormente e estabelecimento de critérios para evitá-los.
-

# UM POUCO A RESPEITO DA HISTÓRIA DA GEOLOGIA

Admite-se que o primeiro marco na evolução da ciência geológica é o filósofo grego Tales de Mileto (624/625-556/558 a.C.), nascido na atual Turquia. Ele expressa uma das leis fundamentais da Geologia: “[...] a água modifica a face da Terra” (BAHIA, 2015).

Em 79 a.C. o naturalista Plínio, o Velho (33 a 79 a. C.), morre sufocado pelas cinzas do vulcão Vesúvio e seu sobrinho Plínio, o Moço, vinte e cinco anos, após faz narrativas detalhadas da erupção, tornando-se o primeiro vulcanologista da história.

Georgius Agrícola (1494-1555), com seu livro *Sobre a natureza dos metais*, torna-se o pai da mineralogia.

Nicolaus Steno (1638-1686) estabelece três princípios básicos da estratigrafia: Lei da Sobreposição de Estratos e os princípios da Horizontalidade Original e Continuidade Lateral dos estratos. Em Geologia, os seus estudos abrangem a Mineralogia e a Paleontologia.

O agrimensur William Smith (1769-1839), com base em inúmeras anotações, conclui que cada estrato de rocha contém fósseis que lhe são específicos e estabelece a correlação de camadas de rochas situadas a vários quilômetros de distância.

Georges Cuvier (1769 – 1832) propõe a Teoria das Revoluções ou Catástrofe – o catastrofismo.

James Hutton (1726-1797) propõe o princípio do uniformitarismo (atualismo) e Charles Lyell (1797-1875) a defende na obra *Princípios de Geologia*.

Não pode ser negligenciado, aqui, o Neocatastrofismo como modo de pensar a Geologia.

O meteorologista alemão Alfred L. Wegener (1880-1930), em 1912, propõe a Teoria da Deriva Continental, baseado em evidências geológicas, paleontológicas, paleoclimáticas. A teoria propõe a existência de um continente único chamado Pangea (cerca de 200-150 milhões de anos atrás) que, fragmentando-se, dá origem aos continentes atuais. Entretanto, suas ideias não são bem aceitas no meio científico e são esquecidas até as décadas de 50 e 60, quando surge a Teoria da tectônica de placas (TASSINARI, 2000).

Os pressupostos fundamentais da tectônica de placas são: a superfície da Terra é dividida em cerca de 12 placas principais e outras menores; os limites entre as placas podem ser construtivos, destrutivos e transcorrentes, cada um deles definindo atividades diferentes que resultam em produtos

diferentes e as placas abrangem tanto terrenos continentais como oceânicos (fundo dos mares) (TASSINARI, 2000). A tectônica de placas constitui, nas últimas décadas, um paradigma para a Geologia.

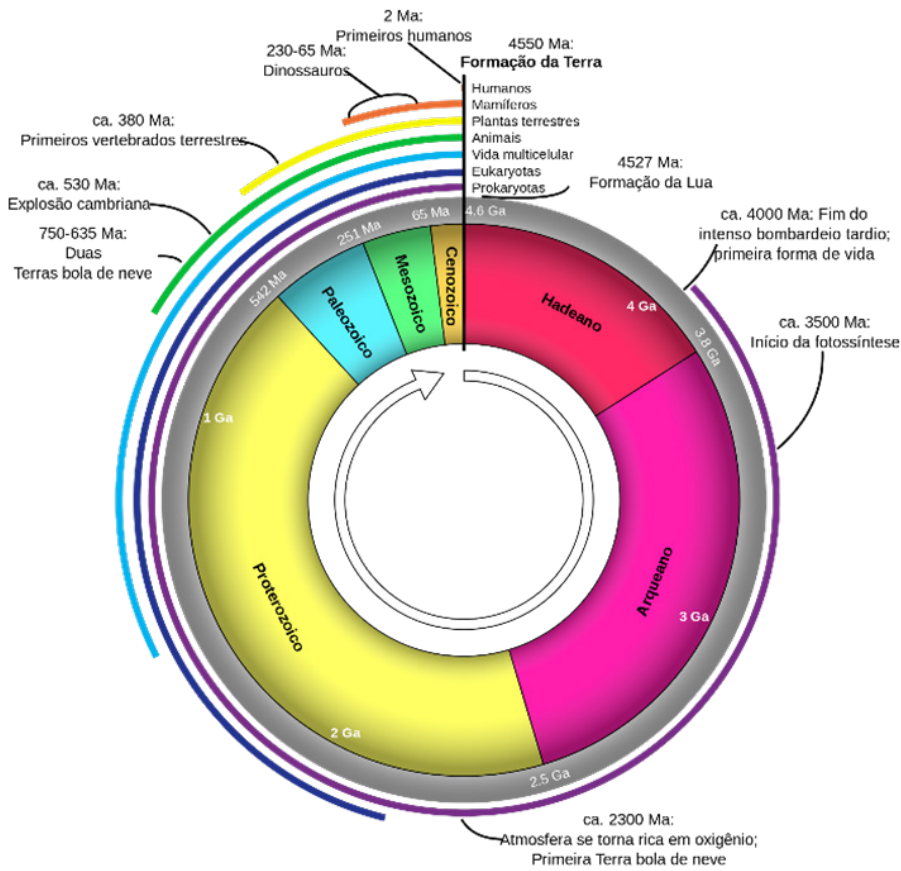
## TEMPO GEOLÓGICO E A FORMAÇÃO DA TERRA

A idade da Terra é estimada em aproximadamente 4,6 bilhões de anos e esse intervalo de tempo, compreendido desde o início da formação do planeta até o tempo presente, é chamado de tempo geológico. Ele integra intervalos menores de tempos denominados eons, eras, períodos, épocas e idades (Quadro 1).

O eon corresponde a um grande período de tempo. A história da Terra é formada por quatro eons: o Hadeano, o Arqueano, o Proterozoico e o Fanerozoico. Os três últimos são divididos em eras geológicas. A era geológica representa um grande período de tempo marcado pelo posicionamento e caracterização de continentes e oceanos, bem como pela organização da vida. Na sequência tem-se a divisão da era em períodos, estes divididos em épocas e estas divididas em idades. Entretanto, outras formas de divisão são encontradas na literatura.

Pode ser considerado um Supereon o que envolve o tempo desde o início da formação da Terra até aproximadamente 550 milhões de anos atrás, portanto representa a maior parte do tempo geológico da Terra (cerca de 88% da história do planeta). Essa relação de tempo é observada na Figura 1. O Supereon é dividido em três eons: Hadean – de 4,6 a 4,0 bilhões de anos; Arqueano - de 4,0 a 2,5 bilhões de anos – é dividido em 4 eras: Eoarqueano, Paleoarqueano, Mesoarqueano e Neoarqueano; Proterozoico – de 2,5 bilhões a 550 milhões de anos – é dividido em 3 eras Paleoproterozoico, o Mesoproterozoico e o Neoproterozoico.

FIGURA 1: ERAS GEOLÓGICAS E IDADES



FONTE: BRASIL, MAST (2015).

## EON HADEANO

No Eon Hadeano a Terra apresenta uma superfície quente e fundida, a atmosfera contém, basicamente, dióxido de carbono, portanto, com condições adversas para suportar a vida.

## EON ARQUEANO

No Eon Arqueano, o interior da Terra é muito quente, porém, na superfície as temperaturas não são muito diferentes das atuais, porque, acreditam os astrônomos, o sol era 1/3 menos quente que hoje. Das rochas formadas nesse Eon, poucas existem hoje. As atividades vulcânicas são consideravelmente maiores que as atuais. A atmosfera, rica em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é praticamente sem oxigênio. A vida no Arqueano já existia, mas

era representada provavelmente pelos procariontes. Cianobactérias formaram tapetes, que são os estromatólitos e estão preservados até hoje.

QUADRO 1: COLUNA GEOLÓGICA SIMPLIFICADA.

EONS	ERAS	PERÍODOS	Épocas
Fanerozoico	Cenozoico	Quaternário	Holoceno
			Pleistoceno
		Neogeno	
	Paleogeno		
	Mesozoico	Cretáceo	
		Jurássico	
		Triássico	
	Paleozoico	Permiano	
		Carbonífero	
		Devoniano	
		Siluriano	
		Ordoviciano	
		Cambriano	
Proterozoico	Neoproterozoico		
	Mesoproterozoico		
	Paleoproterozoico		
Arqueano	Neoarqueano		
	Mesoarqueano		
	Paleoarqueano		
	Eoarqueano		
Hadeano			

FONTE: ORGANIZADO PELAS AUTORAS.

Arqueano divide-se em quatro eras: Eoarqueano (4,0 - 3,6 bilhões de anos), fase em que a Terra é bastante atingida por meteoritos. Paleoarqueano (3,6 a 3,2 bilhões de anos), quando os primeiros continentes começam a se definir. Ao final dessa era, estima-se a ocorrência de um supercontinente, chamado Vaalbara. Registros de bactérias de 3,46 bilhões de anos bem preservadas são encontrados na Austrália. No final do período Mesoarqueano (3,2 a 2,8 bilhões de anos) o supercontinente Vaalbara parte-se. Os estromatólitos estão bastante disseminados na Terra. Neoarqueano (2,8 a 2,5 bilhões de anos): dessa era existem preservadas algumas bacias de sedimentação e evidências de fraturas intracontinentais, choque de placas e ciclos orogênicos. Nas águas oceânicas profundas são depositadas formações ferríferas bandadas.

## EON PROTEROZOICO

Começa há 2,5 bilhões de anos e se estende até 550 milhões de anos atrás. É uma fase de transição, em que o oxigênio se acumula na litosfera, formando óxidos, principalmente de silício e ferro. As camadas de óxido de ferro formam-se, sobretudo, em torno de 2,5 a 2 bilhões de anos. Surgem os eucariontes e, um bilhão de anos atrás, muitos outros tipos de algas aparecem. Cerca de 900 milhões de anos atrás, os continentes estavam reunidos numa única massa continental, chamada Rodínia, que se fragmenta no final desse eon. O Proterozoico é dividido em três eras: Paleoproterozoico (de 2,5 a 1,6 bilhões de anos), quando surgem os primeiros seres eucariontes; Mesoproterozoico (de 1,6 a 1,0 bilhão de anos), era em que se forma o supercontinente Rodínia (figura ao lado) e surge a reprodução animal sexuada; Neoproterozoico (1,0 bilhão de anos a 542 milhões de anos): no final dessa era termina o eon Proterozoico e a longa fase da história da Terra que se chamava, até recentemente, de Pré-Cambriano. Esse nome compreende o conjunto dos três eons mais antigos da história do planeta, intervalo que abrange nada menos que 7/8 da história da Terra. Dos períodos desse eon, merece destaque o mais recente, o Ediacarano, pela importância dos fósseis da Biota Ediacarana.

## EON FANEROZOICO

Eon Fanerozoico se estende de 550 milhões de anos até os dias atuais, e é caracterizado por abrigar a vida. É formado por três eras: Paleozoica, Mesozoica e Cenozoica.

## ERA PALEOZOICA

Do grego: *paleo* = antiga + *zoico* = vida, dura de 550 a 248,2 Ma. Essa era é marcada por dois grandes eventos da história biológica do planeta: o início da expansão da vida, no começo da era, e a maior extinção em massa que o planeta já presenciou, no final do Paleozoico. A Era Paleozoica se divide em seis períodos: Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano.

Durante o paleozoico, as placas litosféricas dividem-se em Laurentia (atual América do Norte), Báltica (atual Europa), Sibéria e Gondwana. Essas porções são bastante retrabalhadas durante essa era. O Gondwana está posicionado no polo sul e há uma série de transgressões e regressões

marinhas. A colisão dessas massas continentais gera cadeias de montanhas (que não existem mais) e a própria fusão dos continentes que leva à formação do supercontinente chamado Pangea. Esse continente tinha uma disposição alongada, estendendo-se do polo norte ao polo sul. O restante da superfície da Terra é coberto por um grande oceano chamado Panthalassa (do grego *pan* = todo + *thalassa* = oceano), com exceção de um pequeno mar a leste de Pangea, chamado Tethys (que hoje é representado pelo Mar Mediterrâneo). Durante a Era Paleozoica, nos blocos Laurentia, Báltica e Sibéria ocorrem diversas orogenias (processo de formação de montanhas). No bloco Gondwana, chega ao fim o Ciclo Orogênico Brasileiro - Panafricano (830 - 480 milhões de anos). A partir de então, grande parte desse continente passa por um período de calma tectônica representado, no Brasil, pelas extensas bacias sedimentares do Amazonas, Paraná e Parnaíba. Essas bacias se iniciam com uma fase de sedimentação marinha (Ordoviciano-Devoniano), passando para uma sedimentação mista (Carbonífero) e depois continental (Permiano ao Jurássico) (SCHOBENHAUS et al., 1984). Já a margem oeste do Gondwana não experimenta as mesmas condições de calma, há a acreção de vários blocos crustais que resulta em diferentes orogenias.

## ERA MESOZOICA

Do grego *meso* = meio ou intermediário e *zoica* = vida, é dividida em três períodos: Triássico, Jurássico e Cretáceo. O limite inferior do Mesozoico é marcado por uma grande extinção em massa, de causas imprecisas, mas de alguma forma relacionadas a uma intensa glaciação que afetou o planeta. Da mesma forma, ocorre, no limite superior da era Mesozoica, outra grande extinção, que é atribuída ao impacto de um meteoro, em Chicxulub, na península de Yucatan, México (seu diâmetro teria cerca de 170 Km). Além da onda de choque e calor, posteriormente o impacto forma uma espessa nuvem de poeira responsável por mudança no clima da Terra, bloqueando a fotossíntese, e quebrando a cadeia alimentar. Apesar dessas duas grandes extinções em massa, na Era Mesozoica ocorre o maior desenvolvimento dos grandes répteis e o surgimento das primeiras aves e plantas com flores.

O Pangea existiu no início da era Mesozoica (figura 2), contudo no final do período Triássico, esse supercontinente fratura-se no processo de rifteamento que origina o oceano Atlântico e também os continentes existentes hoje. No Brasil, a quebra do supercontinente Pangea gera uma importante feição geotectônica: o Sistema de Rifts do Leste do Brasil, com suas várias bacias marginais. Esses processos distensivos predominam durante quase todo o Mesozoico, mas, no final do Período Cretáceo, recomeçam as colisões

na região circumpacífica, e iniciam as orogenias na América do Norte (colisão entre a placa do Pacífico e a América do Norte) e na América do Sul (colisão entre a placa de Nazca e a América do Sul).

FIGURA 2: POSIÇÃO DAS SUPERFÍCIES CONTINENTAIS NO SUPERCONTINENTE PANGEA



FONTE: ROGERS (1996).

## ERA CENOZOICA

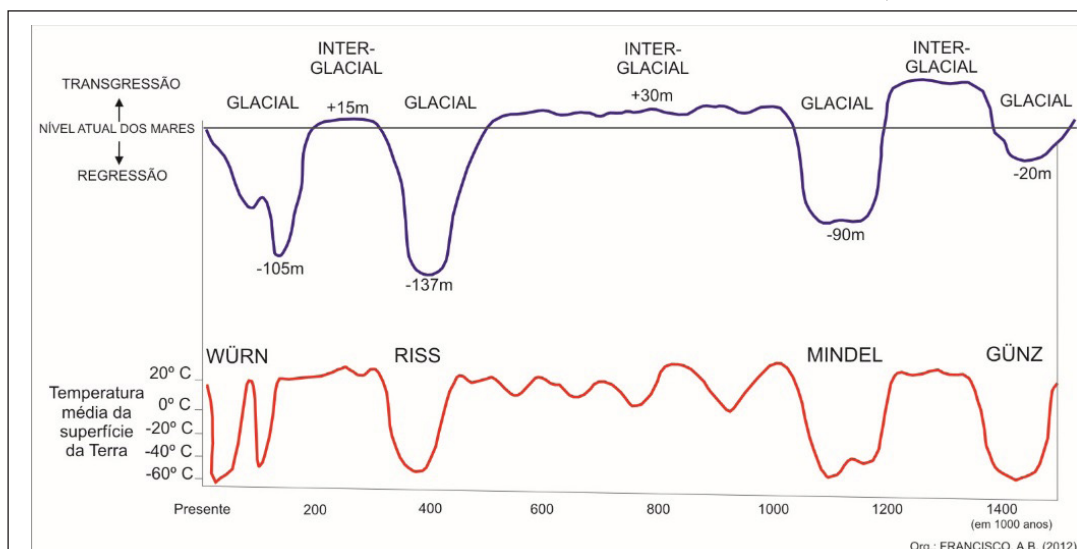
Do grego *ceno* = recente e *zoico* = vida, inicia há 65,5 milhões de anos e estende-se até os dias atuais. Atualmente o Cenozoico é dividido em três períodos: 1) - Paleogeno (de 65,5 milhões de anos a 23,03 milhões de anos atrás), compreendendo as épocas Paleoceno, Eoceno e Oligoceno. 2) - Neogeno (de 23,03 milhões de anos a 2,6 milhões de anos atrás), com as épocas Mioceno e Plioceno. 3) - Quaternário (de 2,6 milhões de anos atrás até ao presente), com as épocas Pleistoceno e Holoceno.

É a partir do Cenozoico que a Terra assume a configuração existente no presente. Há intensas atividades vulcânicas e formação de cadeias de montanhas como os Andes e os Alpes. A separação do Pangea se mantém durante toda essa era. O Cenozoico se caracteriza como uma era de resfriamento a longo prazo, com um leve aquecimento no Mioceno. Ocorre uma forte explosão evolutiva dos mamíferos, diversificação de angiospermas e gramíneas.

O Quaternário é a época atual. Há muitos estudos referentes às mudanças climáticas, pois o Pleistoceno é marcado por diversos períodos glaciais (resfriamento) e interglaciais (aquecimento). A figura 3 mostra esses eventos nos últimos 1,5 milhões de anos.



FIGURA 3: PERÍODOS GLACIAIS E INTERGLACIAIS A PARTIR DE 1,5 MA A.P.



FONTE: POP (1994).

A proposição mais aceita a respeito da causa das glaciações diz respeito aos Ciclos Milankovitch que alteram taxas de radiação solar, produzindo variações de temperatura:

Excentricidade da órbita (100.000 anos);

Inclinação do eixo (41.000 anos);

Precessão dos equinócios (23.000 anos).

O *Homo sapiens* espalha-se pela Terra e estima-se que a sua chegada aos continentes coincide com a extinção da megafauna. O início do Holoceno registra o fim das glaciações e é a época atual.

## CONSIDERAÇÕES

Esta breve apresentação da história e evolução do planeta coloca em evidência a dinamicidade do planeta Terra desde o início de sua formação. Muitos eventos que ocorrem ao longo de sua evolução não se repetirão. Portanto, muitos recursos naturais que hoje são explorados exaustivamente não terão outro ciclo de formação. Ainda são enfatizados os processos dinâmicos (endógenos e exógenos) que estão presentes e moldam o planeta.

# ATIVIDADE 1

Um dos temas mais complexos na Geologia diz respeito ao tempo geológico. A compreensão dessa ampla dimensão de tempo torna-se difícil tanto para crianças como para adultos. Assim, pesquise sobre as diferentes formas de representar, por analogia, toda essa dimensão de tempo de bilhões de anos. Pesquise as formas de datação de rochas e sedimentos orgânicos.

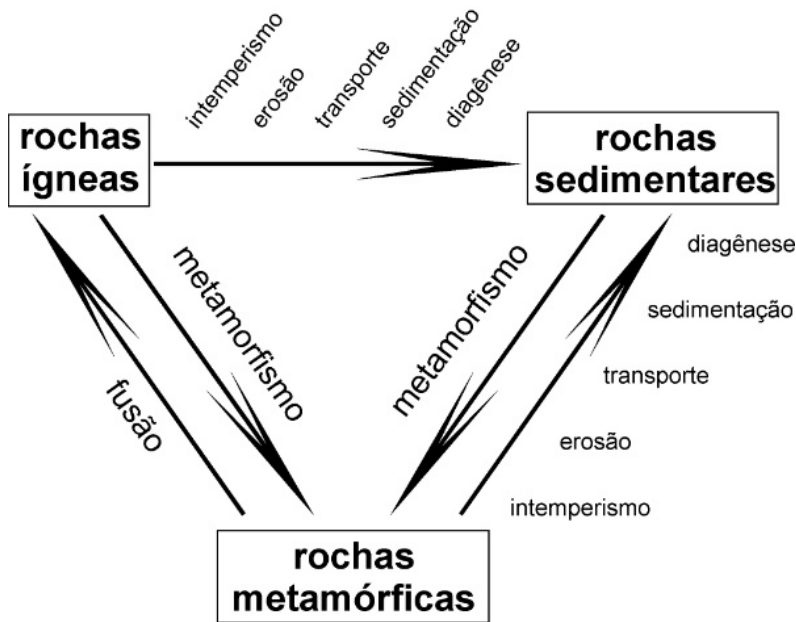
## CICLO DAS ROCHAS

Dentre as várias definições de ciclo, a mais adequada ao estudo do ciclo das rochas é aquela que trata o ciclo como uma sequência de fenômenos que se repetem ou se renovam.

O ciclo das rochas (Figura 4) constitui um processo contínuo de transformação de um determinado tipo de rocha em outro. Isso ocorre em razão dos diferentes processos geológicos que ocorrem na superfície da crosta e no interior da Terra.

FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DO CICLO DAS ROCHAS - ESSE CICLO DE PROCESSOS FOI IDENTIFICADO PRIMEIRAMENTE POR JAMES HUTTON

## o ciclo das rochas



FONTE: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (2015).

Uma vez que as rochas tenham se formado a partir da consolidação do magma incandescente que revestia a terra no início de sua formação, as rochas ígneas são representantes das fases iniciais do ciclo das rochas (PACCA; MCREATH, 2000).

A moderna Tectônica de Placas compreende as inter-relações entre os processos geológicos, como vulcanismo, magmatismo, metamorfismo, sismos, erosão e sedimentação. Nessa perspectiva, assume-se que as placas tectônicas, ao se movimentarem, desencadeiam outros processos dinâmicos e, simultaneamente na superfície, processos geológicos de caráter climático transformam as rochas e o modelado terrestre (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Nessa ciclagem, os materiais envolvidos (rochas, sedimentos, solos) são produtos do ciclo e cada uma das etapas representa o ponto de partida para outra.

Carneiro *et al.* (2009) estabelecem diferentes ciclos e processos envolvidos, porém fazem sua classificação de acordo com o tempo envolvido. Assim, tem-se:

**Ciclos de duração extremamente longa** – que envolvem dezenas de milhões a bilhões de anos, como formação de continentes, de ilhas, cadeias de

montanhas, transgressões e regressões de escala continental, surgimento da vida, evolução de espécies.

**Ciclos de duração longa** – ocorrem algumas dezenas a milhares de anos até alguns milhões de anos. Trata-se de ciclos climáticos globais, formação de solo espesso, intemperismo químico, variações eustáticas de mais de 100m, inversão do campo magnético.

**Processos de duração média** – decorridos de séculos a poucos milhares de anos. Nesta categoria há variações climáticas globais, variações da linha da costa, depósitos tecnogênicos (lixo, esgotos, efluentes e rejeitos), formação de camada de solo delgada (0,5 a 2 m).

**Processos de duração curta** – medidos em meses, anos ou décadas. Nesse tempo ocorrem variações climáticas sazonais, crescimento anual de vegetais e animais, formação de camada de húmus no solo, poluição de água e ar.

**Processos de duração muito curta** – transcorridos em meios-dias, dias, semanas. Como exemplo os autores citam as variações de marés, variação diurna da temperatura, tempestades, deslizamentos, atividades vulcânicas.

**Períodos excessivamente curtos** – medidos em segundos, minutos ou horas. Tempestades, tornados, *tsunamis*, deslizamentos, avalanches, incêndios.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com essa reciclagem, interpreta que as rochas têm em si o registro da história, como se fosse o seu DNA. Os recursos nos diferentes campos da mineralogia e geologia possibilitam refinar as interpretações acerca da gênese ou etapas na evolução de minerais e rochas. O motor de transformação das rochas envolve três tipos de energia: a proveniente do sol, a energia oriunda do interior da Terra e a gravidade. (CARNEIRO *et al*, 2009). Para entender um pouco mais sobre o assunto, nos próximos capítulos são tratadas as propriedades dos minerais e dos tipos de rochas e seus processos geradores.



# MINERAIS

**E**ste capítulo tem como objetivo central apresentar conceitos básicos sobre mineralogia, a ciência que estuda os minerais. Serão abordados num primeiro momento o conceito de mineral, principais formas de empacotamento dos átomos por meio de ligações químicas, formas associadas e respectivo agrupamento dentro dos sistemas cristalinos.

A segunda etapa é mais voltada para atividades práticas que visam ao reconhecimento de minerais a olho nu através de suas propriedades físicas como forma, hábito, cor, brilho, dureza e tipo de ruptura.

## AFINAL DE CONTAS, O QUE FAZ DE UM ARRANJO DE ELEMENTOS QUÍMICOS UM MINERAL?

Os minerais em geral são estruturas cristalinas sólidas naturais, formadas na natureza, com exceção para o mercúrio (Hg) encontrado em temperatura ambiente em estado líquido. Dentro desse conceito, a água (H<sub>2</sub>O) em estado sólido (gelo) pode ser considerada um mineral enquanto que a água em estado líquido, não. Sabe por quê? Porque um mineral, para ser mineral, de acordo com Klein e Dutrow, (2012) precisa ter:

- Estrutura cristalina formada naturalmente através de ligações químicas, de átomos (ou íons);
- Composição química relativamente homogênea;
- Arranjo atômico ordenado e repetitivo.

Quando o arranjo atômico entre os elementos químicos ocorre de forma assimétrica e sem ordenação definida a longo alcance são formadas estruturas amorfas (sem forma) caso dos líquidos, gases e do vidro vulcânico mostrado na figura 5 que difere dos minerais por serem amorfos e apresentarem constituição química variável (de acordo com o tipo de magma resfriado) (PRESS *et al* 2006, MADUREIRA *et al* 2009; KLEIN e DUTROW, 2012).

FIGURA 5: VIDRO VULCÂNICO



PROCEDÊNCIA- VULCÃO TUNUPA, BOLÍVIA. FONTE ELIZA TRATZ.

As estruturas amorfas, assim como sólidos oriundos de processos biogênicos como as pérolas, não são consideradas minerais, sendo denominados de mineraloides. Em laboratório, também é possível criar estruturas cristalinas idênticas aos minerais encontradas na natureza, porém, estas não podem ser consideradas minerais, uma vez que foram criadas pelo homem.

A figura 6 é de um cristal feito em laboratório através da mistura de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) e água quente ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Nesse processo, que também pode ser realizado em casa, o sulfato de cobre é dissolvido na água (perto do ponto de ebulição). No dia seguinte, o maior cristal gerado na solução é separado e misturado em nova solução. Após uma semana, um cristal maior será desenvolvido. Que tal fazer essa experiência em casa e desvendar um pouco sobre os minerais hidratados formados na natureza?

FIGURA 6: CRISTAL DE SULFATO DE COBRE FEITO EM LABORATÓRIO.

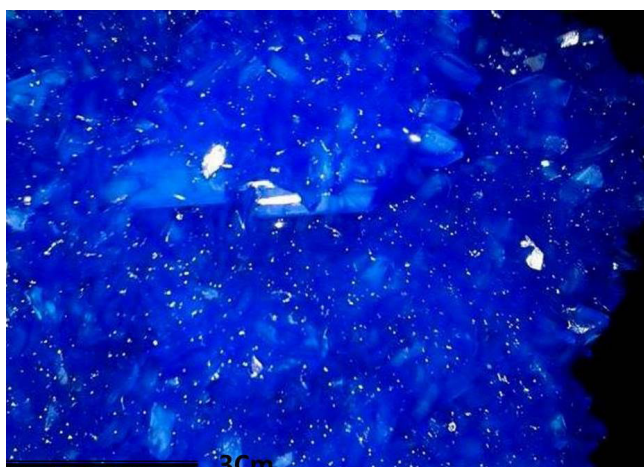


FOTO:WELLINGTON BARBOSA DA SILVA.

## CURIOSIDADE:

Em alguns casos o mineral pode ter a estrutura cristalina destruída pela desintegração e conseqüente liberação de energia radioativa de elementos que o compõem, caso do zircão em que o processo de desintegração libera U (Urânio) e Th (Tório) levando à perda da ordem atômica interna e morfologia externa (KLEIN e DUTROW, 2012).

## ATIVIDADE 1:

Já parou para pensar com quantos minerais você esbarra todos os dias? Eles estão presentes na pasta de dente (fluorita-  $\text{CaF}_2$ ) e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), na maquiagem (mica muscovita  $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OHF})_2$ ), na cerâmica do piso (argilominerais e o quartzo da areia), no freezer da geladeira (gelo), no isolamento térmico das linhas de alta tensão (mica muscovita), no sal do seu prato (halita-  $\text{NaCl}$ ). E na sua casa, quantos minerais você é capaz de listar?

1) Agora que você já sabe o que é um mineral, faça uma lista com 10 minerais encontrados no seu lar.

2) O que diferencia uma estrutura cristalina amorfa de um mineral?

3) A forma externa de um mineral resulta de que processos?

# UM POUCO SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS

É através das ligações químicas que os átomos são empacotados, resultando em características estruturais (estrutura cristalina), químicas e físicas distintas que permitem a identificação do mineral. O quadro 2 exemplifica as ligações químicas mais comuns, suas características e minerais provenientes do processo.

QUADRO 2: PRINCIPAIS LIGAÇÕES QUÍMICAS

TIPO DE LIGAÇÃO QUÍMICA	CARACTERÍSTICAS	EXEMPLOS DE MINERAIS
Ligações iônicas ou eletrostáticas	Cátions (íons com carga +) e ânions (íons de carga -) se unem. Os cristais resultantes dessas ligações apresentam dureza moderada a alta, variando de acordo com a distância interiônica e da carga, São maus condutores elétricos no estado sólido.	Halita (NaCl); Fluorita (CaF <sub>2</sub> ).
Ligações Covalentes	Ocorre o compartilhamento de elétrons com os átomos que os circundam que na maioria das vezes apresentam eletronegatividade similar e alta. Os cristais apresentam grande dureza e fragilidade, são bons isolantes em estado sólido e de fusão.	Diamante (C), esfarelita (ZnS), moléculas de O <sub>2</sub> e grafita (ligação fraca).
Ligações Metálicas	Esse tipo de ligação caracteriza-se pela formação de íons positivos e elétrons livres de valência. Os elétrons de valência não apresentam afinidade com nenhum núcleo particular, portanto circulam livres dentro e fora da estrutura, sem manter o mecanismo de ligação. A estrutura cristalina é mantida por uma nuvem ou mar de elétrons A dureza dos cristais formados por esse tipo de ligação varia de baixa a moderada, podendo apresentar alta plasticidade, e maleabilidade. São excelentes condutores (transporte por elétrons).	Ouro (Au), cobre (Cu), prata (Ag) entre outros metais.
Ligação de Wan der Waals	É a mais fraca das ligações químicas. Nesse tipo de ligação as unidades e estruturas possuem pequenas cargas residuais que se distribuem assimetricamente. Dependendo da força de ligação dos átomos de um mineral ocorrem o empacotamento dos átomos pode ocorrer de forma mais ou menos compacta. As ligações menos compactadas são formadas por ligações de cargas opostas e normalmente são indicadas no mineral pela direção da clivagem. Os cristais normalmente são moles, apresentando alguma plasticidade.	Enxofre (ligação fraca); grafita (ligação fraca).

DADOS EXTRAÍDOS DE MADUREIRA *ET AL*, 2009 E KLEIN E DUTROW, 2012.



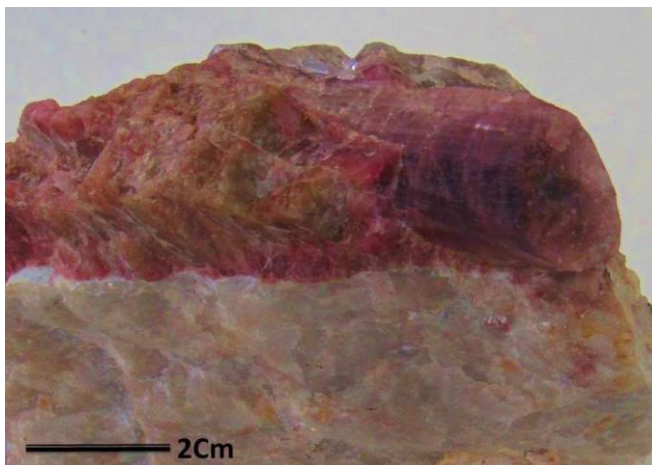
## COMO IDENTIFICAR UM MINERAL MACROSCOPICAMENTE?

O reconhecimento do sistema cristalino ao qual o mineral pertence pode ser bastante útil quando o assunto é classificação de minerais a olho nu. Além do sistema cristalino a que a forma concerne, outras propriedades físicas como: dureza, densidade, forma, hábito, cor, cor do traço e brilho devem ser observadas.

## SISTEMAS CRISTALINOS

A forma ou morfologia externa dos minerais varia de acordo com o processo de empacotamento dos átomos através das ligações químicas que resultam em arranjos atômicos repetitivos ordenados e diferenciados expressos pelas mais diversas morfologias (formas) dos minerais (KLEIN e DUTROW, 2012, RAITH, RAASE e REINHARDT, 2014). A morfologia ou forma de um cristal tende a seguir um padrão geométrico e de simetria agrupada em sete sistemas cristalinos distintos usados para o reconhecimento e classificação dos minerais. A rubelita  $\text{Na}(\text{Li Al Mg})_{3\text{Al}6} \text{B}_{3\text{Si}6} \text{O}_{27}(\text{OH,F})_4$  da figura 7 é um bom exemplo de um cristal hexagonal.

FIGURA 7: CRISTAL HEXAGONAL DE RUBELITA.

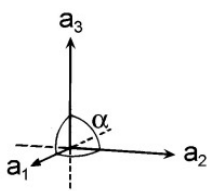
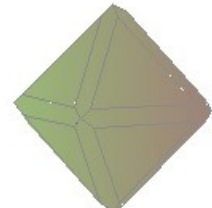
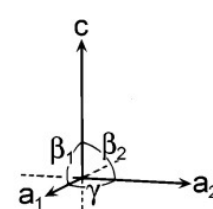
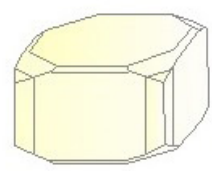
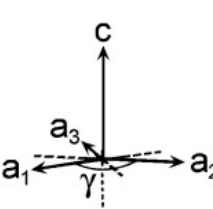
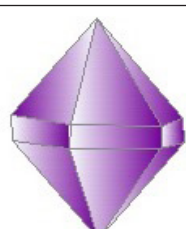
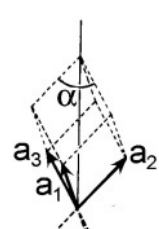
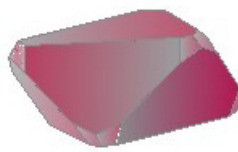


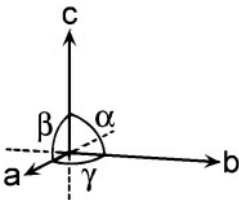
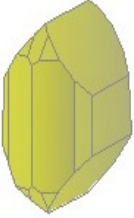
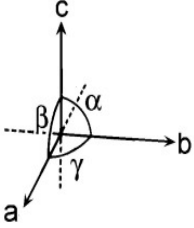
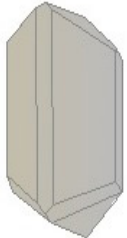
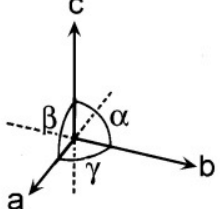

PROCEDÊNCIA, PERUS, SP. BANCO DE DADOS DO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA DA UNICENTRO.

FOTO: ELIZA TRATZ.

Os sete sistemas cristalinos são classificados de acordo com a geometria que foi ordenada através das repetições das posições atômicas em: cúbico ou isométrico, tetragonal, hexagonal, trigonal, ortorrômbico, monoclinico e triclinico como mostra o quadro 3.

QUADRO 3: SISTEMAS CRISTALINOS

SISTEMAS CRISTALINOS	ÂNGULOS ( $\alpha$ )	ARESTAS (A)	REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA
<b>CÚBICO OU ISOMÉTRICO</b>	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$ ( $a_1 = a_2 = a_3$ ) 	 Representação de um cristal de espinélio
<b>TETRAGONAL</b>	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$ ( $a_1 = a_2 \neq c$ ) 	 Representação de um cristal de melilita
<b>HEXAGONAL</b>	$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$	$a = b \neq c$ ( $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ ) 	 Representação de um cristal de quartzo beta, com 6 faces.
<b>ROMBOÉDRO OU TRIGONAL</b>	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b = c$ 	 Representação de um cristal de coríndon. Os rubis são coríndons vermelhos e as safiras azuis.

<b>ORTORRÔMBICO</b>	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$ 	 Representação de um cristal de olivina
<b>MONOCLÍNICO</b>	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	$a \neq b \neq c$ 	 Representação de um cristal de clinopiroxênio.
<b>TRICLÍNICO</b>	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq$	$a \neq b \neq c$ 	 Representação de um cristal de wollastonita

FORNE: RAITH, RAASE E REINHARDT, 2014, P.39.

## ATIVIDADE 2

- 1) Defina o que são sistemas cristalinos.
- 2) Cite um exemplo de mineral cúbico ou isométricos, hexagonal e ortorrômbico.

## PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MINERAIS

As propriedades físicas dos minerais variam de acordo com a natureza química e estrutura cristalina, são essas propriedades que permitem a classificação de amostras de mão de minerais por meio do diagnóstico da dureza, densidade, forma, cor, brilho e tipo de ruptura (fratura ou clivagem).

Portanto, quando o assunto for classificação macroscópica de um mineral faça uma tabela com cada uma dessas propriedades e tome nota.

**Dureza:** a quantificação é expressa pela escala de Mohs que classifica os minerais de acordo com a resistência ao risco em superfície (Quadro 4). Para esse tipo de análise, você precisa de: 01 placa de vidro; 01 ponteira de aço; 01 cristal de quartzo ou mineral com dureza superior.

QUADRO 4: ESCALA DE MOSS




ESCALA DE MOSS					
DUREZA	MINERAL	CARACTERÍSTICA	DUREZA	MINERAL	CARACTERÍSTICA
1	<b>Talco</b> $Mg_6(Si_8O_{20})(OH)_4$	Riscado facilmente pelas unhas	6	<b>Ortoclásio</b> $KAlSi_3O_8$	Risca o vidro e pode ser riscado por aço
2	<b>Gipsita</b> $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Riscado pelas unhas	7	<b>Quartzo</b> $SiO_2$	Risca o vidro
3	<b>Calcita</b> $CaCO_3$	Riscado por aço e vidro	8	<b>Topázio</b> $Al_2SiO_4(OH, F)_2$	Risca o quartzo
4	<b>Fluorita</b> $CaF_2$	Riscado facilmente por aço e vidro	9	<b>Coríndon</b> $Al_2O_3$	Risca o Topázio
5	<b>Apatita</b> $Ca_5(PO_4)_3(F OH CL)$	Riscado por aço e vidro	10	<b>Diamante</b> C	Corta o vidro é riscado por outro diamante

DADOS EXTRAÍDOS DE KLEIN E DUTROW, 2012.

**Densidade relativa ou peso específico:** A forma como ocorreu o empacotamento dos átomos define a densidade do mineral que pode apresentar-se mais ou menos pesado quando pesados na balança de Joly. Os minerais leves apresentam densidade <2,9, os pesados acima de 4,8 e os muito pesados >8.

**Forma Cristalina:** classifica o mineral de acordo o desenvolvimento do cristal como mostra o quadro 5.

QUADRO 5: FORMAS CRISTALINAS.

FORMAS CRISTALINAS		
<p><b>CRISTAIS EUÉDRICOS</b></p>	<p>Cristais bem desenvolvidos com faces regulares</p>	 <p>Cristais euédricos de ametista, variedade de quartzo (<math>\text{SiO}_2</math>) roxo. Banco de dados do laboratório de Geologia da UNICENTRO. Foto: Eliza Tratz</p>
<p><b>CRISTAIS SUBÉDRICOS</b></p>	<p>A forma característica dos minerais é desenvolvida parcialmente</p>	 <p>Cristais subédricos de epidoto-<math>\text{Ca}_2(\text{Al Fe})^3(\text{SiO}_4)(\text{OH})</math>. Arquivo pessoal das autoras. Foto: Eliza Tratz</p>
<p><b>FORMAS ANÉDRICAS</b></p>	<p>Não há desenvolvimento das formas do mineral</p>	 <p>Quartzo Anédrico (<math>\text{SiO}_2</math>) Banco de dados do laboratório de Geologia da UNICENTRO. Foto: Eliza Tratz</p>

FONTE: ELABORADO PELAS AUTORAS.

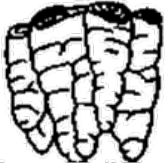
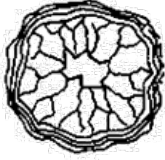
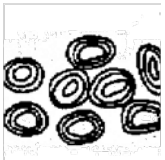
## HÁBITO

Os cristais tendem a apresentar faces com proporções distintas ou combinações cristalográficas diferentes resultando em um arranjo de formas diferenciáveis expressas externamente em um mineral e denominadas de hábito (RAITH; RAASE e REINHARDT, 2014). Os hábitos mais comuns estão representados no Quadro 6. A figura 8 exemplifica alguns hábitos de minerais.

QUADRO 6: PRINCIPAIS HÁBITOS MINERAIS

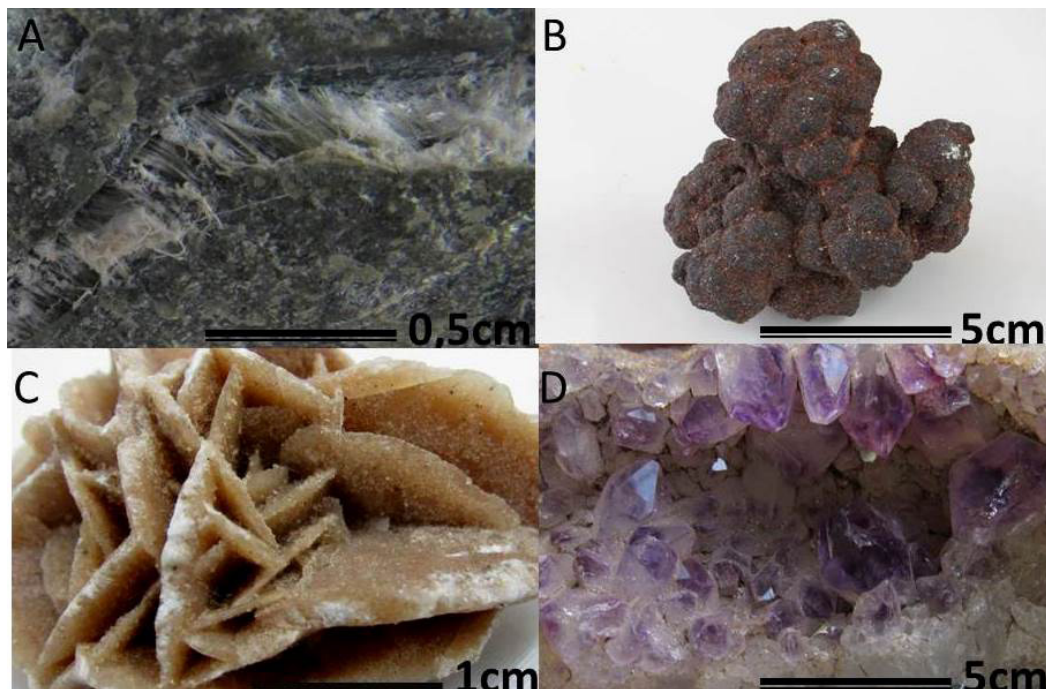
HÁBITOS MAIS COMUNS		
HÁBITO	CARACTERÍSTICAS	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
Maciço e Granular	Mineral que não apresenta faces cristalinas, muitas vezes, apresentam-se finamente granulados	
Lamelar	O arranjo cristalino assemelha-se a lamelas, como as folhas de um livro.	
Laminar	Cristais individuais ou grãos achatados	
Fibroso ou Crisotilo	Grãos ou fibras muito finas com aspecto de filamento muito finos, lembram fibras como no crisotilo.	
Acicular	Lembra agulhas	
Radiado e Globular	<u>Radiado</u> : quando os grãos aciculares irradiam de um ponto central. <u>Globular</u> : caracterizado por apresentar pequenas esferas na superfície,	
Dendrítico	Exibe padrão ramificado, como folhas ou canais de rios.	
Botrioide	Quando o mineral assemelha-se a grãos de uvas	



Estalactítico	Assemelham-se a estalactites encontrados em cavernas	
Geodo	Cavidade na rocha revestida por minerais, mas, não completamente revestida	
Oolítico	Comum em minérios são formados por pequenos corpos acrescionários ou ovais. Assemelham-se a ovos de peixe.	

DADOS E FIGURAS EXTRAÍDOS DE KLEIN E DUTROW (2012). FIGURAS ORIGINAIS DE SINKANKAS (1994) APUD KLEIN E DUTROW (2012, p.47).

FIGURA 8: EXEMPLOS DE HÁBITOS EM MINERAIS.



A) HÁBITO FIBROSO –CRISOTILA ( $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ ). B) HÁBITO BOTRIOIDE, GOETITA ( $FeO(OH)$ ). C) ARRANJO DE CRISTAIS LAMELARES EM ROSETA, GIPSITA  $CaSO_4 \cdot (H_2O)$ . D) GEODO DE AMETISTA ( $SiO_2$ ). BANCO DE DADOS DO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA DA UNICENTRO.

FOTOS: ELIZA TRATZ.

## COR

A cor, o brilho e o traço de um mineral variam de acordo como sua composição química e maneira como luz é transmitida, absorvida ou refletida por um sólido.

Os minerais com grande poder de absorção de luz são ditos opacos, os que absorvem menor quantidade de luz, translúcidos. Enquanto que os minerais com maior capacidade de reflexão e menor capacidade de absorção são classificados como transparentes.

## LEMBRANDO:

**Luz transmitida:** Quando falamos em luz transmitida estamos relacionando à maneira como a luz atravessa o sólido.

**Luz absorvida:** Refere-se ao quanto o sólido é capaz de absorver de luz.

**Luz refletida:** Capacidade do sólido refletir a luz.

## COR DE TRAÇO

Determinados minerais quando friccionados sobre superfícies ásperas e claras (ex: porcelana) pulverizam deixando um traço de coloração específica.

Tenha em mãos uma placa de porcelana branca, o verso de um azulejo pode ser utilizado. Não esqueça, tem que ser clarinho!

## BRILHO

A capacidade do sólido refletir a luz é expressa no brilho, que pode ser:

### **Não metálicos**

Acetinado: Como o tecido cetim.

Adamantino: Lembra o brilho de um diamante.

Ceroso: Assemelha-se à cera.

Nacarado ou perolado: parece com madrepérolas, a cor vista no interior das conchas.

Resinoso: Parece com resina.

Vítreo: Lembra vidro.

### **Metálicos:**

Metálico: brilho que assemelha ao dos metais.

Submetálico: brilho semelhante ao dos metais, com menor intensidade.



# TIPO DE RUPTURA

## Clivagem:

Ocorre em casos que um mineral rompe em torno de um plano paralelo seguindo ligações mais fracas. Os minerais oriundos de ligações químicas mais fracas, como as iônicas, tendem a apresentar clivagem enquanto que os minerais oriundos de ligações químicas mais fortes (covalentes) tendem a apresentar clivagem regular ou imperfeita.

Uma lupa de mão pode ajudar você no reconhecimento dessas propriedades.

## Tipos de clivagem:

A clivagem dos minerais varia de acordo com o número de planos padrão de clivagem e qualidade, como expresso no quadro 7.

QUADRO 7: TIPOS DE CLIVAGEM

Tipo de Clivagem	Característica
Número de planos-padrão de clivagem	Referente ao número de planos de clivagem que a amostra apresenta.
Qualidade da clivagem	<u>Perfeita</u> : muito lisas como nas micas <u>Boa</u> : menos lisas que a anterior como em piroxênios e anfibólios. <u>Regular ou imperfeita</u> : ocorre quando a ruptura difere dos planos de clivagens, como no berilo.

INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DE PRESS ET AL, (2006).

Fratura: A maneira como o mineral rompe.

## Tipos de Fratura:

Irregular: quando não segue nenhum padrão.

Serrilhada: quando a ruptura acompanha uma superfície dentada.

Conchoidal: em formato de concha.

Fibrosa: assemelha-se a fibras.

Estilhaçada: lembra fragmentos.

# TOME NOTA

Descrever e classificar minerais não é decoreba. Portanto, faça seu quadro ou tabela descrevendo cada propriedade do mineral e na sequência pesquise as propriedades físicas inerentes. Existem bons sites e livros com catálogos de minerais. O quadro 8 exemplifica como.

QUADRO 8: EXEMPLO DE QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DE MINERAIS

Número da Amostra	Dureza	Densidade	Fratura	Tipo de clivagem	Cor	Cor do traço	Brilho	Hábito	Mineral
001	Risca com aço e vidro-dureza3	2,72 g/cm <sup>3</sup> ; Leve.	Não apresenta	Perfeita-3planos de clivagem-(romboédrica).	Incolor	Não apresenta	Vítreo	Romboédrico	Calcita
002	Não é riscado nem pelo vidro, nem pelo aço, mas, é riscado pelo topázio <sup>7</sup>	2,65 g/cm <sup>3</sup> Leve	Fratura conchoidal	Imperfeita	Incolor	Não apresenta	Vítreo	Prismático	Quartzo
003	Riscado pelo quartzo, não é riscado pelo vidro. 5,5	4,3 g/cm <sup>3</sup> Pesado	Ausente	Perfeita	Preta	Castanho amarelado	Submetálico	Botrioide	<b>Agora é com você! Descubra o mineral</b>

ORGANIZADO PELAS AUTORAS.

**Existem bons sites e material para consulta, selecionamos um livro e um site:**

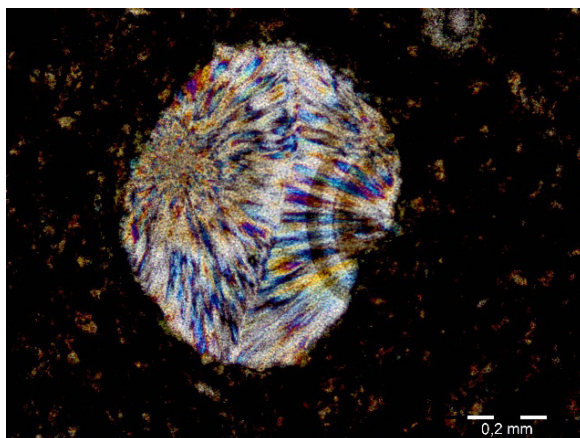
KLEIN, C e DUTROW, B. Manual de ciências minerais. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716p.

Banco de dados do museu de minerais e rochas da "HEINZ EBERT" do departamento de petrologia e metalogenia (DPM/IGCE/UNESP, Rio Claro, disponível em :<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/>

## E QUANDO OS MINERAIS SÃO INVISÍVEIS A OLHO NU?

Em rochas, principalmente de granulometria fina (com cristais <0,2) os minerais apresentam-se indistinguíveis a olho nu sendo necessário microscópio petrográfico e técnicas apropriadas para a identificação. A figura 9 mostra um cristal de natrolite, mineral do grupo das zeolitas em microscópio petrográfico. Nesta imagem, foi usada luz polarizada, que difere da luz natural por incidir somente em uma direção ao atravessar um sólido.

FIGURA 9: NATROLITES FIBROSAS



FONTE: BANCO DE DADOS DE PESQUISA DE ELIZA TRATZ.

Se a textura da rocha é ainda mais fina, os cristais com tamanhos entre 25 e 30  $\mu\text{m}$  tornam-se indistinguíveis, mesmo em microscópio petrográfico. Nesse caso, é necessário o uso de microscópios ainda mais potentes para a identificação dos minerais, caso dos microscópios eletrônicos de varredura (MEV) que permitem aumento superior a 3000 vezes e análises químicas por meio de detectores de raios X (EDX). A imagem 10 foi obtida com o MEV e mostra uma matriz amorfa e cristais romboedros de calcita (na imagem ampliada) e hexagonais de quartzo preenchendo a cavidade.

FIGURA 10: IMAGEM OBTIDA EM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA- MEV.

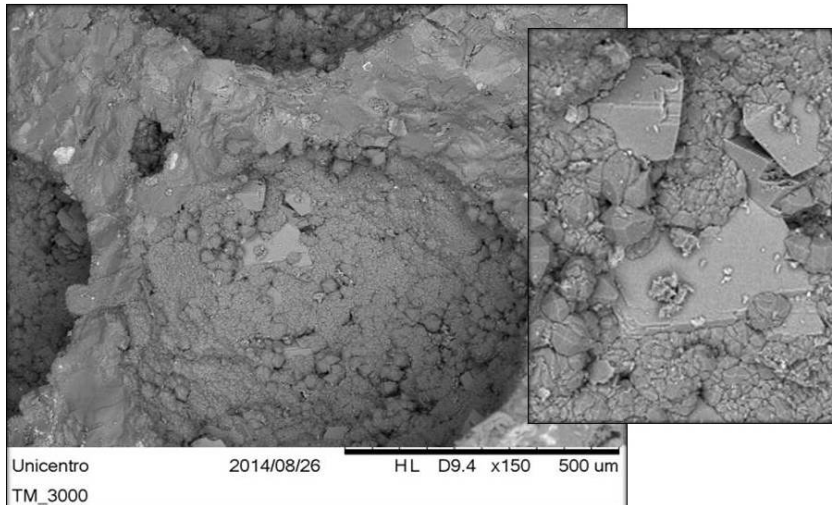


IMAGEM OBTIDA EM MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA-MEV-LABORATÓRIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA UNICENTRO- DEPARTAMENTO DE QUÍMICA.  
FONTE: BANCO DE DADOS DE PESQUISA DE ELIZA TRATZ.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo vimos que os minerais são estruturas sólidas naturais formadas através de ligações químicas de átomos (ou íons). A composição química dos minerais é relativamente homogênea, o que resulta na formação de arranjos ordenados e repetitivos às formas.

Aliás, a forma como ocorre o empacotamento dos átomos através das diferentes ligações químicas resulta em características estruturais, químicas e físicas distintas que permitem a identificação do mineral. As propriedades mais importantes para o reconhecimento a olho nu de um mineral são:

1. Sistema cristalino, isto é: a geometria do sólido é ordenada através das repetições das posições atômicas em sete sistemas cristalinos;

cúbico ou isométrico, tetragonal, hexagonal, trigonal, ortorrômbico, monoclínico e triclínico;

2. Dureza, determinada com o auxílio da escala de *moss*;
3. Densidade, obtida com precisão em uma balança de *jolly*;
4. Maneira como o cristal rompe (fratura ou clivagem);
5. Forma mineral, baseada no desenvolvimento do cristal. Os cristais bem desenvolvidos com faces regulares são classificados como euédricos, quando as faces são desenvolvidas parcialmente são denominados de subédricos e anédricos, quando não há o desenvolvimento de formas minerais;
6. Hábito do mineral: um arranjo de formas diferenciáveis formadas pelo desenvolvimento de faces distintas ou combinações cristalográficas diferentes;
7. Cor, brilho e o traço: ambos variam de acordo como sua composição química e maneira como luz é transmitida, absorvida ou refletida por um sólido.

O cruzamento das características de cada propriedade física permite a classificação dos minerais a olho nu. Quando eles não são visíveis a olho nu, devem ser observados em microscópio petrográfico ou em equipamentos mais potentes como microscópios eletrônicos de varredura.



# ROCHAS ÍGNEAS

*“A Terra é um planeta que ainda não atingiu o seu equilíbrio térmico. O calor original gerado pelo acúmulo de poeira cósmica durante a formação do nosso planeta, ainda não foi completamente dissipado. Por esse motivo, o calor flui de dentro para fora do espaço, e esse processo é o que fornece a energia para a Terra ser um planeta geologicamente ativo. As rochas ígneas originam e evoluem a cerca de 700C a 1300°C de modo que estão intimamente associadas com a evolução térmica da Terra.” (Eduardo Jorge Llambías p.07, 2001).*

## ROCHAS ÍGNEAS: A ORIGEM

À medida que aproximamos do núcleo da Terra, ocorre o aumento gradual da temperatura, estando as temperaturas na ordem de 1000°C nos primeiros quilômetros do manto superior, na ordem de 1500°C a uma profundidade de 500 Km, com variações crescentes em direção ao núcleo, onde a temperatura atinge a faixa de 6000°C (JEANLOZ e ROMANOWICZ, 1997; HOLZHEID *et al* 2000; ROMANOWICZ, 2003).

É na região compreendida pelo Manto da Terra que os processos de fusão geradores das rochas ígneas e metamórficas acontecem (LLAMBÍAS, 2001; ROMANOWICZ, 2003). Os processos geradores de rochas metamórficas e

de rochas ígneas “[...] apresentam limites pouco definidos sendo influenciados, sobretudo pela composição química das rochas submetidas ao aquecimento e a presença de minerais hidratados que favorecem os mecanismos de fusão em detrimento do metamorfismo” (LLAMBÍAS 2001, p.07).

## UM POUCO SOBRE O MANTO TERRESTRE

Com profundidade de aproximadamente 2.900 km, o manto terrestre usualmente é dividido em manto superior e manto inferior. Essa divisão é baseada na diferença de velocidade das ondas sísmicas, condições de solidez e rigidez. De um modo geral, pode-se dizer que, quanto maior a profundidade, maior a temperatura, densidade, pressão e velocidade das ondas sísmicas (ROMANOWICZ, 2003; DUFFY 2008).

### MANTO SUPERIOR

Compreende a área localizada acima dos 300 km até o contato com a crosta continental, a aproximadamente 35 km de profundidade e oceânica, a mais ou menos 6 km de profundidade. É constituído quimicamente por magnésio e ferro e mineralogicamente por olivinas, piroxênios e granadas. A velocidade das ondas sísmicas no manto superior varia, sendo mais rápidas na fronteira com a crosta e mais lentas em regiões mais profundas, sobretudo a uma profundidade de aproximadamente 200 km, zona de aquecimento do material mantélico que ascende até a litosfera através das correntes de convecção ou *hot spots* (LLAMBÍAS, 2001; ROMANOWICS, 2003; DUFFY, 2008).

### MANTO INFERIOR

Situado entre 670 km e 2900 km de profundidade é constituído quimicamente por óxidos e subordinadamente por sulfetos. Teores consideráveis de ferro são registrados em uma área conhecida como descontinuidade D, muito próxima da fronteira com o núcleo, o que indica interação entre o manto inferior e o núcleo (ROMANOWICS, 2003).

A grande pressão existente nessa descontinuidade é responsável pelo rearranjo dos silicatos de Ca e Mg, a sílica antes tetraédrica (4) transforma-se em octaédrica (6) formando a perovskita e magnesiowustita (LLAMBÍAS, 2001; KLEIN e DUTROW, 2012). Essas condições de pressão implicam também em maior densidade e rigidez fazendo com que os materiais se comportem



como sólidos. Por esse motivo, essa região é denominada também de manto sólido como refletido pelas ondas sísmicas transversais (S) (ROMANOWICS, 2003; DUFFY, 2008).

## CORRENTES DE CONVECÇÃO MANTÉLICA E PLACAS TECTÔNICAS, O QUE ISSO TEM A VER COM AS ROCHAS ÍGNEAS?

Fenômenos importantes da dinâmica de nosso planeta são desencadeados no manto como a movimentação lateral do assoalho dos oceanos e placas tectônicas impulsionadas quando os materiais mais quentes, portanto mais fluidos, iniciam um movimento ascendente, passando pelo manto superior e chegando a regiões próximas da crosta terrestre, onde consequentemente perdem calor, ficam mais densos e retornando de forma cíclica para o interior do manto (DUFFY, 2008).

A movimentação das placas tectônicas ou deriva continental implica na formação de rochas ígneas distintas relacionadas aos limites entre as placas, conforme mostra o quadro 9.

QUADRO 9: LIMITES DE PLACAS E ATIVIDADES ÍGNEAS

LIMITES DE PLACAS E ATIVIDADES ÍGNEAS	
Margens de placas construtivas	Ocorre nas dorsais meso-oceânicas atreladas ao movimento de separação de duas placas. Nessas áreas, o magma ascende, formando uma nova crosta oceânica.
Margem de placas destrutivas	Duas placas convergem de modo que uma afunde sob a outra em regiões da litosfera oceânica (arcos de ilha) e margens continentais ativas. Nesse processo, a placa que “afunda” é reabsorvida no manto ou destruída. Esse processo dá origem a uma ampla variedade de magmas.
Margem de placas conservativas	Uma falha desliza sobre a outra de modo que a litosfera não é criada nem destruída. A atividade ígnea é reduzida.
Zonas de Colisão	Onde dois arcos de ilha ou margens continentais colidem, desencadeando intensa atividade ígnea extrusiva e intrusiva.
Interior de placa	Associada a uma corrente convectiva ( <i>hot spot</i> ) que ascendeu e espalhou-se de forma anômala, provocando a fusão do manto e ascensão do material magmático até a superfície. É associada ao Vale de Rifte da África e vulcões havaianos.

INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DE JERRAM E PETFORD (2014).

**Curiosidade:** Atividades vulcânicas registradas no Hawai são o resultado de uma corrente convectiva anômala que chegou até a superfície através de vulcanismo fissural. Processo bastante semelhante foi responsável pelo vulcanismo ocorrido na Bacia do Paraná, há mais ou menos 130 M.a, quando

o movimento da placa Americana sobre a pluma Tristão e Cunha foi responsável por processos de deformação (NW-SE) e consequente extravasamento do material magmático (CAMPBELL e GRIFFITHS, 1990; TURNER *et al*, 1994).

# ROCHAS INTRUSIVAS E EXTRUSIVAS

Como vimos anteriormente, as rochas ígneas têm sua gênese no manto terrestre e ocorrem de forma diversa associadas aos limites das placas tectônicas, usualmente essas rochas são classificadas em intrusivas e extrusivas.

## ROCHAS INTRUSIVAS

As rochas solidificadas abaixo da superfície são denominadas de intrusivas e constituem corpos ígneos de vários tamanhos, estando os maiores localizados em grandes profundidades (corpos ígneos plutônicos) e os menores, (corpos intrusivos rasos) localizados mais próximos da superfície. O quadro 10 traz as características inerentes aos corpos ígneos.

QUADRO 10: CARACTERÍSTICAS DOS CORPOS ÍGNEOS RASOS E PLUTÔNICOS

	CORPO GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO	TAMANHO	ROCHAS	MODO DE OCORRÊNCIA
Corpos Rasos	Diques	Corpos tabulares verticais no momento de seu posicionamento	De centímetros até centenas de metros	Máficas e félsicas	Discordante
	Soleiras e Sills	Corpos tabulares horizontais no momento de seu posicionamento	De poucos metros a massas de centenas de km-espessura de 1-20m	Máficas e Félsicas	Concordante
	Lacólitos	Intrusões na forma de bolhas, base superior achatada e inferior curvada.	De poucos metros a massas de centenas de km	Félsicas	Concordante
	Lapólitos	Corpos ígneos na forma de pires	De poucos metros a massas de centenas de km Máfico-ultramáficos	Máficas ou ultramáficas	Concordante

Corpos Plutônicos	Batólitos	Corpos ígneos de grande dimensão (quilométricos) localizados em zonas mais profundas.	50 a 150 km de largura. 500-1500 km de comprimento.	Plutônicas Constituídas principalmente por rochas félsicas, caso dos complexos graníticos. Por vezes, podem ser capeados por rochas vulcânicas. Não raro, ocorre a mistura de magma nessas regiões ( <i>migling</i> ).	Discordante
-------------------	-----------	---	---	--	-------------

FORTE: JERRAM E PETFORD (2014).

É comum, na bibliografia, encontrarmos também termos como hipoabissal ou sub-vulcânico referentes aos corpos ígneos solidificados em regiões menos profundas, e corpos intrusivos rasos e plutônicos quando relacionados a corpos vulcânicos profundos.

Comum também a tentativa de classificação do modo ocorrência desses corpos ígneos pela granulometria da rocha, baseando-se na seguinte justificativa: “[...] as rochas intrusivas apresentam granulometria grossa (cristais bem desenvolvidos com tamanho superior a 5mm) porque foram geradas abaixo da superfície onde há mais calor disponível para o crescimento dos cristais.” (MOTOKI e SICHEL, 2006; GILL, 2014.).

Entretanto, a granulometria está relacionada à velocidade de resfriamento do magma e não ao modo de ocorrência geológica ou profundidade como pensado. Logo, alguns corpos intrusivos rasos podem ter granulometria semelhante à de corpos extrusivos e, assim, a profundidade de determinados corpos ígneos só pode ser estimada com base em trabalhos de campo onde os contatos entre os corpos ígneos são observados (MOTOKI e SICHEL, 2006; GILL, 2014).

### **Curiosidade- Um Batólito chamado Serra do Mar**

A Serra do Mar é um exemplo de batólito, resultante do choque de duas massas continentais. Posteriormente, processos erosivos expuseram as rochas plutônicas, em sua maioria granitos. Frequentemente os cinturões orogênicos como a Serra do mar são cortados por intrusões menores, principalmente diques que podem ter semelhança com rochas basálticas mais ricas em silício (félsicas) ou com pouco silício (básicas). A figura 11 mostra o Pico Paraná, na Serra do Mar paranaense.

FIGURA 11: PICO PARANÁ.



FOTO: ELIZA TRATZ.

## ROCHAS EXTRUSIVAS

Um vulcão não tem o propósito de assustar pessoas supersticiosas em ataques de piedade e devoção, nem de oprimir cidades com a destruição. Um vulcão deve ser considerado como um espiráculo para o forno subterrâneo a fim de impedir a elevação desnecessária do terreno e os sismos fatais dos terremotos. James Hutton, 1788 – citado por HARALDUR SIGURDSSON, *The History of Volcanologic*.

Quando o magma chega até a superfície através de sistemas vulcânicos há formação das de rochas extrusivas, também denominadas de extrusivas. Essas rochas diferem-se uma das outras de acordo com o modo que são colocadas na superfície, como será apresentado agora. A figura 12 é do Vulcão Ollague, localizado na fronteira da Bolívia com o Chile, um vulcão composto, pois intercala atividades explosivas com atividades efusivas.

FIGURA 12: VULCÃO OLLAGUE



FOTO: ELIZA TRATZ.

# ATIVIDADES VULCÂNICAS E PRODUTOS ASSOCIADOS

## ATIVIDADES VULCÂNICAS EFUSIVAS

Ocorrem preferencialmente em zonas de colisão e interior de placas como o vale de Rife na África e vulcões localizados no Havaí. O magma que atinge a superfície durante essas erupções tem concentração menor de  $\text{SiO}_2$  e maior temperatura acima dos  $1000^\circ\text{C}$ , implicando em magmas menos viscosos (JERRAM E PETFORD, 2014, GILL, 2014.). A menor viscosidade permite que o material magmático escoe pelos flancos do vulcão ou margens fissurais na forma de lava por centenas de quilômetros, formando extensos campos de lava como os vistos nas proximidades dos vulcões havaianos. A lava, quando solidificada, forma as rochas vulcânicas basálticas.

Magmas com maior viscosidade em função do maior teor de  $\text{SiO}_2$  apresentam temperaturas menores na ordem de  $700$  graus. Nesse caso, as escoadas de lava não conseguem avançar por longas distâncias, como consequência ao invés de grandes campos de lava são formados domos ou platôs. A lava, quando solidificada, forma rochas vulcânicas ácidas (mais ricas em sílica), caso de riolitos e dacitos.



Em alguns edifícios vulcânicos a alta viscosidade do magma obstrui o conduto vulcânico aumentando a pressão no interior. No momento em que o magma ascende, provoca o alívio da pressão, desobstruindo o conduto e provocando uma atividade vulcânica explosiva, como as vulcanianas (Quadro 13). A figura 13 retrata as ruínas de Pompeia com o vulcão Vesúvio ao fundo, um dos mais conhecidos da Europa, principalmente pela erupção de 79 d.C, responsável por dizimar 16.000 pessoas em Pompeia, além de vítimas em Herculano e Estábia.

FIGURA 13: RUÍNAS DE POMPEIA E VULCÃO VESÚVIO AO FUNDO.



POMPEIA, ITÁLIA. FOTO: ELIZA TRATZ.

## ATIVIDADES VULCÂNICAS EXPLOSIVAS

Ocorrem preferencialmente em áreas próximas a placas convergentes. Normalmente as explosões ocorrem associadas a magmas mais viscosos e ricos em ( $\text{SiO}_2$ ), ou quando há o contato do magma com água, seja ela superficial ou freática, como nas atividades vulcânicas surtesianas e freatoplínicas (Quadro 13).

Durante esse tipo de atividade vulcânica, o magma é fragmentado em partículas de vários tamanhos que são denominadas de piroclastos, como exemplificado nos quadros 11 e 12. Essas partículas resfriam muito rápido em contato com o ar, por isso é muito comum a presença de vidro vulcânico. As partículas menores são carregadas pelas correntes de ar a longas distâncias, enquanto que as maiores acumulam-se nas proximidades do edifício vulcânico. A figura 14 é de uma obsidiana, variedade de vidro vulcânico escuro associado a magmas ácidos. Os vidros de magmas basálticos são mais claros.

FIGURA 14: OBSIDIANA



BANCO DE DADOS DO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA DA UNICENTRO. FOTO: ELIZA TRATZ.

QUADRO 11: CLASSIFICAÇÃO DE PIROCLASTOS

CLASSIFICAÇÃO DE PIROCLÁSTOS				
<b>POR TAMANHO</b>	Blocos e Bombas	> 64mm		
	Lapilli	2mm a 64 mm		
	Cinza	Cinza grossa	1/1 6-2 mm	
		Cinza Fina	< 1/16 mm	
<b>TIPOS DE FRAGMENTOS</b>	<b>Fragmentos Juvenis</b>	Formados pela fragmentação do magma no momento da erupção, variam de materiais sólidos, shards de vidro a materiais altamente vesiculados como escória e púmice.		
	Fragmentos líticos	O termo inclui qualquer fragmento de rocha mais antiga dentro de um depósito piroclástico.		
	Cristais	São formados pela liberação de fenocristais do magma como resultado da fragmentação.		
TIPOS DE MATERIAL PIROCLÁSTICO				
Escória	Fragmentos vesiculares densos muitas vezes coberto por uma capa vítrea.			
Púmice	Fragmentos vesiculares com densidade inferior à água, resultantes da rápida solidificação de magmas mais siliciosos.			
Shard de vidro-	Termo aplicado para fragmento de tamanho cinza			
Cinza	Depósitos modernos não consolidados			
Tufo	Rochas consolidadas antigas			
Tefra	Termo genérico aplicado a qualquer produto piroclástico não consolidado.			

INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DE JERRAM E PETFORD (2014).

# E A CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS PIROCLÁSTICAS?

As rochas piroclásticas, como vimos anteriormente, resultam da fragmentação explosiva do magma e comumente são colocadas em superfície por correntes ou fluxos piroclásticos (MC PHIE, 1993). Muitas dessas rochas, sobretudo as resultantes de atividades surtesianas (quadro 5), apresentam estruturas sedimentares como estratificação cruzada e plano-paralela, quando colocadas em superfície por correntes piroclásticas, são também classificadas de acordo com os intervalos de tamanhos de rochas sedimentares (GILL, 2014). O quadro 4 expressa os intervalos de tamanhos enquanto que a figura 15 mostra alguns tipos de piroclastos.

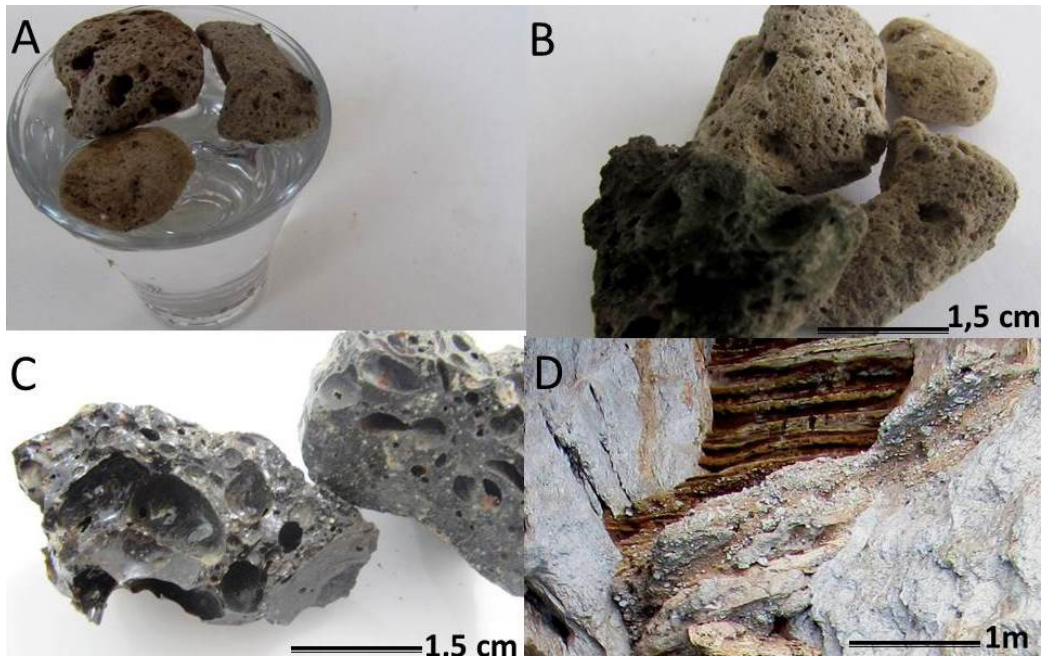
QUADRO 12: INTERVALOS DE TAMANHOS DE ROCHAS PIROCLÁSTICAS E EQUIVALENTE EPICLÁSTICO.

TAMANHO DO GRÃO	PIROCLASTO		ROCHA	EQUIVALENTE EPICLÁSTICO
256	Grosso	Bloco	Brecha	Matacão
64	Fino	Bomba	Aglomerado	Bloco
		lapilli	Lapilli-tufo	Seixo
2	Grossa	Cinza	Tufo cinerítico	Areia
1	Média			
0,062	Fina			

INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DE GILL, 2014 E PETTJOHN, 1975.



FIGURA 15: EXEMPLOS DE PIROCLASTOS.



A) RECIPIENTE COM ÁGUA E PÚMICE: A EXPERIÊNCIA MOSTRA QUE A DENSIDADE DESSE PIROCLASTO É MENOR QUE DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA INTENSA VESICULAÇÃO. B) AMOSTRAS DE PÚMICE. C) ESCÓRIA VULCÂNICA REVESTIDA POR CAPA VÍTREA. D) DEPÓSITO DE QUEDA DE PIROCLASTOS ENTRE DOLOMITAS NAS PROXIMIDADES DA ILHA DE CAPRI, ITÁLIA. FOTOS A, B E C, BANCO DE DADOS DO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA DA UNICENTRO. FOTOS: ELIZA TRATZ.

## TIPOS DE ATIVIDADES VULCÂNICAS

O quadro 13 exhibe a classificação das atividades vulcânicas de acordo com estilo eruptivo que pode ser: Hawaiano, Estromboliano, Vulcaniano, Pliniano, Sub-pliniano, Ultraplíniano, Freatoplíniano e Surtesiano.

QUADRO 13: CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES VULCÂNICAS DE ACORDO COM CAS E WRIGTH (1988).

Estilo eruptivo	Tipo de atividade	Descrição	Produto	Altura da coluna eruptiva
Havaiana	Fissural	Efusivo com pequenos fluxos piroclásticos no início das erupções	Lavas. Campos de lava; tubos de lava. Lagos de lava	Ausente ou muito pequena.
Estromboliana	Fissural no início seguida por explosão.	Moderadamente explosiva caracterizada por pequenas explosões intermitentes	Cones de escória e escoadas de lava	< que 500 metros

<b>Vulcaniana</b>	Explosiva	Explosões contínuas que variam de pequenas a moderadas.	Brechas no início da erupção oriundas da desobstrução do conduto seguida por pequenas escoadas de lava.	10 a 20 kms
<b>Pliniana</b>	Explosiva	Atividade vulcânica explosiva De algumas horas a poucos dias	Dispersão de gases e tefra por meio de escoadas piroclásticas	Até 45 kms
<b>Sub-Pliniana</b>	Explosiva	Fase ora efusiva ora explosiva. As atividades podem durar de algumas horas a poucos dias	Dispersão de tefra na fase explosiva e lavas mais ácidas, (dacíticas) na fase efusiva.	± 30 Kms
<b>Ultrapliniana</b>	Explosiva	Muito explosiva que pode durar de algumas horas a poucos dias	Grande dispersão de gases tóxicos e tefra	±50 km
<b>Freatoplíniana</b>	Explosiva	Atividade hidrovulcânica (quando há contato do magma com água). No caso, interação entre magmas mais siliciosos e água. A atividade pode durar meses.	Dispersão de vapor e tefra, principalmente cinza responsáveis pela formação dos depósitos piroclásticos.	Até 40 kms
<b>Surtesiana</b>	Explosiva	Atividade hidrovulcânica. No caso, interação entre magmas basálticos e água. A atividade pode durar meses.	Dispersão de vapor e tefra, principalmente cinza com edificação de anéis e cones de tufo.	Vigorosas Colunas eruptivas negras de até 30 Kms

DADOS EXTRAÍDOS DE CAS E WRIGHT (1988).

## O VULCANISMO NA BACIA DO PARANÁ.

Na Era Mesozoica, durante o período Cretáceo, ocorreu uma expressiva manifestação vulcânica de caráter continental, alguns autores como Bigarella (1985) e Melfi (1998) afirmam que tal evento vulcânico foi um dos maiores, se não o maior derramamento de lavas já ocorridos na Terra, e recobre 75% da Bacia do Paraná (Figura 16). As rochas vulcânicas referentes à Bacia do Paraná fazem parte da Formação Serra Geral e atingem espessuras de até 1700 metros.

FIGURA 16: BACIA DO PARANÁ.



FONTE: MILANI *ET AL* (1997).

A explicação para a grande extensão desses derrames está na maneira como o magma é distribuído, através de tubos de lava, sistemas tubulares que permitem o escoamento da lava internamente, evitando a perda de calor do fluxo de lava durante o transporte, processo que facilita a formação de derrames com grandes extensões (WAICHEL, 2006; WAICHEL *et al*, 2013). Entretanto, tubos de lava preservados são raros em Províncias vulcânicas como a da Bacia do Paraná, tanto que só foram descobertos no ano de 2012, no município de Palmital no Paraná. A figura 17 expõe os canais secundários dentro do sistema de tubos Perau Branco.

FIGURA 17: CANAIS SECUNDÁRIOS DO SISTEMA DE TUBOS- PERAU BRANCO



FOTO: ELIZA TRATZ.

# ATIVIDADES

1) Explique como são formadas as rochas intrusivas e extrusivas.

2) Por que a granulometria das rochas ígneas não deve ser parâmetro para identificação do modo de ocorrência desses corpos ígneos?

3) Diferencie atividade vulcânica explosiva de efusiva.

## O QUE FAZ UMA ROCHA ÁCIDA E UMA ROCHA BÁSICA?

As rochas ígneas podem ser classificadas de acordo com a composição química que varia de 40 a 75% em peso de óxidos de Sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e entre 10 e 20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Os demais componentes não excedem 10% do peso da amostra, com exceção para rochas como o dunito e peridotito, que apresentam teores elevados de magnésio (Mg), aproximadamente 35% do peso no caso dos peridotitos e 40% em dunitos (DUTROW, KLEIN, 2012). Mas é o teor de  $\text{SiO}_2$  que definirá se a rocha ígnea é ácida, básica ou intermediária, como indicado na tabela 1.

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS PELO TEOR DE  $\text{SiO}_2$ .

CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS PELO TEOR DE $\text{SiO}_2$		Exemplo de rochas
<b>Ácidas</b>	+65% de $\text{SiO}_2$	Riolito, quartzito latito, granito.
<b>Intermediárias</b>	53 a 65% de $\text{SiO}_2$	Andesito, Diorito, Sienito.
<b>Básicas</b>	45-53% de $\text{SiO}_2$	Basalto, Diabásio, Gabro.
<b>Ultrabásicas</b>	<45% de $\text{SiO}_2$	Kimberlito, Peridotito.

DADOS EXTRAÍDOS DE BIGARELLA ET AL (1985).

Então, quando uma rocha tem caráter ácido, podemos dizer que ela é **saturada** em  $\text{SiO}_2$ , apresentando produtos de cristalização ricos em quartzo e feldspatos alcalinos, acompanhados ou não por muscovita. Essas rochas são classificadas como félsicas (feldspato+ sílica) (DUTROW e KLEIN, 2012; JERRAM e PETFORD, 2014). No caso de rochas básicas, os produtos de cristalização são ferromagnesianos que contêm ferro e magnésio, portanto, são rochas máficas. O quadro 14 expressa os principais minerais máficos e félsicos de rochas ígneas e respectiva composição química.

QUADRO 14: MINERAIS FÉLSICOS E MÁFICOS

Minerais Félsicos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Feo+ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
Quartzo	100	-	-	-	-	-	-	-
Ortoclásio	65	18	-	-	-	-	17	-
Albita	69	19	-	-	-	12	-	-
Anortita	43	37	-	-	20	-	-	-
Muscovita	45	38	-	-	-	-	12	5
Nefelina	42	36	-	-	-	-	-	-
Minerais Máficos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Feo+ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
Olivina	40	-	15	45	-	-	-	-
Clinopiroxênio (Augita)	52	3	10	16	19	-	-	-
Ortopiroxênio (rico em fe).	50	1	30	16	1	-	-	-
Anfibólio( Hornblenda).	42	10	21	12	11	1	1	2
Biotita	40	11	16	18	-	-	11	4

FORTE: JERRAM E PETFORD (2014).

## A IMPORTÂNCIA DO FERRO E DO MAGNÉSIO NA CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS.

Os minerais pobres em SiO<sub>2</sub> apresentam coloração mais escura e, conseqüentemente, as rochas constituídas por eles também. Essas rochas são classificadas como **máficas**. Já as rochas saturadas em SiO<sub>2</sub> apresentam coloração mais clara em função dos minerais que a constituem e são classificadas como **félsicas**, em menção ao feldspato alcalino. A classificação das rochas ígneas de acordo com o teor em máficos é expressa na tabela 2:

TABELA 2: CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS DE ACORDO COM O TEOR EM MÁFICOS.

	Coloração	Teor em máficos
<b>Leucocráticas</b>	Clara	> que 30%
<b>Mesocráticas</b>	Média	30-60%
<b>Melanocráticas</b>	Escura	60-90%
<b>Hipermelânicas</b>	Muito escura	90-100%

DADOS EXTRAÍDOS DE BIGARELLA ET AL (1985).

# CRISTALIZAÇÃO

Outro tipo de classificação importante, quando o assunto é rochas ígneas, é a classificação baseada na cristalinidade das rochas considerando a proporção e o tamanho de minerais e vidro da amostra. Com base nesses parâmetros, as rochas são classificadas em holocristalinas, hipocristalinas ou vítreas (Quadro 15).

QUADRO 15: CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA CRISTALINIDADE

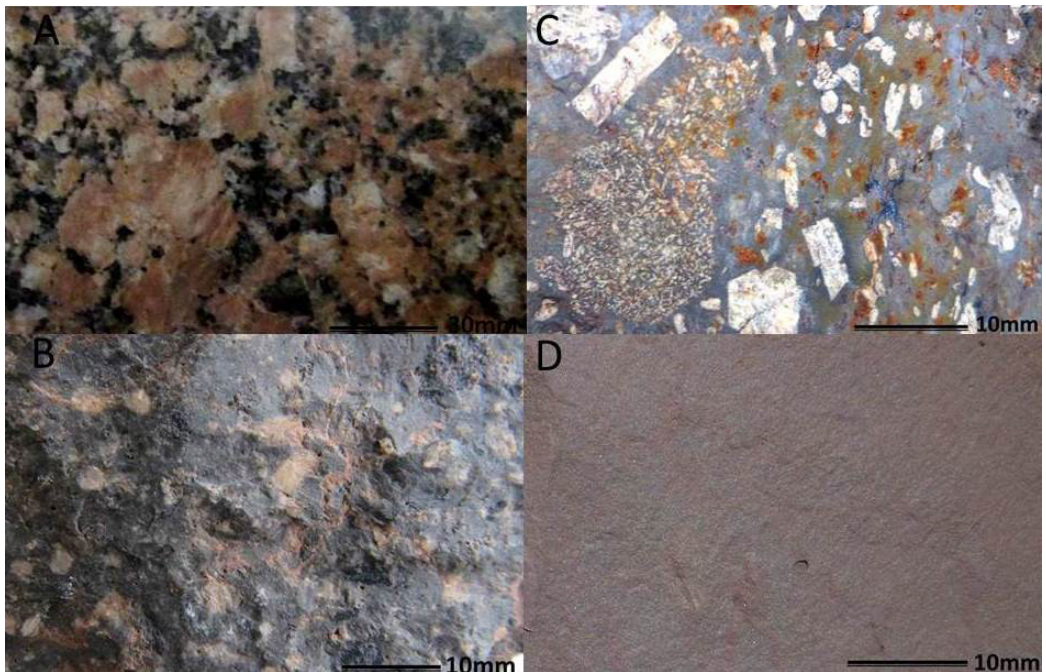
Classificação	Granulometria	Exemplo de rocha
Rochas Holocristalinas	Rochas compostas inteiramente por cristais de granulometria grossa 1-10 mm	Granitos
Rochas Hipocristalinas	Constituída por uma mistura de cristais e vidro de granulometria média e fina. Granulometria Média: 0, 2- 10 mm (minerais um pouco visíveis a olho nu, sendo indiferenciados na maioria. Granulometria fina: <0,2 (minerais invisíveis a olho) mm e vidro.	Basaltos, Andesitos
Rochas Bimodais (Pórfiras)	A cristalização é desenvolvida em dois estágios formando por minerais maiores (fenocristais) imersos uma matriz mais fina. Os fenocristais podem variar de milímetros a centímetros, enquanto que a matriz varia de média a fina.	Rochas vulcânicas mais ricas em SiO <sub>2</sub> . Riólitos.
Rochas Vítreas ou Holohialinas	Constituída quase que inteiramente de vidro, não apresentam nenhum arranjo cristalino.	Vidro Vulcânico
Rochas Criptocristalinas	A trama cristalina apresenta tamanhos indistinguíveis (25 a 30 µm), mesmo quando observadas em microscópio petrográfico.	

DADOS EXTRAÍDOS DE APOSTILA DE ROCHAS ÍGNEAS (MOTOKI, 2004).

As rochas hipocristalinas, sobretudo as de granulação fina, não permitem que seus cristais sejam visualizados a olho nu, sendo classificadas também como **afaníticas**. Já as rochas que permitem visualização de seus cristais a olho nu, caso das holocristalinas, são classificadas como **faneríticas**. Ainda é possível classificar as rochas ígneas em **porfiríticas**, quando há distribuição de cristais maiores em matriz fina, rochas também designadas de bimodais. A figura 18 traz exemplos de rochas com granulometrias diferentes.



FIGURA 18: ROCHAS COM DIFERENTE CRISTALINIDADE.



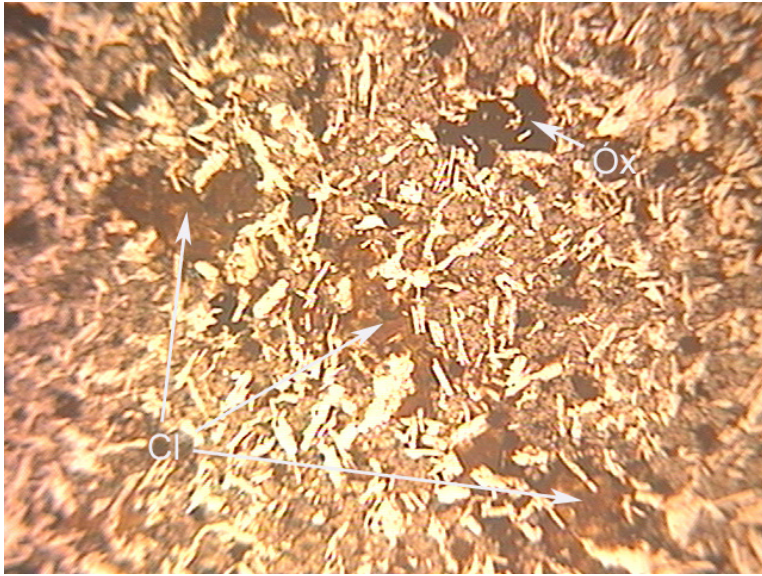
AMOSTRA DE GRANITO COMPOSTO POR CRISTAIS DE GRANULOMETRIA GROSSA. (ROCHA HOLOCRIсталINA). OS CRISTAIS BRANCOS SÃO DE QUARTZO, OS ROSADOS DE FELDSPATO E OS PRETOS DE BIOTITA. B) AMOSTRA DE DACITO COM CRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIO (MAIS ALONGADOS) E QUARTZO EM MATRIZ FINA. (ROCHA PÓRFIRA). C) RIOLITO COM INCLUSÃO DE ANDESITO, CRISTAIS ALONGADOS DE PLAGIOCLÁSIO, FELDSPATO E QUARTZO EM MATRIZ FINA (ROCHA PÓRFIRA OU BIMODAL). NO ANDESITO, PEQUENAS RIPAS DE PLAGIOCLÁSIO EM MATRIZ FINA. D) AMOSTRA DE BASALTO, EM AMOSTRAS DE MÃO, POUCOS CRISTAIS SÃO VISÍVEIS A OLHO NU (ROCHA HIPOCRISTALINA). FOTOGRAFIA E ORGANIZAÇÃO: ELIZA TRATZ.

## CURIOSIDADE

Em geral, quando os minerais constituintes da rocha não podem ser observados a olho nu, a rocha é cortada, colada em uma fina lâmina de vidro e desbastada até atingir 0,03mm de espessura. Com 0,03mm estão prontas para o microscópio petrógrafo.

Para as análises no microscópio, uma série de técnicas é empregada para reconhecimento dos constituintes minerais e estimativa da porcentagem, mas isso é assunto para outras disciplinas e outros livros. E, para matar a curiosidade, a imagem Figura 19 é da lâmina delgada da imagem D. Agora podemos dizer que se trata de um basalto equigranular fino. Os cristais alongados são de plagioclásio. Além dos plagioclásios, são observadas cloritas (Cl) e óxidos OX, indicados pelas setas na imagem.

FIGURA 19: LÂMINA DELGADA DA FIGURA 8D.



COMPRIMENTO DA FOTO=4 MM. FONTE: BANCO DE DADOS DE PESQUISA DE ELIZA TRATZ.

## ATIVIDADE

1) Com base na análise química 1, identifique se a rocha é básica, intermediária ou ácida, justifique o porquê da resposta.

### ANÁLISE QUÍMICA DE ROCHA 1

AMOSTRA	Porcentagem em peso
SiO <sub>2</sub>	51,96%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,14%
TiO <sub>2</sub>	2,44%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,40%
MnO	>0,19%
MgO	4,16%
CaO	9,00%
Na <sub>2</sub> O	2,57%
K <sub>2</sub> O	1,10%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17%
<b>Soma</b>	<b>99,50</b>

ANÁLISE QUÍMICA REAL REALIZADA PELO LAMIR. LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE MINERAIS E ROCHAS DA UFPR.



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo teve como objetivo a apresentação de informações básicas acerca de rochas ígneas, como a região em que são geradas, influência da composição química dos minerais do magma quando submetidas ao aquecimento, ficando claro que, ainda no manto terrestre, os minerais hidratados favorecem os processos de fusão, gerando rochas ígneas ao invés de metamórficas.

Ainda nesta etapa é feita a relação dos limites de placas tectônicas com o tipo de atividade ígnea e variedade de magmas, estando as margens de placas construtivas associadas a processos de ascensão do magma e formação de nova crosta oceânica, às zonas de colisão responsáveis pela geração de atividades ígneas intrusivas e inúmeras atividades vulcânicas em superfície, e as zonas de interior de placa atreladas a processos geradores de fusão do magma e ascensão do material magmático até a superfície, como observado nos vulcões havaianos.

Num segundo momento, os conceitos de rochas intrusivas (solidificadas abaixo da superfície terrestre) e extrusivas (solidificadas em superfície) foram abordados. Por fim, foram expostas as informações para classificação a olho nu das rochas ígneas de acordo com o teor de sílica, máficos e cristalinidade, esta última atrelada à velocidade de resfriamento do magma.






# METAMORFISMO E ROCHAS METAMÓRFICAS

**A**s rochas metamórficas têm sua origem a partir do metamorfismo ou transformação de rochas pré-existentes, sejam elas de origem sedimentar (parametamórfica), magmática (ortometamórfica) ou também de origem metamórfica, que sofrem a ação de pressão e/ou temperatura elevadas.

O calor, a pressão e os fluidos a que são submetidas as rochas pré-existentes são intensos o suficiente para provocar a mudança na composição mineral e/ou textural, dando origem a uma nova rocha. (RUBERTI *et al*, 2009; WICANDER; MONROE, 2009).

## TIPOS DE METAMORFISMO

Há diferentes processos que podem gerar rocha metamórficas, contudo os três primeiros são reconhecidos como os principais. Apesar de serem apresentados separadamente, os limites entre eles nem sempre são claros, pois são condicionados, basicamente, pela ação dominante de um dos agentes de metamorfismo (WICANDER; MONROE, 2009; RUBERTI *et al*, 2009).



**Metamorfismo regional ou dinamotermal** – esse processo de metamorfismo está relacionado com os cinturões orogênicos nos limites de placas convergentes, portanto, sua zona de ocorrência é bastante profunda e tende a ocupar amplas áreas da crosta. Esse tipo de metamorfismo se destaca. As rochas sofrem influência de pressões litostáticas e dirigidas, elevadas por milhões de anos. As pressões a que são submetidas favorecem processos de dobramento e falhamento e recristalizações de novos minerais estáveis sob novo estado físico-químico (SÃO PAULO, 2015).

**Metamorfismo dinâmico ou cataclástico** – está, em geral, associado a zonas de falhas, onde as rochas estão sujeitas a pressões dirigidas. A pressão fortemente elevada produz transformações texturais e estruturais na rocha, formando microbandamento ou laminações. Deformações rúpteis ocorrem em porções mais superficiais da crosta, e nesse caso, os minerais são fragmentados. Em zonas mais profundas, ocorrem deformações dúcteis, e os minerais são deformados, podendo ocorrer também a presença de fluidos, formando novas recristalizações e formação de minerais hidratados (WICANDER; MONROE, 2009, SÃO PAULO, 2015).

**Metamorfismo de contato ou termal** - ocorre em áreas próximas às intrusões magmáticas, na chamada auréola de contato, que está submetida à elevação de temperatura das intrusões. O metamorfismo ocorre na rocha encaixante de acordo com capacidade calorífica, do gradiente térmico entre a intrusão e a rocha e das propriedades do material magmático que sofreu intrusão (WICANDER; MONROE, 2009). Essas rochas metamórficas são chamadas *hornfels*.

**Metamorfismo de soterramento** - ocorre a grandes profundidades e está associado às bacias sedimentares em processo de subsidência. Nesse caso, atuam em conjunto a pressão litostática e a temperatura, que pode chegar a 300° C, oriunda do fluxo de calor da crosta (RUBERTI *et al*, 2009).

**Metamorfismo hidrotermal** – ocorre geralmente nas bordas de intrusões graníticas, em superfícies de vulcanismo basáltico submarino e campos geotermiais. O metamorfismo ocorre através da percolação da água quente nas fraturas e porosidade da rocha. Nele ocorrem trocas iônicas entre a água quente circulante e as paredes das fraturas da rocha (processo denominado metassomatismo). Isso faz com que os minerais tornem-se instáveis e ocorra a recristalização à temperatura entre 100 e 370° C. Trata-se de um importante processo de formação de depósitos minerais (SÃO PAULO, 2015).

**Metamorfismo de fundo oceânico** – dá-se em áreas próximas aos *rifts* das cadeias meso-oceânicas, onde a rocha quente recém-extrudida interage com a água fria do mar por meio de processos metassomáticos e metamórficos termiais (RUBERTI *et al*, 2009).

**Metamorfismo de impacto** – é um evento mais pontual, de áreas reduzidas da crosta que sofreram a ação do impacto de grandes meteoritos. Nessa situação, tem-se a energia do impacto que é dissipada na forma de ondas de choque e promovem o fraturamento e o calor que pode atingir 5000°C, que faz vaporizar o meteorito e promover o metamorfismo da rocha que sofreu o impacto (SÃO PAULO, 2015).

## AGENTES DE METAMORFISMO

A temperatura e a pressão são os principais agentes de metamorfismo, entretanto, eles estão associados com outros parâmetros como os fluidos de circulação, a intensidade de aquecimento e o tempo durante o qual a rocha se encontra submetida a esses fatores. Durante os processos de metamorfismo a rocha se mantém no estado sólido, as modificações se dão na composição mineralógica, na textura e na estrutura.

Os principais agentes que promovem o metamorfismo em rochas são: **temperatura, pressões litostática e dirigida e a ação de fluidos de circulação e tempo**, que serão apresentados na sequência.

### TEMPERATURA

Na Terra, as temperaturas aumentam com a profundidade (grau geotérmico) e esse calor chega à crosta através de grandes volumes de material mantélico, intrudido em áreas vulcânicas ou de cadeia de montanhas. O metamorfismo ocorre em temperaturas entre 200° e 800° C nas rochas encaixantes que ficam em contato com o magma. Essas temperaturas não fundem a rocha, mas propiciam reações químicas entre os minerais que deixam as rochas mais sujeitas às pressões elevadas (RUBERTI *et al*, 2009; WICANDER; MONROE, 2009).

### PRESSÃO

As profundidades em que ocorrem o metamorfismo são variadas (de poucos metros a dezenas de quilômetros). Portanto, as pressões a que as rochas estão submetidas são igualmente variadas. A pressão litostática que se origina do peso de rochas sobrejacentes são predominantes. Existem as pressões decorrentes do movimento das placas tectônicas que originam compressões

laterais (pressão ou tensão dirigidas e compressivas) em parte da crosta. Nas rochas metamórficas, a deformação e a orientação dos minerais indicam a ocorrências de pressões dirigidas (RUBERTI *et al*, 2009).

## FLUIDOS DE CIRCULAÇÃO

Durante o processo de metamorfismo, fluidos (fases líquidas e gasosas) atuam dissolvendo, transportando e alterando os minerais das rochas. A água assume papel fundamental pois tem poder de dissolver a maioria das substâncias e transportá-las, além de favorecer uma série de reações químicas. Esses processos químicos favorecem as diversas alterações mineralógicas na rocha que sofre o metamorfismo (WICANDER; MONROE, 2009).

Sendo a fase fluida a predominante, a presença da água é reconhecida pelos minerais hidratados, como micas, anfibólios e cloritas e/ou carbonatos, na maioria das rochas metamórficas. O metamorfismo de alto grau gera rochas com poucos minerais hidratados. Em oposição, o metamorfismo de baixo grau origina rochas com maiores quantidades de minerais hidratados (RUBERTI *et al*, 2009; WICANDER; MONROE, 2009).

## TEMPO

O tempo torna-se um fator importante no metamorfismo uma vez que as reações químicas ocorrem de forma lenta, de acordo com as alterações nas condições físicas do ambiente metamórfico. Não é possível afirmar quanto tempo leva para uma rocha metamórfica formar-se sob as mais diferentes condições físico-químicas. Estima-se que sob pressões e temperaturas elevadas, por um tempo de milhares ou até mesmo milhões de anos, formam-se na rocha metamórfica cristais de tamanho centimétrico (RUBERTI *et al*, 2009).

## MINERAIS ÍNDICE

As etapas do processo de metamorfismo podem ser definidas pelos chamados minerais índice. Por meio do metamorfismo crescente, ocorrem mudanças mineralógicas, texturais e estruturais das rochas submetidas a esse aumento de pressão e temperatura. O aparecimento de minerais específicos possibilita o reconhecimento das diferentes zonas de metamorfismo (zonas de alto, médio e baixo metamorfismo). Dentre esses minerais podem ser citados a clorite, a estauroлите, a silimanite, a granada, a cianite, a andaluzite e o epídoto.

# ESTRUTURAS DE ROCHAS METAMÓRFICAS

A classificação das estruturas de rochas metamórficas baseia-se nas suas propriedades macroscópicas, observáveis em amostra de mão e em afloramento. As duas grandes estruturas são foliação e estrutura maciça (WICANDER; MONROE, 2009).

**Foliação** – a foliação constitui o arranjo paralelo dos minerais na rocha. Incluem-se nessa classificação a xistosidade, lineação, clivagem ardosiana, gnaissificação, bandamento e clivagem de cremulação.

**Lineação** – é a presença de uma direção preferencial dentro do plano de xistosidade.

**Xistosidade** – apresenta o desenvolvimento de minerais placoides e/ou tabulares (Figura 20).

FIGURA 20: ESTRUTURA XISTOSA DE AMOSTRA DE XISTO



FONTE: GISELE PIETROBELLI.

**Clivagem ardosiana** - estrutura encontrada nas ardósias e filitos marcados principalmente pela iso-orientação de filossilicatos microcristalinos. A olho nu observa-se o rompimento da rocha em planos paralelos e regulares (Figura 21).

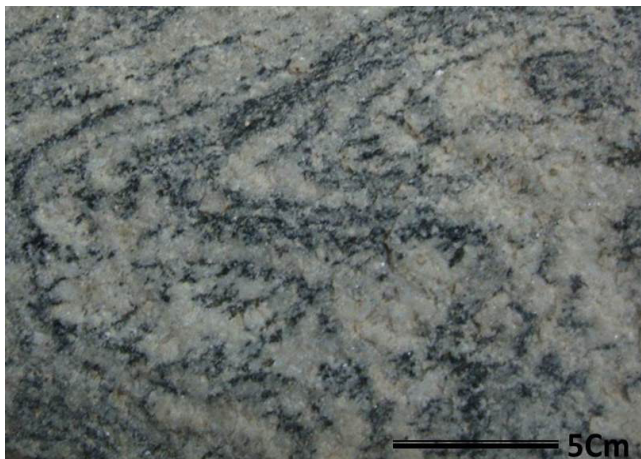
FIGURA 21: CLIVAGEM ARDOSIANA EM AMOSTRA DE ARDÓSIA



FONTE: GISELE PIETROBELLI.

**Gnaissificação** – constitui a estrutura típica dos gnaisses, que apresentam, de forma alternada (Figura 22).

FIGURA 22: ESTRUTURA GNÁISSICA EM AMOSTRA DE GNAISSE DOBRADO



FONTE: GISELE PIETROBELLI.

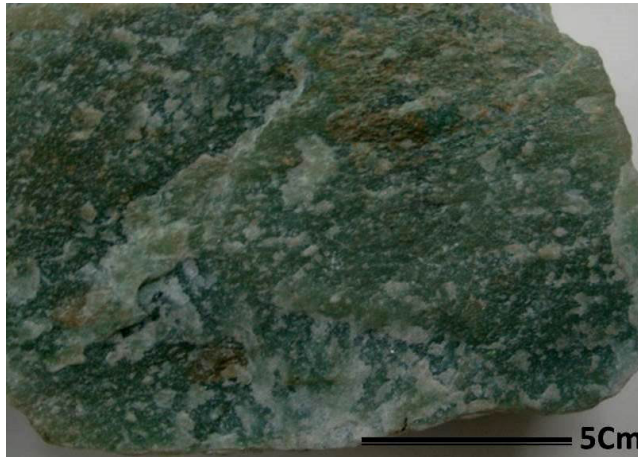
**Bandamento** – trata-se do arranjo composicional de minerais caracterizado pela alternância de bancas claras e escuras na rocha (Figura 23). Bandas claras são formadas por quartzo e feldspato e bandas escuras são formadas por minerais máficos.

**Clivagem de crenulação** – ocorre ao longo de pequenas dobras de crenulação, principalmente de filitos e xistos.

**Estrutura maciça ou granulosa** – Nesse caso predomina a ausência de elementos planares ou lineares na rocha, apresentando um aspecto maciço.



FIGURA 23: ESTRUTURA MACIÇA EM QUARTZITO



FONTE: GISELE PIETROBELLI.

## TEXTURAS DE ROCHAS METAMÓRFICAS

Três processos determinam as texturas das rochas metamórficas: a blastese, que significa o crescimento dos minerais e a deformação que conduz à cominuição e orientação dos minerais, que envolve fragmentação, recuperação, recristalização, dissolução e neomineralização.

### Texturas blásticas

A blastese envolve a nucleação seguida pelo crescimento mineral no estado sólido que se dá nos estágios iniciais do metamorfismo (CAPUTO, 2015). Assim, as texturas blásticas das rochas metamórficas são:

**Granoblástica** – nesse caso os minerais da rocha são granulares e sem orientação (Figura 24).

FIGURA 24: GRANOBLÁSTICA EM MÁRMORE SACAROIDE



FONTE: GISELE PIETROBELLI.

**Granoblástica poligonal** - nela os grãos apresentam dimensões semelhantes e os contatos entre eles são de interfaces retas e junções tríplices.

**Nematoblástica** - é definida por minerais de hábito alongado, prismático ou acicular dispostos subparalelamente.

**Porfiroblástica** - é característica das rochas que apresentam um mineral que se destaca pelo tamanho na matriz da rocha.

## TEXTURAS CATACLÁSTICAS

Renner (2015) apresenta a textura cataclástica em rochas metamórficas. Essa textura apresenta relação com o fraturamento e deformação dos grãos minerais de rochas sujeitas a metamorfismo dinâmico ou falhamento. Segundo o autor, elas se dividem em:

**Cataclástica** - textura com pouca ou nenhuma orientação, cujos minerais, devido ao comportamento rúptil do metamorfismo dinâmico, são fragmentados. Visível principalmente em rochas quartzo-feldspáticas.

**Milonítica** - nessa textura, os minerais envolvidos apresentam comportamento dúctil ou plástico, independente do processo envolvido, e apresentarão orientação em planos ou linhas (Figura 25).

FIGURA 25: TEXTURA MILONÍTICA DE MILONITO



FONTE: GISELE PIETROBELLI.

**Porfiroclástica** - trata-se de textura em que se destacam na massa cataclástica homogênea, minerais mais resistentes.

**Em argamassa ou mortar texture** - envolve minerais com graus menores de cataclase, portanto, rompem-se preferencialmente nas bordas.

Por fim, a classificação das rochas metamórficas mais comuns, suas características e a rocha formadora ou rocha-mãe estão sintetizadas no Quadro 16.

QUADRO 16: CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS E ESTRUTURAIS DE ROCHAS METAMÓRFICAS

Textura	Rocha metamórfica	Minerais típicos	Grau metamórfico	Características das rochas	Rocha parental (ou protólito)
<b>Foliada</b>	Ardósia	Argila, micas, clorita	Baixo	Granulação fina, divide-se facilmente em peças planas	Lamito, argilito, cinza vulcânica
	Filito	Quartzo finamente granulado, micas e clorita	Baixo a médio	Luminosidade acetinada e resplandecente	Lamito
	Xisto	Mica, clorita, quartzo, talco, hornblenda, granada, estauroilita, grafita	Baixo a alto	Foliação distinta, minerais visíveis	Lamito, rochas carbonáticas e ígneas máficas
	Gnaisse	Quartzo, feldspato, hornblend, micas	Alto	Faixas claras e escuras, segregadas visíveis	Lamitos, arenitos, rochas ígneas félsicas e máficas
	Anfibolito	Hornblenda e plagioclásio	Médio a alto	Cor escura, foliação fraca	Rochas ígneas máficas
	Migmatito	Quartzo, feldspato, hornblenda, micas	Alto	Bandas ou lentes de granito entremeado em gnaisses	Rochas ígneas félsicas misturadas com rochas metamórficas
<b>Não foliada</b>	Mármore	Calcita, dolomita	Baixo a alto	Grãos engatados de calcita ou dolomita	Calcário ou dolomito
	Quartzito	Quartzo	Médio a alto	Grãos engatados de quartzo, dura, densa	Arenito de quartzo
	Xisto-verde (greenstone)	Clorita, epidoto, andaluzita, cordierita, quartzo	Baixo a médio	Finamente granulado, grãos equigranulares, dura, densa	Lamitos
	Antracito	Carbono	Alto	Fratura subconchoidal, preto, brilhante	Carvão

FONTE: WICANDER; MONROE (2009).

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo teve como objetivo apresentar os processos envolvidos na formação de rochas metamórficas. Estes processos têm sua origem relacionada com a dinâmica interna do planeta, por isso, essas rochas nos contam importantes eventos pelos quais a Terra passou. As rochas metamórficas possibilitam o reconhecimento de grandes processos tectônicos do passado, sendo estes essenciais para a compreensão da conformação atual do planeta. A exceção quanto a origem interna, porém não menos importante, refere-se ao metamorfismo de impacto.

Na sequência foram apresentadas as características texturais e estruturais das rochas metamórficas e os principais tipos.



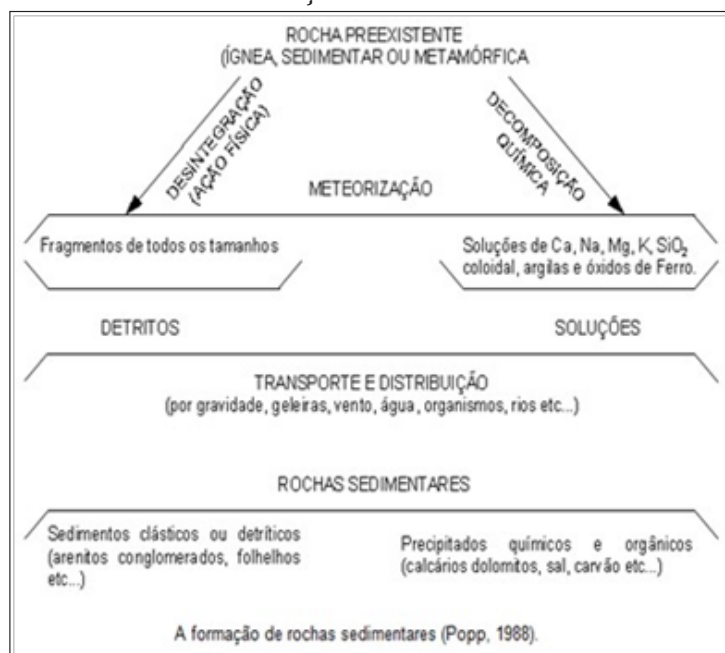
# SEDIMENTOS E ROCHAS SEDIMENTARES

**R**ochas sedimentares são compostas por sedimentos que incluem partículas sólidas originadas do intemperismo mecânico e químico, assim como minerais precipitados de soluções por processos químicos e também minerais secretados dos organismos. Assim, todo sedimento é originado dos processos de intemperismo ou meteorização, da erosão e transporte, e da deposição como um agregado solto de partículas numa bacia sedimentar (Figura 26) (WICANDER, MONROE, 2009).

Um critério importante para classificar partículas sedimentares é o seu tamanho, especialmente para partículas sólidas ou sedimento detrítico (Quadro 17), originado do intemperismo em oposição ao sedimento químico, consistindo em minerais extraídos de solução por processos químicos inorgânicos ou das atividades dos organismos (WICANDER, MONROE, 2009).

Clasto é o componente individual de sedimentos detríticos ou de rochas sedimentares detríticas, produzido pela desintegração de massas de rochas maiores (sinônimo de detrito) (SUGUIO,1998).

FIGURA 26-A FORMAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES



FONTE: POP (1988).

QUADRO 17-DENOMINAÇÃO E TAMANHO DE COMPONENTES GRANULOMÉTRICOS

φ	Português	Inglês	mm
-9	Bloco	Boulder	512
-8			256
-7	Seixo	Cobble	128
-6			64
-5			32
-4	Cascalho muito grosseiro	Very coarse gravel	16
-3	Cascalho grosseiro	Coarse gravel	8
-2	Cascalho médio	Medium gravel	4
-1	Cascalho fino	Fine gravel	2
0	Areia muito grosseira	Very coarse sand	1,000
1	Areia grosseira	Coarse sand	0,500
2	Areia média	Medium sand	0,250
3	Areia fina	Fine sand	0,125
4	Areia muito fina	Very fine sand	0,0625
5	Silte grosseiro	Coarse silt	31,25
6	Silte médio	Medium silt	15,63
7	Silte fino	Fine silt	7,81
8	Silte muito fino	Very fine silt	3,91
9	Argila grosseira	Coarse clay	1,95
10	Argila média	Medium clay	0,98
11	Argila fina	Fine clay	0,49
12	Argila muito fina	Very fine clay	0,24
13	Colóides	Colloid	0,12

FONTE: WENTWORTH (1922).

A geração de rochas sedimentares envolve diferentes processos naturais que atuam para dar origem à alteração dos materiais, transporte, deposição e litificação. Entre eles, serão abordados, neste material, intemperismo, deposição, diagênese e estruturas sedimentares. Estas últimas se destacam por fornecerem informações a respeito do ambiente de formação das rochas sedimentares.

## INTEMPERISMO

O ciclo sedimentar inicia com a alteração e desagregação das rochas. Os fragmentos desse processo podem sofrer transporte e deposição em bacias de sedimentação, formando os sedimentos.

O conjunto de processos que ocorrem na superfície terrestre e conduzem à alteração e desagregação das rochas chama-se intemperismo. É uma adaptação dos minerais das rochas às novas condições ambientais, muito diferentes daquelas em que se formaram.

O intemperismo é classificado de acordo com os mecanismos que se operam para promover a alteração ou fragmentação das rochas.

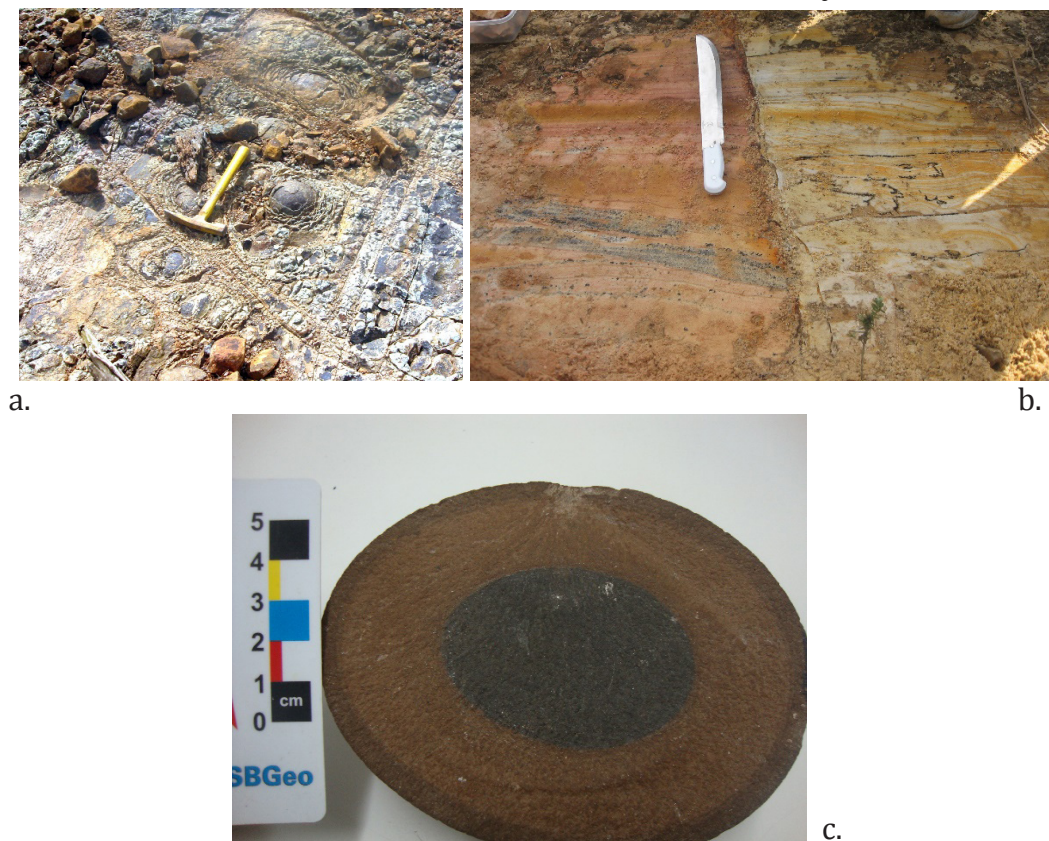
**Intemperismo físico ou mecânico:** ocorre por ação de forças físicas que quebram os materiais das rochas em fragmentos menores, mas mantendo a composição original da rocha. Os agentes que promovem esse tipo de intemperismo nas rochas incluem ação do congelamento, expansão e contração termal, alívio de pressão, atividade orgânica e crescimento de sais. (WICANDER, MONROE, 2009).

**Intemperismo físico-biológico:** manifesta-se pela ação mecânica de vegetais ou animais que favorecem a quebra ou rompimento das rochas, como raízes de árvores e animais escavadores.

**Intemperismo químico:** refere-se aos processos químicos decorrentes da decomposição pela alteração do material parental (Figura 27). O intemperismo químico se dá por solução, oxidação, redução, hidratação, hidrólise ou dissolução. Minerais que formam as rochas têm diferentes graus de resistência ao intemperismo químico (Figura 28).



FIGURA 27– DIFERENTES TIPOS DE INTEMPERISMO QUÍMICO.



A) DECOMPOSIÇÃO ESFEROIDAL OU ACEBOLAMENTO. B) BANDAMENTO EM DIFERENTES CORES, DECORRENTE DE ALTERAÇÕES DE DIFERENTES MINERAIS EM ROCHA ARENÍTICA. C) ALTERAÇÃO CONCÊNTRICA EM FRAGMENTO DE MATAÇÃO BASÁLTICO ROLADO, NOTA-SE NO CÍRCULO CENTRAL A COR ORIGINAL DA ROCHA. FONTE: GISELE PIETROBELLI.

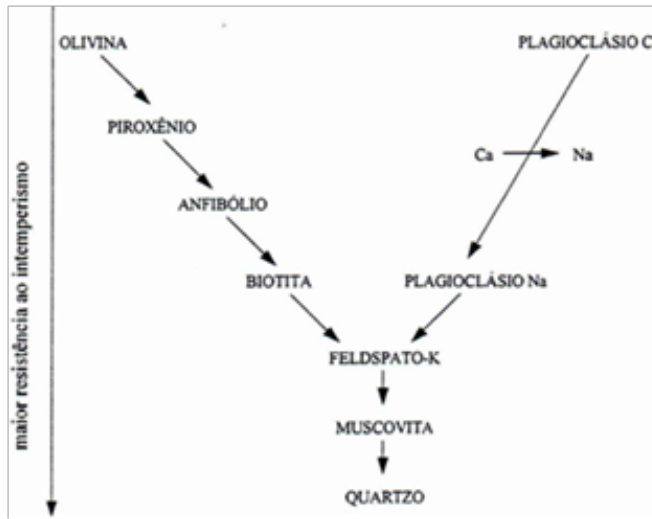
Pode ser incluído também o intemperismo químico-biológico que se refere à ação de plantas, animais e bactérias que produzem ácido e sais.

Uma vez gerados os produtos do intemperismo, estes poderão ser transportados e, nesse caso, eles recebem o nome de sedimentos, formando os depósitos sedimentares que, através da diagênese, transformam-se em rochas sedimentares litificadas.

Os mecanismos de transporte de sedimentos representam o carreamento dos produtos do intemperismo de um local para outro. Suguio (2003) classifica os seguintes agentes de transporte de materiais: águas pluviais e fluviais, correntes costeiras, ventos, geleiras e diferentes movimentos de massa. Durante o transporte, os sedimentos sólidos estão sujeitos à abrasão, arredondamento e selecionamento. Tanto o arredondamento quanto a seleção dos grãos têm implicações importantes para outros aspectos.



FIGURA 28: SEQUÊNCIA DE ALTERAÇÃO MINERAL DE GOLDICH



FONTE: CASSETI (1994).

## DEPOSIÇÃO

A deposição corresponde à fase de sedimentação e/ou acumulação de partículas essencialmente minerais, em meios subaquoso ou subaéreo móveis, sob condições físicas e químicas normais, isto é, semelhantes às existentes na superfície terrestre (SUGUIO, 2003). Selley (1976) apresenta a classificação de ambientes típicos de sedimentação moderna (Quadro 18). A remoção e transporte dos produtos do intemperismo é denominada erosão e seus principais agentes são a água, o vento e o gelo.

A taxa de sedimentação representa a velocidade de acumulação de sedimentos em um ambiente, comumente subaquático, medida pela espessura depositada em determinado intervalo de tempo (SUGUIO, 2003).

QUADRO 18: AMBIENTES MODERNOS DE SEDIMENTAÇÃO

Continental	Terrestre	Desértico Glacial Espélico (cavernas)
	Subaquoso	Fluvial Paludal (pântanos) Lacustre
Transicional	Deltaico Estuarino Lagunar Litorâneo (intermarés)	
Marinho	Recifal Nerítico (maré baixa a - 180m) Batial (-180 a -1800m) Abissal (abaixo de -1800m)	

FONTE: DE SELLEY (1976).

# PROCESSOS DIAGENÉTICOS

A conversão dos sedimentos inconsolidados em rocha consolidada denomina-se litificação e é comandada por processos diagenéticos. Entre os mais importantes deles estão: compactação, dissolução, cimentação e recristalização diagenética. A compactação diagenética se dá por processos mecânicos ou químicos. Os processos mecânicos geram redução de volume do material depositado causada pelo peso de camadas sobrejacentes. Nesse caso, ocorre diminuição de vazios, fuga de líquidos, aumento da superfície de contato e deformação de partículas. A compactação química se dá por dissolução de minerais sob pressão.

A dissolução diagenética pode se dar sob pressão ou na ausência dela. No primeiro caso, sob pressão, é modificado o tipo de contato entre os constituintes granulométricos dos sedimentos.

## **Pontuais – planares – côncavos - convexos - suturados**

Quanto maior a superfície de contato entre os grãos, menor será a porosidade da rocha e, por conseguinte, menor será a retenção ou migração de fluidos (água, óleo e gás) na rocha.

Sob condições de pressão normal, a dissolução diagenética ocorre por meio da percolação de fluidos nos sedimentos e reações químicas entre a solução e o material depositado.

A cimentação constitui-se na acumulação de precipitados minerais nos poros intersticiais da rocha, gerando a colagem das partículas. Os principais elementos cimentantes das rochas sedimentares são argilominerais, pirita, calcita e quartzo.

A recristalização diagenética ocorre em sedimentos soterrados que sofrem mudanças mineralógicas ou na estrutura cristalina de seus minerais.

“Vários materiais argilosos, que são silicatos planares, formam-se pela alteração química e estrutural de outros minerais, tais como o feldspato potássico e feldspato plagioclásio, ambos silicatos com estrutura tridimensional. Outros minerais se decompõem completamente durante o intemperismo químico à medida que seus íons entram na solução, mas os minerais resistentes às alterações químicas podem simplesmente ser liberados do material parental” (WICANDER; MONROE, 2009, p.125).

# ESTRUTURAS DE SEDIMENTAÇÃO

Muitas estruturas sedimentares se originam de processos que envolvem movimento de água ou ar que ocorreram durante a deposição ou imediatamente após a deposição, mas ainda controladas por processos físicos. Essas são chamadas estruturas sedimentares físicas ou primárias. Outras são formadas em período muito posterior à deposição e são chamadas estruturas sedimentares químicas ou secundárias.

A classificação de estruturas sedimentares pode ser efetuada com base nas suas características morfológicas, ou no modo presumível de sua origem.

As estruturas sedimentares podem ter sua origem por meio de processos físicos que se dão durante a ou imediatamente após a deposição, e por processos químicos que se operam pela presença da água. Caputo (2014) sintetiza essa classificação genética das estruturas de sedimentação conforme o quadro 19.

QUADRO 19: ESTRUTURA GENÉTICA DAS ESTRUTURAS DE SEDIMENTAÇÃO

<b>PRIMÁRIAS</b>	Processos formadores durante a sedimentação ou imediatamente após a deposição
<b>(SINGENÉTICAS)</b>	Ex. Estratificação cruzada, marcas onduladas
<b>SECUNDÁRIAS</b>	Processos formadores após a sedimentação e geradas por processos químicos
<b>(EPIGENÉTICAS)</b>	Ex. Concreção

FONTE: CAPUTO (2014).

## ESTRUTURAS FÍSICAS OU PRIMÁRIAS

As estruturas sedimentares primárias são formadas como resultado de interações entre gravidade, características físicas e químicas do sedimento e do fluido, podendo fornecer informações importantes sobre as condições hidráulicas do ambiente de deposição (REINECK e SINGH, 1980). Pettijohn (1963) classificou as estruturas sedimentares em físicas ou primárias, químicas ou secundárias e orgânicas, da forma como está sintetizado no quadro 20. A Figura 29 (a) apresenta diferentes tipos de estruturas de sedimentação primárias, como estrutura de preenchimento de canal, estrutura cruzada, plano-paralela, acanalada, entre outras. Da mesma forma, fósseis (Figura 29c) são considerados como estruturas primárias.

Também estão incluídas nessa categoria as estruturas primárias pós-deposicionais. Nelas incluem-se as estruturas sedimentares originadas por

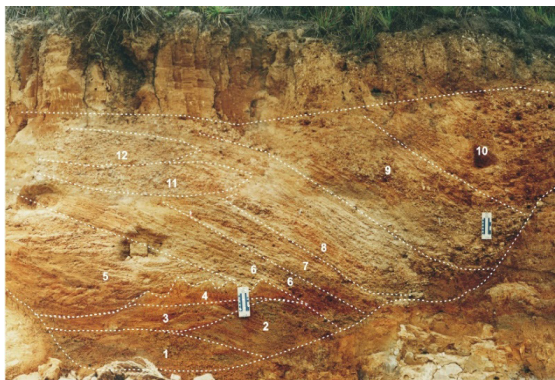
deformação ou rompimento de feições deposicionais precedentes (SUGUIO, 2003). Estruturas deformadas penecontemporâneas representam camadas sedimentares deformadas, contorcidas ou perturbadas por agentes inorgânicos que se formaram durante e após a deposição dos materiais, mas antes da consolidação dos sedimentos. Como exemplo, a Figura 29 (d), mostra gretas de contração, que representa uma feição pós-deposicional de origem física.

## ESTRUTURAS QUÍMICAS OU SECUNDÁRIAS

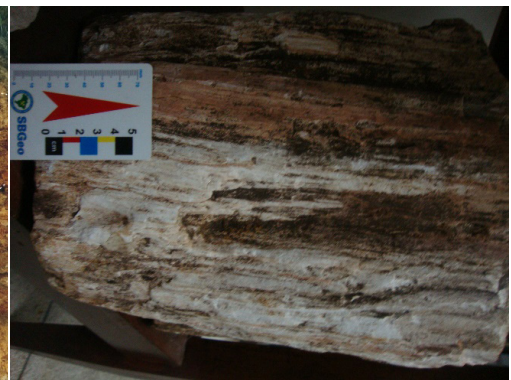
Essas estruturas são consideradas epigenéticas ou secundárias, desenvolvidas, portanto, muito tempo após a sedimentação. Seus diferentes tipos estão listados no quadro 20, contudo as mais abundantes são os nódulos e concreções. Concreção silicosa pode ser vista na Figura 29 (e).

Sugio (2003) apresenta também a categoria de estruturas sedimentares biogênicas primárias para referir-se às estruturas biológicas de diferentes origens, como rastros ou pistas de vertebrados, tubos de origem orgânica, coprólitos, estromatólitos, bióstromos e bioermas. Nessa perspectiva, a mineralização de tecidos vem a se constituir numa estrutura biogênica. A esse processo, denomina-se permineralização, que é o preenchimento de poros e cavidades de um organismo por mineral de diferentes tipos, entre eles carbonato de cálcio e sílica, preservando a estrutura original do organismo. A figura 29 (b) apresenta um fragmento de tronco que foi permineralizado, podendo ser chamado também de tronco silicificado como representa a Figura 4(b). Pettijohn (1963) inclui a categoria de estrutura sedimentar orgânica em sua classificação (Quadro20).

FIGURA 29– DIFERENTES TIPOS DE ESTRUTURAS DE SEDIMENTAÇÃO.



a.



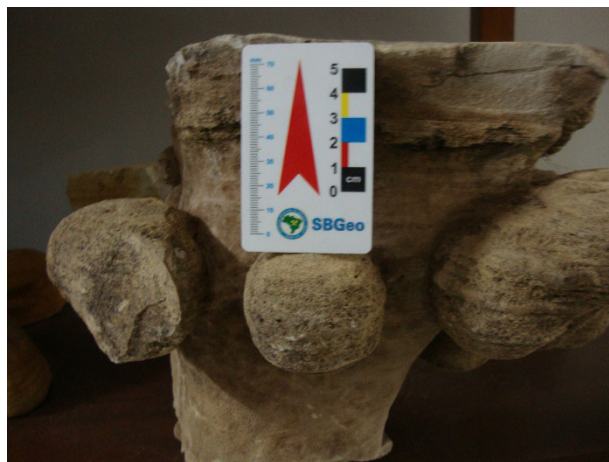
b.



c.



d.



e.

EM (A) TEM ESTRUTURA DE PREENCHIMENTO DE ANTIGO CANAL E SUCESSÃO DE DIFERENTES TIPOS ESTRUTURAS SEDIMENTARES (CRUZADA, ACANALADA, PLANO-PARALELA) NO INTERIOR DO MUNICÍPIO DE LAPA (PR). EM (B) TRONCO SILICIFICADO RECOLHIDO NA ÁREA URBANA DE GUARAPUAVA (PR). EM (C) PARTE DE FÓSSIL DE MESOSAURUS BRASILIENSIS PRESERVADO EM FOLHELHO DA FORMAÇÃO IRATI, COLETADO EM GUAMIRANGA (PR). EM (D) TEM-SE ESTRUTURA DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA GERANDO GREAS DE CONTRAÇÃO EM SEDIMENTOS ARGILOSOS. EM (E) CONCREÇÃO SILICOSA DESENVOLVIDA EM ARENITO. AMOSTRA COLETADA EM PRUDENTÓPOLIS (PR). FONTE: GISELE PIETROBELLI.



QUADRO 20- CLASSIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES

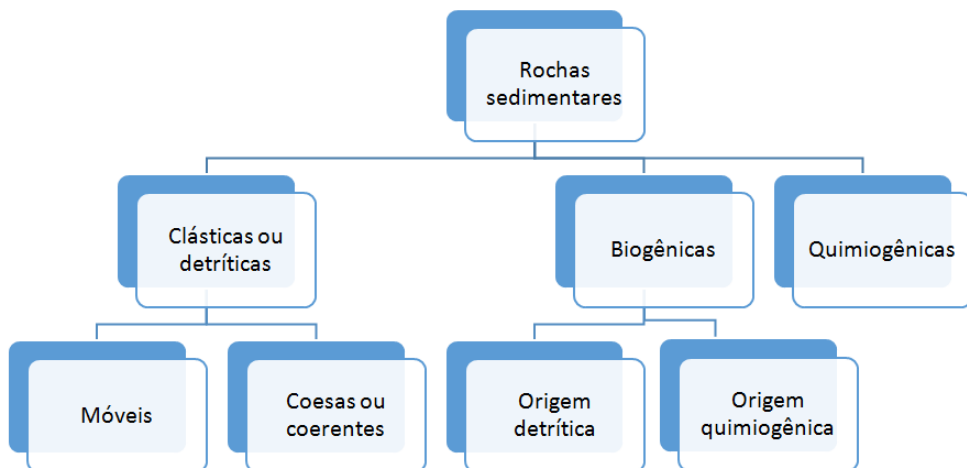
Estruturas inorgânicas		Estruturas orgânicas
Estruturas primárias ou mecânicas	Estruturas secundárias	
A - Estratificação paralela horizontal 1.laminações 2.Estratificação cruzada 3.Estratificação gradacional	A - Estruturas de dissolução 1.Estilolitas 2.Zonas de corrosão 3.Geodo, oólitos, pisólitos, etc.	A - Petrificações
B - Estruturas de estratificação lineares 1.Estriações 2.Lineações em areias 3.Marcas de ondulação	B - Estruturas de acreção 1.Nódulos 2.Concreções 3.Agregados cristalinos (esferulitas e rosetas) 4. Veios 5. Bandamentos em cores	B - Estratificação (estromatólitos)
C-Irregularidades e marcas no plano de estratificação 1.Marcas de ondas de linhas de deixa 2. Marcas de chuva 3.Cortes, cavidades, etc.	C-Estruturas compostas 1.Geodos 2.Septárias 3.Cone-em-cone	C-Várias 1.Estruturas de bioturbação 2.Pistas 3.Pelotas fecais e coprólitos
D-Estratificação deformada 1.Estrutura de escape de água dobrada 2. <i>Boudinage</i> 3.Estratificação quebrantada, estrutura brechosa, blocos rompidos por tração, gretas de dessecação, galha de argila, etc. 4. Diques e <i>sills</i> sedimentares		

FONTE: PETTIJOHN (1963).

## CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS SEDIMENTARES

As rochas sedimentares podem ser classificadas quanto à gênese, natureza, tamanho dos grãos e constituição. A forma mais empregada de classificação das rochas sedimentares é quanto ao seu processo de formação (Figura 30).

FIGURA 30- CLASSIFICAÇÃO GENÉTICA DAS ROCHAS SEDIMENTARES.



FONTE: ORGANIZADA PELAS AUTORAS.

## ROCHAS SEDIMENTARES CLÁSTICAS [DETRÍTICAS OU TERRÍGENAS]

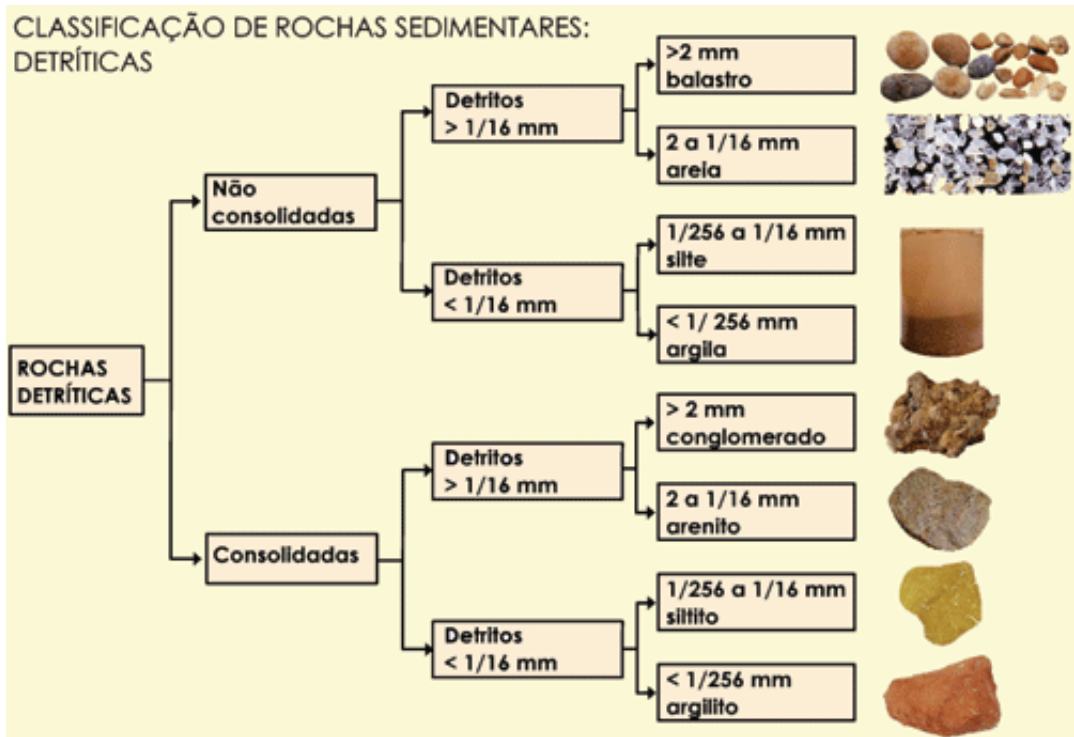
São as rochas sedimentares mais abundantes na crosta. Elas são formadas por meio da erosão, transporte, sedimentação de materiais minerais e rochosos, podendo ou não haver a diagênese dos sedimentos (Figura 31).

**Conglomerados** – rochas formadas por clastos de constituição e tamanho diversos, mas predominando aqueles superiores a 2 mm de diâmetro emersos em matriz fina. Quando os clastos são angulosos, a rocha denomina-se brecha. Os tipos de conglomerados são ortoconglomerado e paraconglomerado.

**Arenitos**- rochas formadas por fragmentos entre 2 e 0,062 mm de diâmetro (segundo a escala de Wentworth).

**Pelitos** – rochas formadas por constituintes cujos tamanhos dos grãos são inferiores a 0,062 mm de diâmetro (escala de Wentworth). Sob essa denominação, incluem-se siltitos e argilitos.

FIGURA 31- CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES DETRÍTICAS OU CLÁSTICAS



FONTE: BIOGEO (2015).

## ROCHAS SEDIMENTARES QUIMIOGÊNICAS E BIOGÊNICAS

São formadas devido à ação de material química e biogenicamente precipitado, a partir de águas superficiais. Uma classificação dessa categoria de rochas sedimentares está representada na Figura 32.

**Evaporitos** - São rochas formadas a partir da precipitação química de sais (cloretos e sulfatos) após a evaporação da água em meios de baixa profundidade em clima quente.

**Depósitos ferríferos** - têm sua origem na deposição de hidratos férricos coloidais. Os diferentes ambientes geram diferentes acumulações como hematita, limonita, pirita ou siderita.

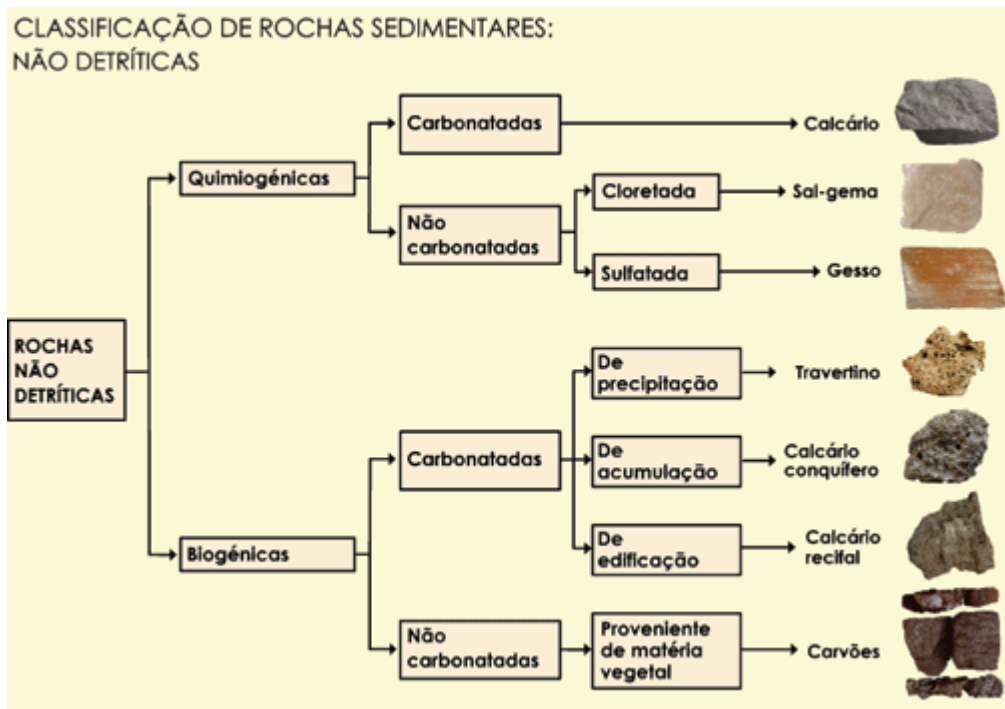
**Depósitos silicosos** - são depósitos de sílica (SiO<sub>2</sub>) criptocristalina fibrosa e quartzo microcristalino. Apresentam-se com estrutura maciça e ocorrem em forma de nódulos ou camadas. Exemplos: sílex, jaspe, diatomitos, entre outras (CAPUTO, 2015).



# ROCHAS SEDIMENTARES ORGÂNICAS

É material sedimentar gerado pela acumulação bioquímica ou deposição e alteração da matéria orgânica (Figura 32).

FIGURA 32– CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES NÃO DETRÍTICAS.



FONTE: BIOGEO (2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rochas sedimentares fornecem importantes informações a respeito das mudanças ambientais que ocorrem ao longo do tempo geológico, além de poderem apresentar registro de seres animais ou vegetais pretéritos através de fósseis, que são a chave para entendimento da origem e evolução da vida.

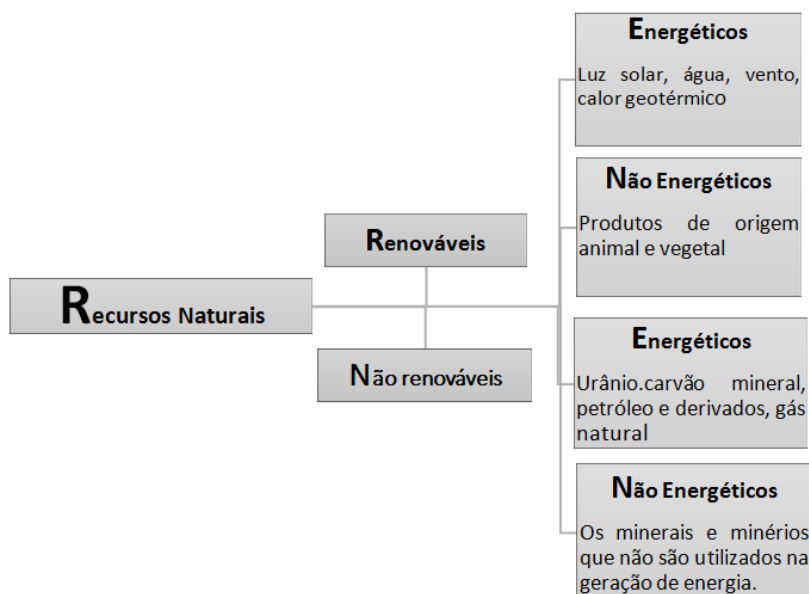
Além desses aspectos, as rochas sedimentares podem conter recursos como carvão mineral, gás e petróleo que são importantes fontes de energia, além de apresentarem ampla variedade de possibilidades de utilização na construção civil.



# RECURSOS MINERAIS, UM RECURSO NATURAL

Os recursos minerais fazem parte dos recursos naturais (Figura 33) assim como a água, o calor da Terra, a luz do Sol e o vento. Mas diferente destes, não são renováveis, ou seja, correm o risco de acabar um dia. Estudos recentes apontam que muitos minerais estão em vias de extinção, o que acarreta no encarecimento do produto e busca por novas reservas minerais ou novas tecnologias para a substituição do bem mineral.

FIGURA 33- RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS



A cada nova reserva mineral descoberta, aumenta a possibilidade de geração de empregos formais, informais e até do desenvolvimento de cidades no entorno das áreas mineradas. Gomes *et al* (2003) explicam que a maioria das cidades inglesas desenvolveram-se ao redor das minas de carvão mineral. Além disso, pode-se dizer que a Revolução Industrial do século XVIII foi movida à energia do carvão. Em contrapartida, toda atividade de mineração implica no aparecimento de impactos ao meio ambiente e é por isso que existe um quadro severo de legislação ambiental que deve ser seguido nas áreas mineradas.

## ATIVIDADE 1

Falando em impactos ambientais em áreas mineradas, você seria capaz de listar alguns impactos causados pela mineração? Essa é sua atividade de pesquisa para iniciarmos esse tema.

## OS RECURSOS MINERAIS

Os recursos ou bens minerais são formados na crosta terrestre e caracterizados pela natureza inorgânica e potencial para aproveitamento econômico, caso dos minérios, sal, areia, pedra brita, e muitos outros recursos minerais utilizados pela indústria e por você no cotidiano.

A imagem 1 é um dos tantos exemplos de quão antigo é o interesse do homem por recursos minerais. A escada mostrada data de 1340 a.C e foi construída dentro da mina de sal mais antiga do mundo, explorada inicialmente pelos celtas há 7.000 anos nos alpes austríacos, na cidade de Hallstatt. Além da escada, os arqueólogos descobriram, ainda no local, inúmeros equipamentos usados por mineiros que faleceram dentro da mina ao longo da sua história de exploração (figura34).

FIGURA 34: ESCADA USADA POR MINEIROS HÁ 1340 A.C NA MINA DE SAL MAIS ANTIGA DO MUNDO.



MINA DE SALZ WELTEN, HALLSTATT, ÁUSTRIA. FOTO: ELIZA TRATZ.

## OS BENS MINERAIS METÁLICOS, NÃO METÁLICOS E ENERGÉTICOS

Os recursos minerais usados no nosso dia a dia desde a antiguidade são subdivididos e classificados em recursos minerais metálicos, não metálicos e energéticos, conforme é mostrado no quadro 21.

**Metálicos:** referem-se aos metais, incluindo nesse grupo os metais puros, substâncias e composições metálicas industriais, caso das ligas metálicas. São classificados pela indústria mineral em ferrosos e não ferrosos.

**Não Metálicos:** compreendem os não metais, desde minerais preciosos, como o diamante até rochas ornamentais e britas.

**Energéticos:** aqueles recursos minerais que são utilizados para gerar energia: térmica, elétrica, mecânica ou nuclear, caso do urânio.

QUADRO 21: RECURSOS MINERAIS, METÁLICOS, NÃO METÁLICOS E ENERGÉTICOS.

OBS: TABELAS APRESENTAM DADOS NUMÉRICOS

METÁLICOS	Exemplos	
Ferrosos	Ferroligas	Ferro, manganês, cromo, molibdênio, níquel, cobalto, wolfrâmio, vanádio.
Não Ferrosos	<b>Básicos</b>	Cobre chumbo, zinco, estanho.
	Leves	Alumínio, magnésio, titânio, berilo.
	Preciosos	Ouro, prata, platina.
	Raros	Berílio, céσιο, lítio, etc.
NÃO METÁLICOS	<b>Materiais de construção</b>	Areia, cascalho, rochas industriais, brita,
	Materiais para a indústria química	Enxofre, fluorita, sais, piritita, cromita
	Fertilizantes	Fosfatos, potássio, nitrato.
	Cimento	Calcário, argila, gipsita.
	Cerâmica	Argilas, feldspato, sílica.
	Refratários	Cromita, magnesita, argilas, sílica
	Abrasivos	Coríndon, diamante, granada, quartzito.
	Isolantes	Amianto, mica
	Fundentes	Carbonatos, fluorita
	Pigmentos	Barita, ocre, titânio.
Gemas	Diamante, rubi, turmalina.	
ENERGÉTICOS		Carvão mineral, urânio, turfas, xistos e outras rochas betuminosas.

DADOS EXTRAÍDOS DE BETTENCOURT E MORESHI (2009), P. 456.

## OCORRÊNCIA NA NATUREZA

Os chamados bem minerais são encontrados na crosta terrestre e de acordo com Bigarella *et al* (1985) ocorrem concentrados ou então disseminados, escondidos nas formações rochosas podendo ser procurados de duas maneiras:

**Diretamente:** estudando as ocorrências evidentes de minerais e rochas de interesse econômico .

**Indiretamente:** pesquisando as rochas hospedeiras potencialmente promissoras, a fim de localizar eventuais concentrações minerais de possível aproveitamento econômico.

Como exemplo, muitos minerais ferrosos encontram-se associados a rochas intrusivas ácidas. O cobalto, níquel, cobre e titano-magnetita são

hospedados em rochas ígneas básicas e ultrabásicas. No Brasil, uma parcela significativa de calcário e minério de ferro provém de rochas metamórficas. Além disso, reservas importantes de minerais radioativos advêm de bacias sedimentares (BIGARELLA *et al*, 1985).

## A BUSCA POR ANOMALIAS INDICADORAS DE RESERVAS

As rochas são constituídas por diferentes minerais o que implica em assinaturas químicas distintas. É essa assinatura que permite a classificação da rocha que é baseada em parâmetros internacionais, comparados com a média da superfície terrestre.

Quando o assunto é prospecção mineral, é bom ficar de olho nos parâmetros químicos das rochas, pois, quando um elemento químico ou determinadas substâncias minerais de interesse econômico aparecem acima da média, pode ser um bom indicativo de depósito mineral (BETTENCOURT e MORESHI, 2009).

## RESERVAS MINERAIS NO BRASIL E PRODUÇÃO

Os recursos minerais detêm a capacidade de movimentar a economia de uma região, aumentando a renda e gerando empregos formais e informais. Com isso, promovem o desenvolvimento social e econômico regional. Para se ter uma ideia, o Brasil produz 70 diferentes bens minerais extraídos de 8870 mineradoras distribuídas em seu território (SOUZA *et al*, 2011, IBRAM, 2012; DNPM, 2012). A tabela 3 mostra a distribuição regional das companhias mineradoras no Brasil por região.

TABELA 3: TOTAL DE COMPANHIAS MINERADORAS POR REGIÃO DO BRASIL

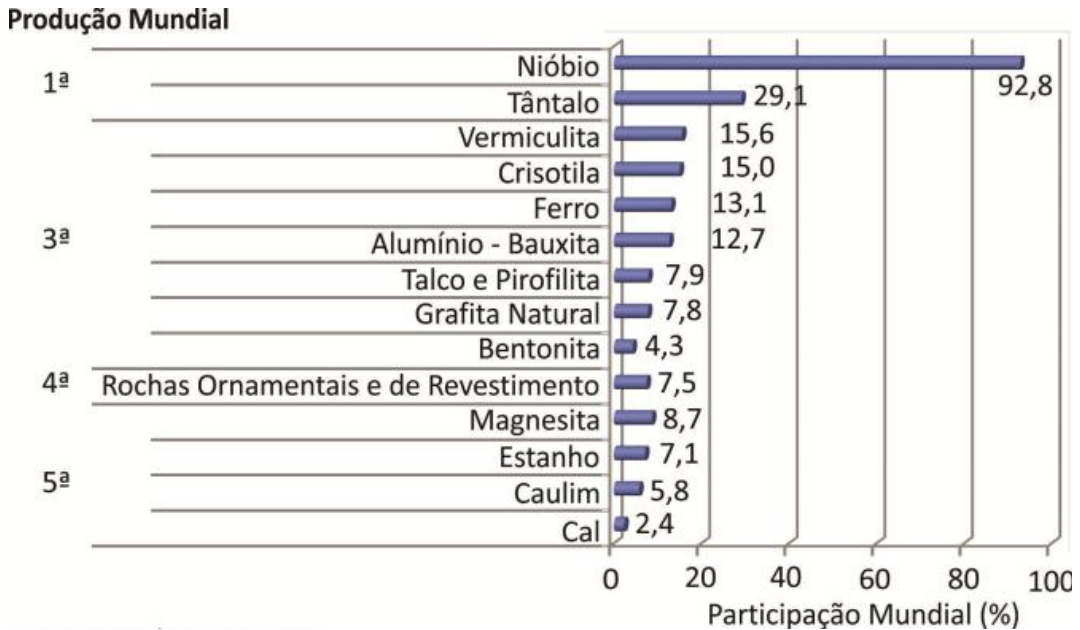
Centro oeste	1.075
Nordeste	1.606
Norte	515
Sudeste	3.609
Sul	2.065

FONTE: DNPM, 2012.

Em 2014 a produção nacional mineral arrecadou US\$ 43 bilhões, mantendo o Brasil no *ranking* dos grandes exportadores, com destaque para

a produção de nióbio, que faz do Brasil um líder mundial no setor, minério de manganês, tantalita, seguido de grafite, bauxita, rochas ornamentais, níquel, magnesita, caulim, estanho, vermiculita, cromo e ouro (IBRAM, 2012, DNPM e DIPLAM 2014). A tabela 4 mostra a média da produção nacional em 2013.

TABELA 4: PRODUÇÃO DE BENS MINERAIS EM 2013. OBS: ESSE É GRÁFICO, NÃO TABELA.



FONTE: DNPM/DIPLAM, 2014.

No que tange à produção de calcário, talco, titânio, tungstênio e diamante industrial, o Brasil é autossuficiente. Entretanto, é importador de cobre, diatomito, fosfato, zinco e dependente externo de carvão metalúrgico, enxofre, terras raras e potássio e fosfatos (DNPM, 2012; IBRAM, 2012; DNPM, 2014).

Curiosamente, a maior parte do valor arrecadado com a mineração no Brasil vem de pequenas mineradoras que, juntas, respondem por 73% da produção mineral. Essas pequenas empresas são também responsáveis por 25% dos empregos formais no Brasil e, quando considerados os empregos informais, a taxa de empregos sobe para 40% (GUERRA, 2011 citado por SOUZA *et al*, 2011). A figura 35 é de uma pedreira, pequena mineradora localizada em Guarapuava, PR.



FIGURA 35: PRODUÇÃO DE AREIA DE BRITAGEM EM GUARAPUAVA.



NESTE PROCESSO, A ROCHA É FRAGMENTADA ATÉ ATINGIR A FRAÇÃO AREIA. FOTO: ELIZA TRATZ.

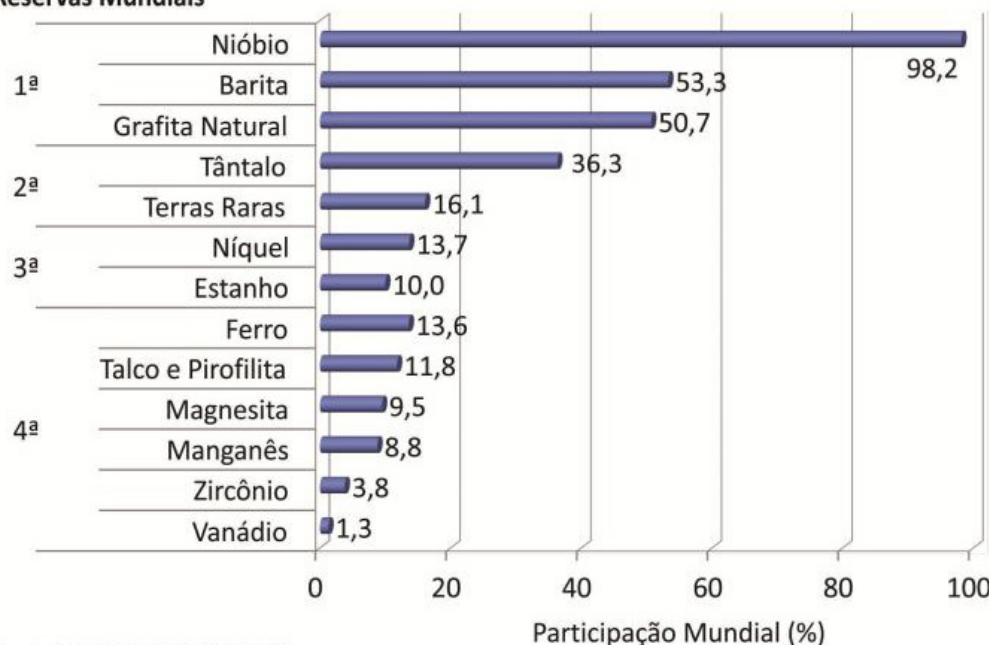
O processo de produção das areias de britagem gera impactos ambientais menos intensos quando comparadas às areias fluviais, em geral, são subprodutos de britas. Além disso, essas areias são produzidas em uma empresa que apresenta Licenciamento Ambiental, diferente da maioria das empresas de extração de areia fluvial que atuam no Paraná, praticando a exploração predatória.

O Brasil é destaque mundial na produção mineral com as jazidas do quadrilátero ferrífero (MG), Província Mineral do Carajás (PA) com jazidas de ferro, ouro, manganês e cobre (IBRAM, 2012, DNPM 2014).

Entretanto, outras jazidas brasileiras têm evidência na economia mundial, como as jazidas de nióbio, localizadas no município mineiro de Araxá (MG), as de bauxita em Oriximiná (PA), de estanho em Presidente Figueiredo (AM), grafita em Salto da Divisa (MG) e de talco em Brumado (BA) e Ponta Grossa (PR) (BARRETO, 2001). A tabela 5 mostra a expressividade das reservas minerais brasileiras no mundo em 2013.

TABELA 5: RESERVAS MINERAIS BRASILEIRAS E RANKING MUNDIAL EM 2013

Reservas Mundiais



FONTE:DNPM/DIPLAM, 2014.

# RECURSOS ENERGÉTICOS RESERVAS E PRODUÇÃO NO BRASIL

## CARVÃO

Os estados do Sul do Brasil destacam-se na produção de carvão, são detentores de importantes jazidas localizadas ao Sul do paralelo 24°, numa zona conhecida com S do carvão (GOMES, 2003; DNPM, 2014a).

De acordo com o DNPM (2014 a) o carvão vem reconquistando seu espaço no mercado interno de energia em função da escassez ou risco de escassez de energia elétrica gerada pela atual crise hídrica. Só em 2013, a produção foi de 14.376.040 toneladas, 13,2% a mais que 2012. Esse aumento na produção ocorreu com intuito de garantir eficiência energética para os estados do Sul do Brasil.

## URÂNIO

O Brasil possui a 7ª maior reserva mundial de urânio do mundo, prospectada em 309.000 toneladas e distribuída em reservas situadas nos

estados do Amazonas, Pará, Ceará, Bahia, Minas Gerais e Paraná Quanto à produção, ocupa o 12º lugar no *ranking* mundial, com 400 toneladas ano, provenientes das reservas da Bahia responsáveis por 100% da produção nacional (INB; IBRAM, 2012, OLIVEIRA, 2014). O montante produzido é direcionado principalmente para a geração de energia nas usinas de Angra I e Angra II, localizadas no estado do Rio de Janeiro (OLIVEIRA, 2014).

Conforme IBRAM (2012) projetos vêm sendo desenvolvidos pela INB, para a extração de urânio da reserva de Santa Quitéria. Com isso, a produção nacional pode alcançar em pouco tempo a produção de 1000 toneladas\ano, tornando o Brasil um exportador.

## Curiosidade

Você sabe quantos kWh um kg de urânio pode gerar? Já pensou em comparar isso com o carvão, petróleo e lenha? Então dados do IBRAM, (2013) mostram isso pra você na tabela 6.

TABELA 6: POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR ORIGEM.

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR ORIGEM	
<b>1 kg de lenha</b>	1kWh
<b>1 kg de carvão</b>	3kWh
<b>1 kg de petróleo</b>	4kWh
<b>1 kg de urânio</b>	50.000kWh

De acordo com a equivalência energética 1 kg de urânio é igual a 10 toneladas de petróleo ou 20 de carvão.

FONTE: IBRAM, 2013.

## PETRÓLEO E GÁS.

Falando ainda de reservas com potencial energético, o Brasil é destaque na produção de petróleo e gás, recursos naturais fósseis, assim como o carvão. O petróleo no Brasil é extraído principalmente de águas profundas (*offshore*). Em 2014 a produção nacional fechou em 2 milhões 461 mil *boed* (barris de óleo por dia), 6% a mais que 2013. A maior parte da produção advém de poços das bacias de Santos e Campos (ANP, 2014).

No que tange à produção de gás natural, excluído o liquefeito, cresceu 9,5% na comparação anual: passou de 61 milhões 922 mil m<sup>3</sup>/dia, em 2013, para 67 milhões 826 mil m<sup>3</sup>/dia em 2014. A produção de gás natural operada, excluído o liquefeito, no país, fechou 2014 em 76 milhões 678 mil m<sup>3</sup>/dia, um crescimento de 11,8% em relação a 2013 (PETROBRÁS, 2015).

# ATIVIDADE

O ano de 2006 foi marcado pela divulgação de importantes reservas petrolíferas em águas profundas, denominadas de Pré-sal. Sobre essas reservas, pesquise e traga na forma de um texto a localização e as principais dificuldades de exploração. No mesmo texto, trace um paralelo sobre vantagens socioeconômicas da exploração das reservas e possíveis impactos ambientais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os recursos minerais são também recursos naturais, formados na crosta terrestre e assim como os minerais, são caracterizados pela natureza inorgânica e potencial para aproveitamento econômico. Mas, diferente da água e do vento, não são renováveis, isto é, um dia poderão extinguir-se totalmente, implicando na busca por novas reservas minerais e consequente movimentação da economia e impactos ambientais.

São classificados em metálicos, não metálicos e energéticos. Os metálicos incluem os metais puros e composições metálicas industriais, caso das ligas metálicas. Os não metálicos compreendem os não metais, desde minerais preciosos, como o diamante até rochas ornamentais e britas. Já os energéticos são usados para geração de energia, caso do carvão e do urânio.

Esses recursos podem ser encontrados na natureza de duas diferentes formas: estudando as ocorrências evidentes de minerais e rochas de interesse econômico diretamente ou indiretamente através da pesquisa de rochas hospedeiras promissoras. Análises químicas da rocha que apresentam substâncias minerais de interesse econômico acima da média podem ser bons indicativos de reservas.

No cenário econômico, o Brasil destaca-se, produzindo mais de 70 bens minerais, com uma produção evidenciada mundialmente, como destaque para o nióbio, minério de manganês, tantalita, seguido de grafite, bauxita, rochas ornamentais, níquel, magnesita, caulim, estanho, vermiculita, cromo e ouro. Entretanto, a maior parte do valor arrecadado com a mineração advém das pequenas empresas e não de grandes jazidas como Carajás e quadrilátero ferrífero.

No que tange aos recursos energéticos, destaca-se a produção de carvão nos estados do Sul, de urânio com jazidas situadas nos estados do Amazonas, Pará, Ceará e petróleo, extraído principalmente de águas profundas (*offshore*) das bacias de Santos e Campos.



# PROCESSOS GEOAMBIENTAIS

“Está na hora de entender que equilíbrio com a natureza não é coisa apenas de ambientalistas: ou fazemos todos juntos o que precisa ser feito, ou o planeta resolve as coisas a sua maneira”.

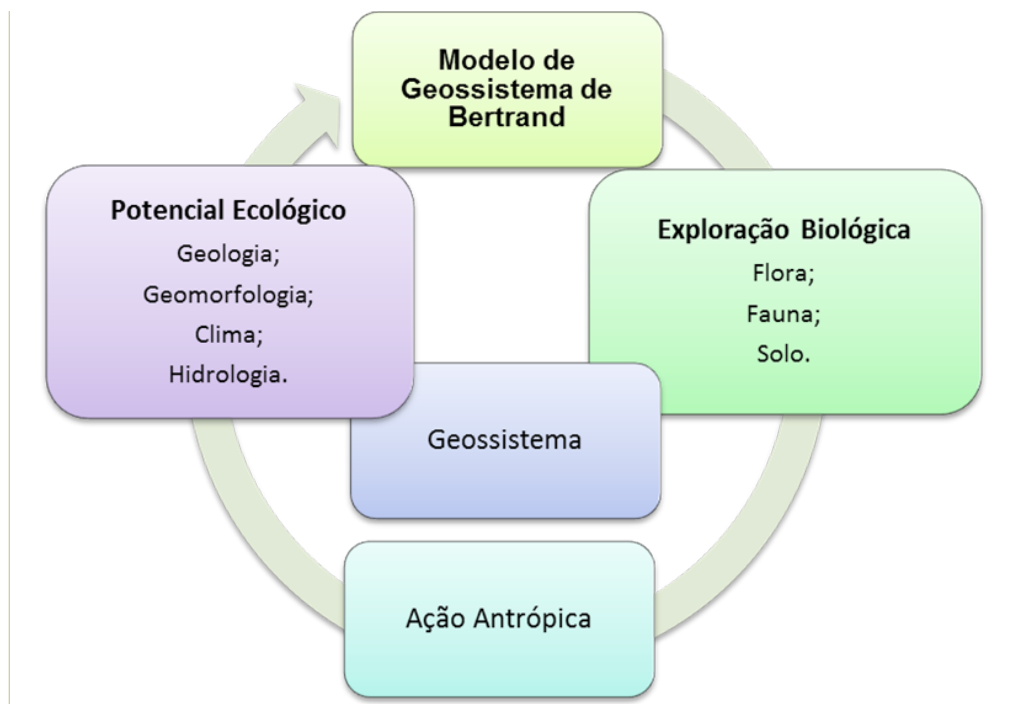
Eugênio Mussak.

## DA DINÂMICA NATURAL DA TERRA AOS DESASTRES AMBIENTAIS

Basta observar diferentes paisagens pra perceber que vivemos num ambiente dinâmico. Nas palavras de Sauer (2004), as paisagens estão em processo constante de desenvolvimento ou dissolução e substituição.

Hipoteticamente, basta uma chuva para mudar a paisagem, reafirmando o modelo de Geossistema de Bertrand (2004) que afirma que a dinâmica da paisagem resulta das instabilidades do meio físico, biológico e antrópico que, ao “[...] reagirem dialeticamente entre si, fazem da paisagem um conjunto geográfico indissociável que evolui em bloco, de acordo com a dinâmica de cada um dos seus elementos.” (Figura 36).

FIGURA 36: MODELO DE GEOSSISTEMA DE BERTRAND.



ORGANIZADO PELAS AUTORAS.

Sendo inerentes ao potencial ecológico, os processos geambientais são ligados à dinâmica natural da Terra como, por exemplo, atividades vulcânicas, tremores de terra, variáveis climáticas, furacões, tempestades, processos de erosão e outros tantos fenômenos geofísicos, climáticos, meteorológicos e hidrológicos.

Ligados a Biosfera à exploração biológica do solo e da fauna, incluindo nesse bloco desde as atividades de caça (mais comuns nos tempos remotos) até as grandes atividades extrativistas do século XXI. A eterna busca por maior demanda de recursos naturais seja para a própria subsistência ou para obtenção de maior lucratividade, implica no aparecimento dos chamados impactos ambientais.

De acordo com a **Resolução 001\86 CONAMA**, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, biológicas do meio ambiente causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam:

- I. A saúde, a segurança e o bem estar da população;
- II. As atividades sociais e econômicas;
- III. A Biota;
- IV. As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V. A qualidade dos recursos ambientais.

# QUANDO OS EVENTOS GEOAMBIENTAIS ENCONTRAM O HOMEM

Não raro, na busca por maior demanda de recursos naturais, o homem vai de encontro a áreas de perigo natural (*natural hazard*) e, como resultado da ocupação dessas áreas, acontecem desde acidentes até desastres naturais, assim classificados internacionalmente de acordo com o quadro 23 em fenômenos geofísicos, climatológicos, meteorológicos, hidrológicos, biológicos e também extraterrestres, descritos no quadro 24.

QUADRO 23: CRITÉRIOS ADOTADOS PRA CLASSIFICAÇÃO DE EVENTOS GEOAMBIENTAIS.

Desastre Natural	Mais de 10 óbitos decorrentes do processo desencadeado.
Acidente	< de 10 óbitos desencadeados.
Evento ou processo ambiental	Quando os processos são desencadeados fora de áreas com ocupação humana.

FONTE: SHEUREN *ET AL*, (2008).

QUADRO 24: TIPO E SUBTIPOS DE PROCESSOS GEOAMBIENTAIS

DESASTRES NATURAIS	Tipos e subtipos de Processos Geoambientais
<b>Geofísicos</b>	Vulcanismo e demais processos geoambientais atrelados, como corridas de lava ou lama (lahar), colapso gravitacional do domo vulcânico, correntes piroclásticas. Terremotos e demais processos atrelados aos tremores, como tsunamis. Movimentos de massa não relacionados a fatores hidrológicos, solapamento de blocos de rocha.
<b>Climatológicos</b>	Caracterizados por extremos de temperatura e longos períodos de estiagem, resultando, no primeiro caso, em ondas de frio e calor, aumentando o risco de incêndios, no primeiro caso, e de neve ou geadas, no segundo.
<b>Meteorológicos</b>	Incluem os processos desencadeados por mudanças na dinâmica atmosférica em períodos curtos, como a chegada de ciclones, de choques de massa do ar ou tempestades tropicais capazes de desencadear tempestades, descargas elétricas tornados etc.
<b>Hidrológicos</b>	Relacionados a processos de inundações causadas por períodos de pluviosidade elevada a extrema, capazes de elevar o nível dos rios e provocar escorregamentos de massa.
<b>Biológico</b>	Disseminação de pragas e epidemias causadas por vírus, fungos ou bactérias;
<b>Extraterrestre</b>	Causado por impacto de corpos extraterrenos, caso de meteoritos, meteoros.

FONTE: BELOW *ET AL* (2009).



## O QUE FICA DO ENCONTRO DO HOMEM COM ÁREAS DE PERIGO NATURAL (NATURAL HAZARD): AS VÍTIMAS DAS CHUVAS DE NOVEMBRO DE 2008 EM SANTA CATARINA

O ano de 2008 foi chuvoso em Santa Catarina, com precipitações de intensidade média a moderada registradas desde o mês de setembro. Mas foram as chuvas de novembro que marcaram de forma trágica aquele ano.

De acordo com Dias (2015), durante o período de 20 e 24 de novembro, a combinação de um bloqueio atmosférico provocado por um sistema de alta pressão já estabelecido no Oceano Atlântico com um sistema de baixa pressão (vórtice ciclônico) situado a altitudes de 4.000 a 5.000 metros e disposto entre o leste de Santa Catarina e leste do Paraná favoreceu a ascensão do ar úmido. Ventos úmidos foram levados até a região serrana, esfriando e condensando o ar. As montanhas da região barraram a umidade, provocando fortes e constantes chuvas no Estado.

A resposta hidrológica foi catastrófica. Ocorreram enchentes severas, principalmente na região do Vale do Itajaí e o solo literalmente derreteu nas encostas. Ocorreram milhares de deslizamentos. Os dados trabalhados por Dias (2015) mostram que 49 municípios foram atingidos e 14 decretaram calamidade pública, 135 pessoas perderam a vida e duas desapareceram, 97% das mortes foram causadas pelos deslizamentos, foi o maior desastre ambiental da história de Santa Catarina. A figura 37 é a imagem aérea de Ilhota, após o desastre.

FIGURA 37: REGIÃO DO ALTO BAÚ EM ILHOTA- SC



NOVEMBRO DE 2008. O FENÔMENO HIDROMETEOROLÓGICO DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DA ONU RESULTOU NA MORTE DE MAIS DE 100 PESSOAS, SENDO CLASSIFICADO COM UM DOS MAIORES DESASTRES NATURAIS DE SANTA CATARINA. FOTO: ELIZA TRATZ.



Dentro dessa ótica, fica claro que o estudo dos processos ambientais tem caráter multidisciplinar, extrapolando as fronteiras das ciências da Terra e chegando em conjunto com a administração pública, sobretudo no que tange à prevenção de acidentes e desastres naturais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos geoambientais fazem parte da dinâmica natural do nosso planeta sendo classificados em 1) Geofísicos, caso das erupções vulcânicas e terremotos; 2) Climatológicos, como nos longos períodos de estiagem, ondas de frio e calor, 3) Meteorológicos relacionados a grandes tempestades associadas ou não a ciclones, 4) Hidrológicos, quando relacionados a grandes enchentes e deslizamentos; 5) Biológicos, associados a epidemias e 6) extraterrestres, caracterizados pelo impacto de corpos vindo do espaço (meteoros).

Dependendo da intensidade destes processos e da região em que ocorrem podem atingir dezenas e até milhares de pessoas causando os chamados desastres naturais, como ocorridos em Ilhota, SC no ano de 2008. Por isso é tão importante o conhecimento destes processos para a prevenção remoção e até mesmo relocação de comunidades moradoras de áreas de risco, caso de comunidades localizadas próximas a encostas, margens de rios e vulcões. No que tange a prevenção de acidentes e desastres naturais à administração pública exerce papel fundamental no sentido de mapear e registrar nos planos diretores áreas com potencial de risco. Pra isso existe todo um quadro de legislação a ser seguido.



# REFERÊNCIAS

ANP-Agência Nacional do Petróleo, gás natural e biocombustível. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural. Dezembro 2014. Elaborado pela superintendência de desenvolvimento e produção e disponível em: < file:///C:/Users/Acer/Downloads/73964.pdf> Acesso em janeiro de 2015.

BAHIA (Estado). Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Departamento Baiano de Produção Mineral - O que é Geologia? [http://www.cbpm.com.br/paginas/oque\\_geologia.php](http://www.cbpm.com.br/paginas/oque_geologia.php). Acesso em 12 de janeiro 2015.

BARRETO, M, L. D. **Mineração e desenvolvimento sustentável**: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215p.

BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. Disaster category classification and peril terminology for operational purposes. Brussels: CRED / Munich: Munich Re Foundation, 2009, 19p.

BERTRAND, Georges. - **Paisagem e geografia física global, esboço metodológico**. Curitiba: UFPR, 2004, p.141-152. R. RA´E GA, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Editora UFPR. 1 Tradução: Olga Cruz. Trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968, sob título: Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Publicado no Brasil no Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.

BETTENCOURT, J, S e MORESHI, J, B. Recursos minerais. In. TEIXEIRA, W. FAIRCHID, T.R; MOTTA DE TOLLEDO, A.M; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Nacional, 2009, p.446-470.

BIGARELLA, J. J; BOLSANELO, A.; LEPREVOST, A. *Rochas do Brasil*. Rio de Janeiro: LTC, 1985. 310p.

Biogeo. Geologia 12. Disponível em [http://biogeo.paginas.sapo.pt/geo12/geo12\\_contents01.htm](http://biogeo.paginas.sapo.pt/geo12/geo12_contents01.htm). Acesso em 14 de março de 2015.

BOGGS JR, S. **Petrology of sedimentary rocks**. New York: Macmillan Publishing Company, 1992. 707p.

BONATTI E., LIGI M., BRUNELLI D., CIPRIANI A., FABRETTI P., FERRANTE V., GASPERINI L., OTTOLINI L.: Mantle thermal pulses below the Mid-Atlantic ridge and temporal variations in the formation of oceanic lithosphere. **Nature**, 423, 6939. May 2003. p. 499-505.

BRASIER, M.; COWIE, J.; TAYLOR, M. Decisions on the Precambrian-Cambrian boundary stratotype. **Episodes**, Ottawa, v. 17, p. 3-8. 1994.

BRASIL Ministério da Ciência e Tecnologia- Museu de Astronomia e Ciências Afins MAST. A formação do Sistema Solar. Disponível em [http://www.mast.br/exposicoes\\_hotsites/exposicao\\_temporaria\\_faz\\_tempo/sistema\\_solar.html](http://www.mast.br/exposicoes_hotsites/exposicao_temporaria_faz_tempo/sistema_solar.html). Acesso em 29 de março de 2015.

CAMPBELL, I.H; GRIFFITHS, R.W. Implications of mantle plume structure for the evolution of flood basalts. **Earth and a Planetary Science Letters**, v. 99, p 79-93, 1990.

CAPUTO, V. Metamorfismo e rochas metamórficas. [http://www.ufpa.br/larhima/Material\\_Didatico/Graduacao/Geologia\\_Geral/Metamorfismo%20e%20Rochas%20Metamorficas.DOC](http://www.ufpa.br/larhima/Material_Didatico/Graduacao/Geologia_Geral/Metamorfismo%20e%20Rochas%20Metamorficas.DOC). Acessado 2 de fevereiro de 2015.

CAPUTO, V. **Sedimentos e rochas sedimentares**: Intemperismo e rochas sedimentares. Disponível em: <http://www.ufpa.br>, 2012. Acesso em: 04 jan. 2014.

CARNEIRO C. D. R.; GONÇALVES P. W.; LOPES O. R. O Ciclo das rochas na natureza. **Terra Didática**, v. 5, n. 1, p. 50- 62, 2009.

CAS, R.A.F.; WRIGHT, J.V. **Volcanic successions - modern and ancient**. London: Unwin Hyman, 1988. 528p.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Ed. UFG, 1994. 137 p.

CONYBEARE, C. E .B.; CROOK, K. A. W. **Manual of sedimentary structures** 2. ed. Bureau of Mineral Resources Geology and Geophysics. Bulletin 102, Canberra Watson Ferguson, 1982. 470p.

DAVIDSON J. UCLA, J; SILVA, S.de. Composite Volcanoes.: In: Sigurdsson et al, Encyclopedia of volcanoes, Copyright, 2000 by Academic Press. p. 663-682.

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM Sumário Executivo Mineral. 2012.

\_\_\_\_\_. Sumário Executivo Mineral. 2014.

\_\_\_\_\_. DIPLAM-Diretoria de planejamento e desenvolvimento da mineração (1º\2014). Informe Mineral. Janeiro-Julho de 2014.

DIAS, M. A. F. S. As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. Disponível em PDF em: [http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao\\_tecnico\\_cientifica/DOC\\_3661.pdf](http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao_tecnico_cientifica/DOC_3661.pdf). Acesso, janeiro de 2015.

DUFFY, T. Some recent advances in understanding mineralogy of Earth's deep mantle. **Philosophical Transactions of Royal. Society A** n. 366, p. 4273-4293, nov. 2008.

FERNANDES, R. P. J. Nióbio. Disponível em: <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3976](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3976)>. Acesso em 16 de janeiro de 2015.

GILL, R. **Rochas e processos ígneos**: um guia prático. Tradução: Félix José Nonnenmacher. Revisão técnica: André Weissheimer de Borba, Bookman, Porto Alegre, 2014. 427p.

GOMES, A.J. P; CRUZ, P.R; BORGES, L. P. Recursos Minerais Energéticos: Carvão e Urânio- Energy Mineral Resources: Coal and Uranium. In: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília: CPRM, 2003. P. 577-601.

HAMBLIN, W.K. 1992. **Earth's Dynamic Systems**. New York: Macmillan Publishing Company, 1992. 747p.

HEILBRON, M. *et al*. From extension to collision: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. In: INTERNATIONAL GEOPHYSICAL CONGRESS, 1998, Rio de Janeiro. **Proceedings....** Rio de Janeiro, p.1-32. 1998

HOLMES, A. **Principles of physical geology**. Nelson: Middlesex, 1978. 730p.

HOLZHEID, P. SYLVESTER, H. ST C. O'NEILL, D. C. RUBIE ; H. PALME. Evidence for a late chondritic veneer in the Earth's mantle from high-pressure partitioning of palladium and platinum. 406°, 396-399, 27 July 2000. | doi:10.1038/35019050; Received 23 December 1999; Accepted 6 June 2000.

IAPS/MINEROPAR. Produção mineral paranaense por municípios. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=58> Acesso em 09/07/2015.

Indústrias Nucleares do Brasil – INB. Histórico da Produção da INB – Caetité. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/>. Acesso em 17 de fevereiro 2015.

\_\_\_\_\_. *Produção Mineral Brasileira 2014 em US\$ bilhões*. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004429.pdf>: Acesso em 01/08/2015.

Instituto Brasileiro de Mineração IBRAM. Informações e análises da economia mineral brasileira. 7. ed. Dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>. Acesso em 08/07/2015.

JEANLOZ, R. Y ROMANOWICZ, B. Geophysical dynamics at the center of the Earth. **Physics Today**. part 1: p. 22-27, aug. 1997.

JERRAM, D.; PETFORD, N. **Descrição de rochas ígneas: guia geológico de campo**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 280p.

KLEIN, C e DUTROW, B. **Manual de ciências minerais**. 23. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716p.

LEINZ, V; CAMPOS, J.E.S. **Guia para determinação dos minerais**. 9. ed. São Paulo, Nacional, 1982. 151p.

LEGISLAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Compilação organizadora para a LTr Editora por HB Textos. São Paulo: LTr, 1999.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456p.

LLAMBÍAS, E, J. **Geología de los cuerpos ígneos**. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán, 2001. 232p.

MADUREIRA, F, J, B; ATENCIO D; MC REATH. Minerais e rochas constituintes da Terra sólida. In. TEIXEIRA, W. FAIRCHID, T.R; TOLLEDO, M.C.M. de; TAIOLI, F. (Orgs). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo, Nacional, 2009. p. 130 -151.

MCPHIE, J. DOYLE, M., ALLEN, R. **Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks**. Tasmanian Government Printing Office, 1993. 198p.

MELFI, A. J; E, M; PICCIRILO; NARDY, A, J, R. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin-an introduction. In: PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. (eds.). **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1988. p.01-11.

MOTOKI A. Classificação de rochas ígneas. In: MOTOKI A. **Apostila Didática para a disciplina Petrologia 1**. Departamento de mineralogia e petrologia ígnea- UERJ, 2004.

MOTOKI A; SICHEL S. Avaliação de aspectos texturais e estruturais de corpos vulcânicos e subvulcânicos e sua relação com o ambiente de cristalização, com base em exemplos do Brasil, Argentina e Chile. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n.1, p. 13-23, jan. mar. 2006.

NEVES, B.B. Brito. América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário Andino. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo. v. 29, n. 3, p. 379-392. 1999.

NOWATZK, C. H.; SANTOS, M. A. A. dos; LEÃO, H. Z.; SCHUSTER, V. L. L.; WACKER, M. L. Glossário de estruturas sedimentares. **Acta Geológica Leopoldensia**, n. 18 e 19, ano VIII, p. 7-432, 1984.

OLIVEIRA, S. L. de. **Elementos de radioatividade a partir de primeiros princípios e aspectos ambientais no distrito uranífero de Lagoa Real – BA**. Ipetinga: UESB. 2014. 86f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2014.

PACCA, I.G.; MCREATH, I. A composição e o calor da Terra. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M. de; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, p.83-96.

PARKER, S.P. **McGraw-Hill Encyclopedia of the Geological Sciences**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1988. 722p.

PETROBRAS. Fatos em dados. Janeiro de 2015. Disponível em:< <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/batemos-em-dezembro-records-diario-mensal-e-anual-de-producao-de-petroleo-e-gas-natural.htm>> Acesso em 11 de fevereiro de 2015.

PETTIJOHN, F. J. **Rocas Sedimentarias**. 2. ed. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1963. 731p.

POPP, J. H. **Geologia Geral**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988, 376 p.

- POP, J. H. **Geologia Geral**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. 376p
- PRESS, F; SIEVER, R; GROTZINGER, J; THOMAS, H.J. **Para entender a Terra** .4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 646p.
- RAITH, M.M; RAASE, P; REINHARDT, J. **Guia para microscopia de minerais em lâminas delgadas**. M.M. (University of Bonn), P. Raase (University of Kiel), J. Reinhardt (University of KwaZulu-Natal, 2014 Tradução para o Português: Maria do Carmo Gastal e Márcia Elisa B. Gomes Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ISBN 978-3-00-046279-5. ( PDF), 2014. 134p.
- REINECK, H. E.; SINGH, I. B. **Depositional sedimentary environments**. Berlin: Springer-Verlag, 1980. 549p.
- RENNER, L.C. Texturas e estruturas das rochas metamórfica – estudo complementar. Universidade Federal de Pelotas. Extraído de <http://pt.scribd.com/doc/68536869/Aula-4-Texturas-e-estruturas-das-rochas-metamorficas#scribd>. Acesso em 18 de março de 2015.
- ROGERS, J. J. W. A history of continents in the past three billion years: **Journal of Geology**, Chicago, v. 104, p. 91-107. 1996.
- ROMANOWICZ, B. 3D structure of the Earth's lower mantle Structure tridimensionnelle du manteau inférieur de la Terre. *Competes* . *Render, Geoscience*, 2003, 335. p23-35.
- RUBERTI, E.; SZABÓ, G. A. J.; MACHADO, R. Metamorfismo: processos e produtos. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M. de; TAIOLI, F. (Orgs). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Nacional, 2009, p. 400-419.
- SALAMUNI, E. Geotectônica: O interior da Terra e a litosfera. Disponível em <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao2/geotectonica/aula4tectonica2012.pdf>. Acesso em 14 de janeiro de 2015.
- SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. Florianópolis: UFSC/CFH/GCN, 2009. 167 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- SAUER, C. O. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA R. Lobato e ROSENDAHL A. **Paisagens, tempo e cultura**. Ed. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2.ed. Rio de Janeiro, 2004. p.12-74.



SCHEUREN, JM; POLAIN, O, BELOWW, R; GUHA-SAPIR D; PONSERRE, S. (2008). Annual Disaster Statistical Review-The numbers and trends 2007. CRED- Center for research on the epidemiology of disasters (CRED) Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Department of Public Health Université Catholique de Louvain, Bruxelas, Bélgica. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/ADSR\_2007.pdf. Acesso em janeiro de 2015.47p.

SOUZA, K.V DE; SILVA, T. N. DA; LIMA, M. H. M. R; BEZERRA, M. S. Os arranjos produtivos locais (APL) de base mineral e a sustentabilidade. In: FERNANDES, F. R. C; ENRÍQUEZ, M. R. da S; ALAMINO, C. J. de. **Recursos minerais & sustentabilidade territorial**. V. II. CETEM/MCTI. Rio de Janeiro: 2011. p.1-14.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Diretrizes para a política ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, 2008. 35 p.

SÃO PAULO (Estado). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Geociências. O ciclo das rochas. Disponível em <http://www.igc.usp.br/replicasold/rochas/ciclo.htm>. Acesso em 25 de abril de 2015.

SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., DERZE, G.R. ASMUS, H.E. (Coords.). **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília: DNPM-MME, 1984. 501p.

SCHOPF, J.W. Microfossils of the early Archaean Apex chert; new evidence of the antiquity of life. **Science**, Washington, DC, v. 260, p. 640-646. 1993.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes**. New York: Oxford University, 1982. 264p.

SELLEY, R. C. **Ancient sedimentary environments**: a brief survey. London: Chapman & Hall, 1976. 237p.

\_\_\_\_\_. **Applied sedimentology**. London: Academic Press, 1988. 446p.

SGARBI, G.N.C.; CARDOSO, R.N. **Prática de geologia introdutória**. Belo Horizonte: UFMG/PROED, 1987. 151p.

SICHEL, S.E.; ESPERANÇA, S.; MOTOKI, A.; MAIA, M.; HORAN, M.F.; SZATMARI, P.; ALVES, E.C.; MELLO, S.L.M. Geophysical and geochemical evidence for cold upper mantle beneath the Equatorial Atlantic Ocean. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26 n.1, p. 69-86, 2008.

SKINNER, B.J. PORTER, S.C. **Physical geology**. New York: John Wiley Sons, 1987. 750p.

SOUZA, K.V DE; SILVA, T. N. DA; LIMA, M. H. M. R; BEZERRA, M. S. Os arranjos produtivos locais (APL) de base mineral e a sustentabilidade. In: FERNANDES, F. R. C; ENRÍQUEZ, M. R. da S; ALAMINO, C. J. de. **Recursos minerais & sustentabilidade territorial**. V. II. CETEM/MCTI. Rio de Janeiro: 2011. p.1-14.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares**, São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 500p.

\_\_\_\_\_. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1222p.

\_\_\_\_\_. **Geologia sedimentar**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 400p.

TARBUCK, E.J; LUTGENS, FK. Earth Science. New York: Macmillan. Publishing-Company, 1991.755p.

TASSINARI, C. C. G. Tectônica Global. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M. de; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 98-112.

TURNER S., REGELOUS M., KELLEY S., HAWKESWORT C.J., MANTOVANI M.S.M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, 121, p.333-348. 1994.

WAICHEL, B.L. **Estruturação de derrames e interação lava-sedimento na porção central da província basáltica continental do Paraná**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade do Rio Grande do Sul. 2006.

WAICHEL, B.L; TRATZ, E.B; PIETROBELLI, G. JERRAM, D; CALIXTO, G, R; TOMAZZOLI, E. R; BARBOSA, W.DA SILVA. Lava tubes from the Paraná-etendeka continental flood basalt province: Morphology and importance to emplacement models. **Journal of South American Earth Sciences** 48, p. 255-261, 2013.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, Chicago, v. 30, p. 377-392, 1922.

WICANDER R.; MONROE, J.S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo, Cengage Learning, 2009. 508p.

WILSON, J.T. Did the Atlantic close and then re-open? **Nature**, v 211 n. 5050, pp. 676-681, 1966.

WOHLETZ, K. H. Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: grain-size, scanning electron microscopy, and experimental results. **J. Volcanol. Geotherm**, 17-p. 31-63, 2013.

