

UF<sup>B</sup>

Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia

Giselle Chagas Damasceno

# Especialização de Mineração e Meio Ambiente

## Geologia, Mineração e Meio Ambiente

SEAD

Superintendência de  
Educação Aberta e a Distância

*e* EaD  
UFRB

UAB  
UNIVERSIDADE  
ABERTA DO BRASIL



Giselle Chagas Damasceno

# **Geologia, Mineração e Meio Ambiente**

Cruz das Almas - BA  
2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

D155g

Damasceno, Giselle Chagas.

Geologia, mineração e meio ambiente / Giselle Chagas Damasceno.\_ Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017.

64p.; il.

ISBN:978-85-5971-023-6

1.Mineração - Política ambiental. 2.Mineração Aspectos ambientais. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. II.Título

CDD:622.7

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA - UFRB**

**Silvio Luiz de Oliveira Soglia**

Reitor da Universidade Federal da Bahia - UFRB

**Georgina Gonçalves dos Santos**

Vice Reitora da Universidade Federal da Bahia - UFRB

**SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO ABERTA E A DISTÂNCIA-SEAD**

**Ariston de Lima Cardoso**

ariston@ufrb.edu.br

Superintendente – Coordenador UAB

Docente/CETEC

**Adilson Gomes dos Santos**

adilsongomes@ufrb.edu.br

Coordenador Adjunto UAB

Docente/CETEC

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS - CCAAB**

**Elvis Lima Vieira**

e-mail: elvieira@ufrb.edu.br

Diretor

**Josival Santos Souza**

e-mail: jsouza@ufrb.edu.br

Vice-Diretor

**Marcela Rebouças Bomfim**

reboucas.marcela@ufrb.edu.br

Coordenador do Curso Especialização  
em Mineração e Meio Ambiente - Ead

**Giselle Chagas Damasceno**

gdamasceno@ufrb.edu.br

Vice-Coordenador do Curso Especialização  
em Mineração e Meio Ambiente - Ead

**EQUIPE DE PRODUÇÃO DA SEAD**

**Agessandro Azevedo Carvalho**

agesandro@ufrb.edu.br

Técnico em Assuntos Educacionais

**Karina Zanoti Fonseca**

karinaufrb@ufrb.edu.br

Chefe do Núcleo de Mídias

Docente/CCS

**Sabrina Carvalho Machado**

sabrina@ufrb.edu.br

Assistente em Administração

**Alberto Roque Cerqueira de Azevedo**

betoazevedodrums@hotmail.com

Técnico em Audiovisual

**Dayane Sousa Alves**

dayane.alves@ufrb.edu.br

Assistente em Administração

**Lailson Brito dos Santos**

lailsonsantos10@hotmail.com

Estagiário

**Luiz Artur**

luiz.atr@ufrb.edu.br

Assistente em Administração

**Raimar Ramos de Macedo Filho**

raimarfilho@hotmail.com

Estagiário

**Jônatas de Freitas Santos**

moodle@ufrb.edu.br

Técnico em Informática

SEAD - UFRB

Casa Nº 1 - Campus Universitário

Telefone: (75) 3621-6922

Rua Rui Barbosa, 710 - Centro

Cruz das Almas-BA

## APRESENTAÇÃO DO CURSO

Prezado(a) Aluno(a),

A Mineração é uma atividade extremamente importante e positiva para economia e desenvolvimento social, entretanto ao longo dos anos e até hoje é vista como uma atividade exclusivamente extrativa e geradora de danos socioambientais.

A partir da Rio-92, as temáticas ambientais foram, pela primeira vez, debatidas em fórum amplo e de grande repercussão internacional e em 2002, na Rio+10, ações no contexto da mineração foram motivadas especialmente em função de alguns desastres ambientais que ocorreram no período e que estão destacados no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – UNEP.

Atualmente o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), atua no desenvolvimento de tecnologias para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros com foco na inovação tecnológica para o setor minerometalúrgico. Os benefícios advindos das pesquisas realizadas no CETEM são, ainda, utilizados em prol da sociedade brasileira, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento do País. No âmbito do governo federal, o CETEM é a única unidade de pesquisa em que se foca na tecnologia mineral e ao meio ambiente.

Desta forma, é imprescindível o estabelecimento de mecanismos que assegurem a prevenção do dano, o controle dos impactos e a recuperação dos ambientes degradados. Atualmente a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) tem em sua estrutura o Núcleo de Estudos Tecnológicos de Impacto da Mineração (NEIM), proposto para o Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais com as terminalidades em Geografia e Geologia e que tem como objetivo realizar pesquisas em áreas minerárias no Estado da Bahia. A partir do NEIM, surgiu o curso de Especialização em Mineração e Meio Ambiente na modalidade a distância como forma de interagir com diversos profissionais nas questões ambientais envolvidas com a mineração.

A disciplina Geologia, Mineração e Meio Ambiente está organizada para você em sete capítulos: 1- Minerais; 2- Rochas; 3- Intemperismo e Formação do Solo; 4- Depósitos Minerais; 5- Minérios como recursos Naturais; 6- Recursos Minerais no Brasil; 7- Sistemas Ambientais e os Impactos da Mineração. Cada capítulo é dividido em subcapítulos e todas as ilustrações estão numeradas em sequência para melhor atendê-lo (a).

Bons Estudos!

# Sumário

<b>1</b>	<b>MINERAIS</b> .....	<b>7</b>
1.1	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS	8
1.2	O ESTADO DA BAHIA E SUAS SUBSTÂNCIAS	10
<b>2</b>	<b>ROCHAS</b> .....	<b>13</b>
2.1	ROCHAS ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS	13
2.2	ROCHAS SEDIMENTARES	18
2.3	ROCHAS METAMÓRFICAS	23
2.4	CICLO DAS ROCHAS	27
<b>3</b>	<b>INTEMPERISMO E FORMAÇÃO DO SOLO</b> .....	<b>29</b>
3.1	INTEMPERISMO	29
3.2	SOLO	31
<b>4</b>	<b>DEPÓSITOS MINERAIS</b> .....	<b>33</b>
4.1	GÊNESE DE UM DEPÓSITO MINERAL	33
4.2	MINERAIS E MINÉRIOS	34
4.3	TIPOS DE DEPÓSITOS MINERAIS	36
<b>5</b>	<b>MINÉRIOS COMO RECURSOS NATURAIS</b> .....	<b>41</b>
5.1	EXTRAÇÃO DE MINÉRIOS	42
5.2	TIPOS DE MINAS	43
5.3	PROCESSOS DA MINERAÇÃO	47
<b>6</b>	<b>RECURSOS MINERAIS NO BRASIL</b> .....	<b>49</b>
6.1	O BRASIL	49
6.2	A BAHIA	53
<b>7</b>	<b>IMPACTOS DA MINERAÇÃO</b> .....	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>61</b>





# 1. MINERAIS

A Mineralogia é um ramo da geologia, que se dedica ao estudo dos Minerais através das suas propriedades, constituição, estrutura, gênese e modos de ocorrência, uma vez que muitos minerais tem papel indispensável para a indústria, a saúde e a política. Os insumos minerais estão na base das cadeias produtivas em maior ou menor proporção, podendo ser encontrados em praticamente todos os materiais industrializados.

Mineral por sua vez são os principais constituintes das rochas e que podem ser caracterizados, de acordo com os seguintes aspectos: substância sólida de origem natural com um arranjo atômico altamente ordenado, composição química homogênea e definida, cristalina e formado por processos inorgânicos.

Desta maneira, pode-se afirmar que ao considerar um mineral como uma substância **sólida**, é necessário excluir materiais gasosos e líquidos. Há, ainda certas controvérsias, quanto a essa definição, uma vez que, apesar do gelo ser considerado um mineral, a água (líquida) não é, da mesma forma que o mercúrio (líquido).

Ao afirmar que o mineral apresenta **ocorrência natural** indica que este deve ter sido formado por processos naturais, essa especificidade serve para diferenciá-lo daqueles elaborados em laboratórios (sintéticos). O **arranjo atômico ordenado** indica uma estrutura interna de átomos (ou íons) que ocorrem arrançados segundo um padrão geométrico regular e repetitivo, assim, os minerais são caracterizados como sólidos cristalinos, em que a cristalinidade se refere a essa ordenação interna. A **composição química** dos minerais está associada a identificação dos elementos químicos que os compõem, com o tipo de retículo cristalino presente, bem como a sua **homogeneidade**, em que o mineral mantém a mesma composição química por todo seu volume independente da sua forma, tamanho e do local amostrado.

Tradicionalmente, os minerais são formados por **processos inorgânicos**, entretanto é crescente a tendência em reconhecer que os minerais podem ser produzidos por processos **orgânicos**.

Um exemplo típico do processo orgânico é a formação das conchas de ostras e das pérolas que são compostas pelo mineral denominado aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ).

Os minerais são formados por transferência de elétrons entre os átomos reagentes (formando íons) ou por compartilhamento de elétrons entre eles, através de reações e ligações químicas. Estas reações são interações entre átomos de dois ou mais elementos químicos em certas proporções fixas, produzindo novas substâncias químicas – os compostos químicos. Os quatro principais tipos de ligações químicas são: iônica (metal + não metal), covalente (não metal + não metal), metálica e de Van der Waals.

Os minerais se formam pelo processo de cristalização, que é o crescimento de um sólido a partir de um gás ou líquido cujos átomos constituintes agrupam-se segundo proporções químicas e arranjos cristalinos adequados.

## 1.1 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DOS MINERAIS

Embora sejam conhecidos milhares de minerais, a maioria das rochas são compostas por pouco mais de 30 minerais diferentes, sendo estes constituintes da maioria das rochas crustrais, e por esse motivo são chamados de minerais formadores de rochas (Quadro 1). Esse número reduzido de minerais é consequência da redução de elementos de maior abundância na crosta – 99% que é composta por apenas nove elementos.

Devido a grande variedade de minerais formadores de rochas, fez-se necessário agrupá-los e classificá-los, tendo como base critérios como composição química, importância econômica e aplicabilidade (uso).

A classificação dos minerais de acordo com a composição química é subdividida em 6 grupos: Silicatos, Carbonatos, Óxidos, Sulfetos, Sulfatos e Haletos. Os minerais do grupo dos Silicatos são os mais abundantes da crosta terrestre, formados pela combinação de silício (Si) e oxigênio (O) e dando origem a estruturas internas como tetraedros isolados (minerais do grupo das olivinas), cadeias simples (minerais do grupo dos piroxênios), cadeias duplas (minerais do grupo dos anfibólios), estruturas em folhas (minerais do grupo das micas) e tridimensionais (minerais do grupo dos feldspatos). Os Carbonatos são constituídos por carbono (C) e oxigênio (O), na forma do ânion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) combinado com cálcio e magnésio, um exemplo típico

Tabela 1.1: Principais minerais formadores de rochas

Elemento	Crosta	Terra
<b>Oxigênio</b>	46,30%	29,50%
<b>Silício</b>	28,20%	15,20%
<b>Alumínio</b>	8,20%	1,10%
<b>Ferro</b>	5,60%	34,60%
<b>Cálcio</b>	4,10%	1,10%
<b>Sódio</b>	2,40%	0,60%
<b>Potássio</b>	2,10%	0,10%
<b>Magnésio</b>	2,30%	12,70%
<b>Titânio</b>	0,50%	0,10%
<b>Níquel</b>	Traço	2,40%
<b>Outro</b>	Traço	2,60%

Press *et al.* (2006).

de mineral carbonático é a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Os minerais do grupo dos Óxidos são compostos por ânion de oxigênio ( $\text{O}^{2-}$ ) e cátions metálicos, como encontrado no mineral hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Os Sulfetos são minerais compostos por ânion sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ) e cátions metálicos, assim como o mineral pirita ( $\text{FeS}_2$ ). O grupo dos sulfatos são compostos de ânions sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cátions metálicos, um exemplo típico deles é o mineral anidrita ( $\text{CaCO}_4$ ) e a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Por fim, temos os Haletos que são formados pelos ânions cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), fluoreto ( $\text{F}^-$ ), Brometo ( $\text{Br}^-$ ), Iodeto ( $\text{I}^-$ ), como exemplo desse grupo temos o mineral halita ( $\text{NaCl}$ ).

Os minerais apresentam significativa importância econômica para a sociedade, dessa forma podem ser classificados como Minerais Metálicos e Não Metálicos, a exploração destes minerais resulta em uma atividade de rendimento econômico denominada Mineração.

O conceito de Minerais Industriais refere-se a um mineral (em geral não metálico) ou rocha que é utilizado para um ou mais fins industriais.

- materiais para indústria ótica e eletrônica (quartzo principalmente e, secundariamente, gipsita, fluorita, calcita, micas..);
- materiais para fabricação de pigmentos (óxidos de ferro, minerais de titânio...);
- materiais abrasivos (diamantes e carbonados, córindon, granada, estauroлита...);

- matéria prima para a indústria química (sais minerais, enxôfre nativo, apatita, fosforita...)
- materiais para cerâmica (argilas diversas, sílica, feldspatos,...);
- materiais utilizados na fabricação de plásticos (derivados do petróleo);
- materiais para a agricultura: fertilizantes (fosfatos, sais de potássio); corretivos de solos (calcário e dolomito moídos, gipsita moída...);
- materiais para de uso na mineração e metalurgia: lamas de perfuração (argilas, em especial do grupo das montmorilonitas (bentonita); moldes de fundição (areia silicosa fina + aglomerante argiloso); fundentes (calcário e/ou calcario dolomítico, cal).

Os minérios energéticos são substâncias que podem ser usadas como fonte de energia e englobam:

- a) Os materiais nucleares: são minerais que contém elementos radioativos como urânio e tório;
- b) Os combustíveis fósseis têm origem na acumulação de microrganismos em sedimentos, estes transformados posteriormente em rochas sedimentares por processos diagenéticos, sendo divididos em sólidos, como a série turfa-linhito-carvão mineral-antracito, e líquidos e gasosos, como o óleo e o gás natural do petróleo (moléculas compostas por carbono e hidrogênio).

A partir da atividade industrial, foram criados termos utilizados comercialmente e que se referem às diversas formas de minerais. Cristal é um mineral limitado por faces planas e bem definidas. Mineral Minério é um mineral economicamente autossustentável. As gemas representam todos os minerais ornamentais, usados para a confecção de joias e bijuterias.

## 1.2 O ESTADO DA BAHIA E SUAS SUBSTÂNCIAS

De acordo com a Secretaria do Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia, a Bahia é o quinto produtor brasileiro de bens minerais, registrando uma produção da ordem de R\$ 2,5 bilhões em 2015. Com um território cuja diversidade geológica é muito grande, extraindo aproximadamente 40 substâncias minerais, a Bahia figura como um dos três principais alvos de interesse para a prospecção mineral no país, especialmente para minerais metálicos como ferro, ouro, alumínio, cobre, entre outros.

Os números do setor na Bahia:

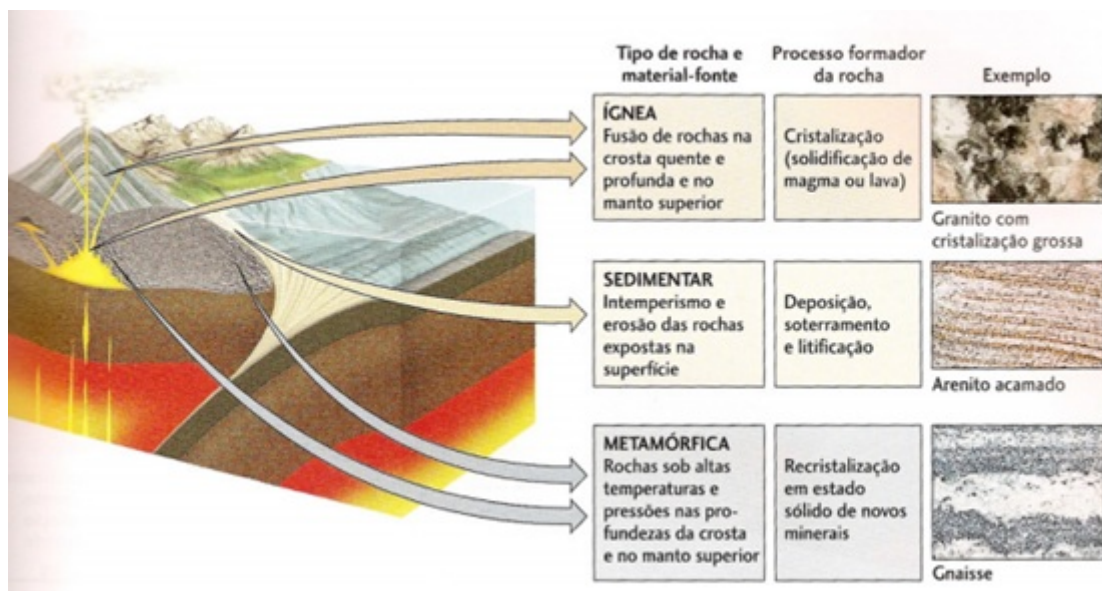
- 5º produtor brasileiro;
- 1º produtor brasileiro de urânio, cromo, salgema, magnesita, diatomita, quartzo e talco;
- Destaque nacional na produção de ouro e comercialização de molibdenita;
- Produtor de mais de 30 variedades gemológicas e é o único produtor mundial de granito azul e único estado a produzir o mármore travertino - Bege Bahia;
- Tem 100% do seu território coberto por mapeamento geológico, na escala 1:250.000 e 100% por mapeamentos em escala 1:100.000, bem como outras escalas maiores;
- Gera aproximadamente 16 mil postos de trabalhos, dos quais mais de 85% no semiárido;
- Em sua pauta de exportações, figuram o ouro, concentrado de níquel, minério de manganês e seus concentrados, sulfato de bário, cromita, ferro-ligas (Fe-Mn, Fe-Cr, Fe-Si-Cr), cátodos de cobre refinado, magnesita, ligas de alumínio, pedras preciosas e semipreciosas, mármore e granitos;
- O Comércio Exterior de Bens Minerais na Bahia em 2015 atingiu um saldo de US\$ 1,5 bilhão.



## 2. ROCHAS

Rocha é um agregado consolidado de um ou mais minerais, formada a partir de processos geológicos e que podem ser classificadas de acordo com seu processo de formação em Ígneas ou Magmáticas, Sedimentares e Metamórficas (Figura 2.1).

Figura 2.1: Classificação dos diferentes tipos de rochas.



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

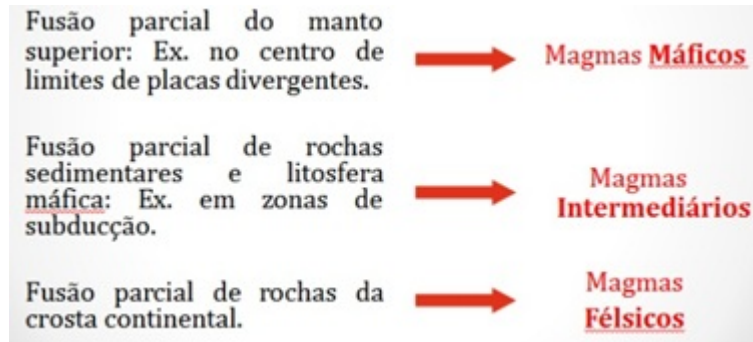
### 2.1 ROCHAS ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS

Magma é um fundido rochoso ou mesmo um rocha que sofreu fusão, composto geralmente por silicato + cristais + voláteis ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $Cl$ ,  $F$ , etc. . . ), que é gerado no interior da Terra, provido de mobilidade. Depois de formado, o magma fica alojado em Câmaras Magmáticas. Quando o magma atinge a superfície e começa a fluir, perde os seus componentes gasosos e transforma-se em lava.

A maioria dos magmas (Figura 2.2) é gerada por fusão parcial na astenosfera, mas este

processo também pode ocorrer nos níveis mais superiores do manto ou na base da crosta (zonas inferiores da litosfera).

Figura 2.2: Correlação entre os diferentes tipos de fusão parciais e o seu produto final.

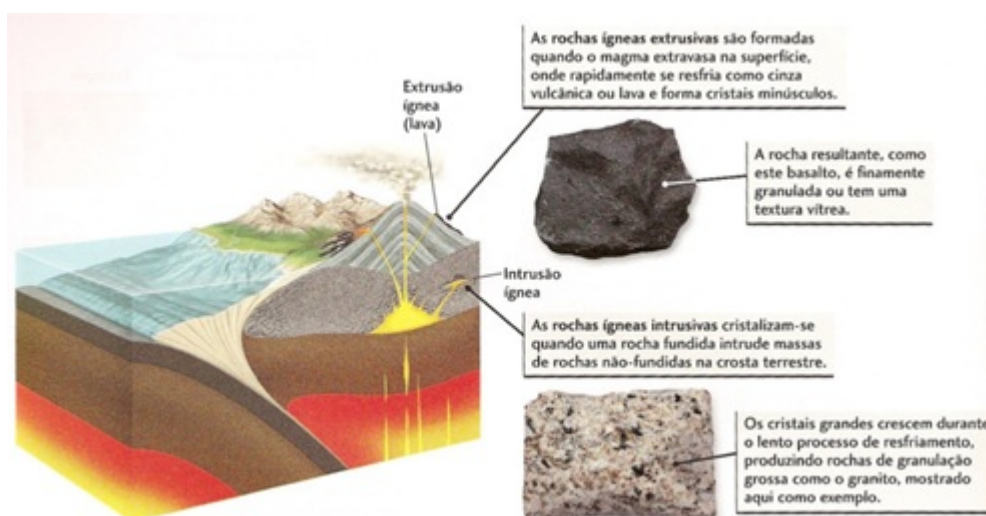


Fonte: Press *et al.* (2006).

As Rochas Ígneas ou Magmáticas são formadas a partir da cristalização do magma, que foi originado na litosfera. Tais rochas podem cristalizar tanto na superfície, quanto em subsolo.

A classificação das rochas ígneas se faz a partir do ambiente em que o magma se cristaliza. Rochas Ígneas Intrusivas ou Plutônicas (formadas a partir da cristalização lenta do magma em subsuperfície) e as Rochas Ígneas Extrusivas ou Vulcânicas (formadas a partir da cristalização rápida do magma quando chega à superfície da crosta terrestre como lava ou como material piroclástico, que são fragmentos de rochas lançados ao ar durante a erupção vulcânica) (Figura 2.3).

Figura 2.3: Possíveis ambientes de cristalização das rochas ígneas.



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



A composição mineralógica dos magmas é muito variável, evidenciado pela diversidade de rochas ígneas que ocorrem na superfície e na crosta terrestre (Figura 2.4), porém alguns minerais podem ser classificados como comuns nas rochas ígneas (Figura 2.5).

Figura 2.4: Variação composicional do magma, originando diferentes tipos de rochas.



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

Figura 2.5: Quadro com o grupo composicional dos principais minerais constituintes das rochas ígneas.

Grupo Composicional	Mineral	Composição Química	Estrutura do Silicato
FÉLSICO	Quartzo	$\text{SiO}_2$	Cadeias Tridimensionais
	Feldspato Potássico	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	
	Feldspato Plagiocásico	$\left\{ \begin{array}{l} \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \\ \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \end{array} \right.$	
	Moscovita (mica)	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Folhas
MÁFICO	Biotita (mica)	$\left. \begin{array}{l} \text{K} \\ \text{Mg} \\ \text{Fe} \\ \text{Al} \end{array} \right\} \text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Cadeias Duplas
	Grupo dos Anfibólios	$\left. \begin{array}{l} \text{Mg} \\ \text{Fe} \\ \text{Ca} \\ \text{Na} \end{array} \right\} \text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	Grupo dos Piroxênios	$\left. \begin{array}{l} \text{Mg} \\ \text{Fe} \\ \text{Ca} \\ \text{Al} \end{array} \right\} \text{SiO}_3$	Cadeias Simples
	Olivina	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	Tetraedros Isolados

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

Através do estudo químico pormenorizado dos diferentes tipos de rochas ígneas e das suas associações mútuas, os diferentes tipos de magmas podem ser classificados em quatro tipos químicos principais.

- Ácidos: ricos em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . As rochas geradas a partir deste tipo de magmas

podem ter mais de 77% em peso de SiO<sub>2</sub>. O granito é um exemplo de uma rocha ácida, e a maioria dos magmas ácidos são designados por “graníticos”;

- Intermediários: ricos em SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O, assim como CaO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. As rochas geradas por este tipo de magmas têm valores de SiO<sub>2</sub>, em porcentagem peso, compreendidos entre 55 e 65%. O andesito é um exemplo de uma rocha intermediária;
- Básicos: ricos em CaO, MgO e FeO. As rochas deste tipo têm valores de SiO<sub>2</sub>, em peso, compreendidos entre 45 e 55%. O basalto é um exemplo de uma rocha básica, e muitos magmas básicos são genericamente como "basálticos";
- Ultrabásicos: são magmas pobres em SiO<sub>2</sub>, mas com grande quantidade de FeO e MgO. As rochas ultrabásicas podem apresentar valores de SiO<sub>2</sub> muito baixos, inferiores a 38% em porcentagem peso. O peridotito é um exemplo de uma rocha ultrabásica.

Como podem existir rochas ígneas com composição química e mineralógica diferentes, se todas elas foram originadas de um mesmo magma?

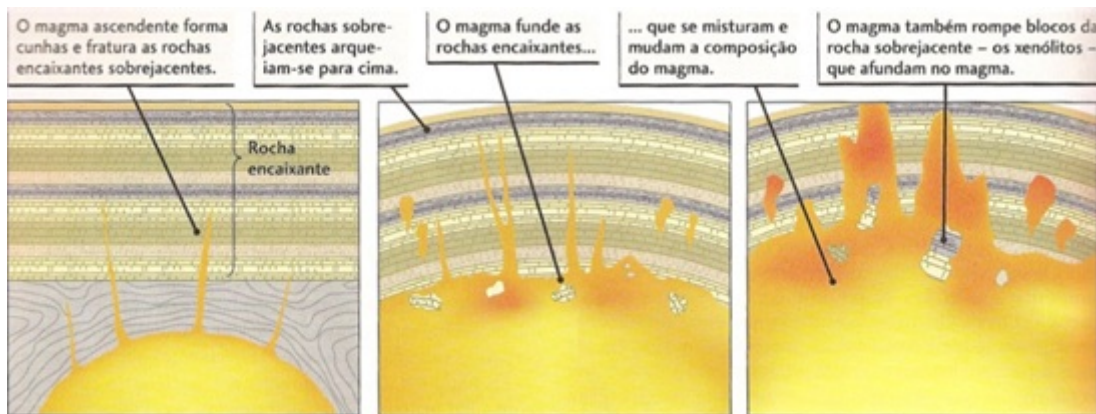
A pergunta acima pode ser respondida a partir do momento em que se estuda os processos de Ascensão e Assimilação Magmática, Diferenciação Magmática e Cristalização Fracionada.

A ascensão do magma dá-se ao longo de falhas, fraturas ou outras descontinuidades, como os planos de estratificação, ou através de um processo conhecido como “magmatic stopping” (desmonte magmático), através do qual o magma interage com as rochas encaixantes, envolvendo-as e, eventualmente, fundindo-as, no que se designa como assimilação magmática. A assimilação provoca a modificação da composição química do fundido e auxilia na formação de condutos que facilitam o movimento ascensional do magma. A densidade e a viscosidade controlam a velocidade do deslocamento do magma (Figura 2.6).

A diferenciação magmática é o processo pelo qual rochas de composição variadas podem formar-se a partir de um mesmo magma, desde que ocorram processos como a assimilação a mistura de magmas e a cristalização convectiva e in situ, que a partir dos movimentos de convecção são geradas estruturas de fluxo e de arrastamento de cristais (Figura 2.7).

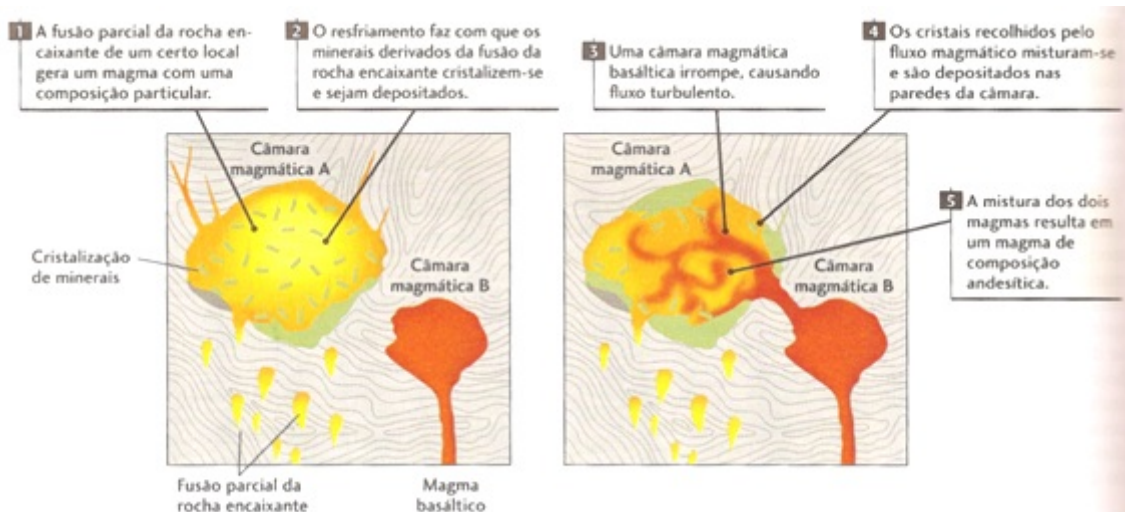
A cristalização fracionada, por sua vez, dá-se a partir do momento em que minerais são cristalizados e segregados para o da câmara magmática, deixando de interagir com o líquido remanescente (magma) (Figura 2.8).

Figura 2.6: A ascensão magmática na câmara magmática.



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

Figura 2.7: A diferenciação e assimilação magmática na câmara magmática



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

A Sequência experimental de cristalização de minerais de um magma máfico (basáltico) resfriando gradualmente foi denominada de Série de Cristalização de Bowen, que fornece um modelo no qual à medida que a temperatura do magma decresce minerais como a olivina e outros minerais cristalizam-se seguindo uma série ordenada e, simultaneamente, o plagioclásio cristaliza-se, desde a forma rica em cálcio até a forma rica em sódio e a composição do magma modifica-se, passando de ultramáfico (baixo em sílica) a andesítica (teor intermediário de sílica) (Figura 2.9).

Os magmas podem ser formados em ambientes como Limites de Placas Convergentes (Colisão entre Crostas Oceânicas ou Colisão entre Crosta Oceânica e Continental), Limites de

Figura 2.8: A cristalização fracionada e segregação dos minerais na câmara magmática.



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

Placas Divergentes e de Plumas Mantélicas/Hot Spots (Figura 2.10).

Nos limites de placas Convergentes, a subducção draga a litosfera oceânica (incluindo uma fina camada de sedimentos “úmidos”) sob a placa adjacente. Nos ambientes de Colisão entre Crostas Oceânicas, formam-se rochas intrusivas e extrusivas de composição variando entre máfica a intermediária, enquanto que nos ambientes de Colisão entre Crosta Oceânica e Continental são formadas rochas intrusivas e extrusivas de composição variando entre máficas a félsicas.

Nos limites de Placas Divergentes, a astenosfera parcialmente fundida, ascende em centros de expansão (Dorsal mesoceleânica), dando origem a rochas intrusivas e extrusivas de composição basáltica.

Em ambientes de Plumas Mantélicas/Hot Spots, a ascensão do magma ocorre de modo que dá origem a rochas intrusivas e extrusivas de composição essencialmente basáltica.

## 2.2 ROCHAS SEDIMENTARES

O estudo das rochas sedimentares se faz a partir da compreensão do que venha a ser sedimentologia associado à petrologia sedimentar. Sedimentologia é um dos ramos da geologia que tem como objetivo estabelecer as relações entre processos sedimentares, como transporte e deposição de sedimentos, enquanto que a Petrologia Sedimentar está voltada para os processos de transformação (diagênese) dos depósitos sedimentares, após a deposição.

Figura 2.9: Série de Cristalização de Bowen.

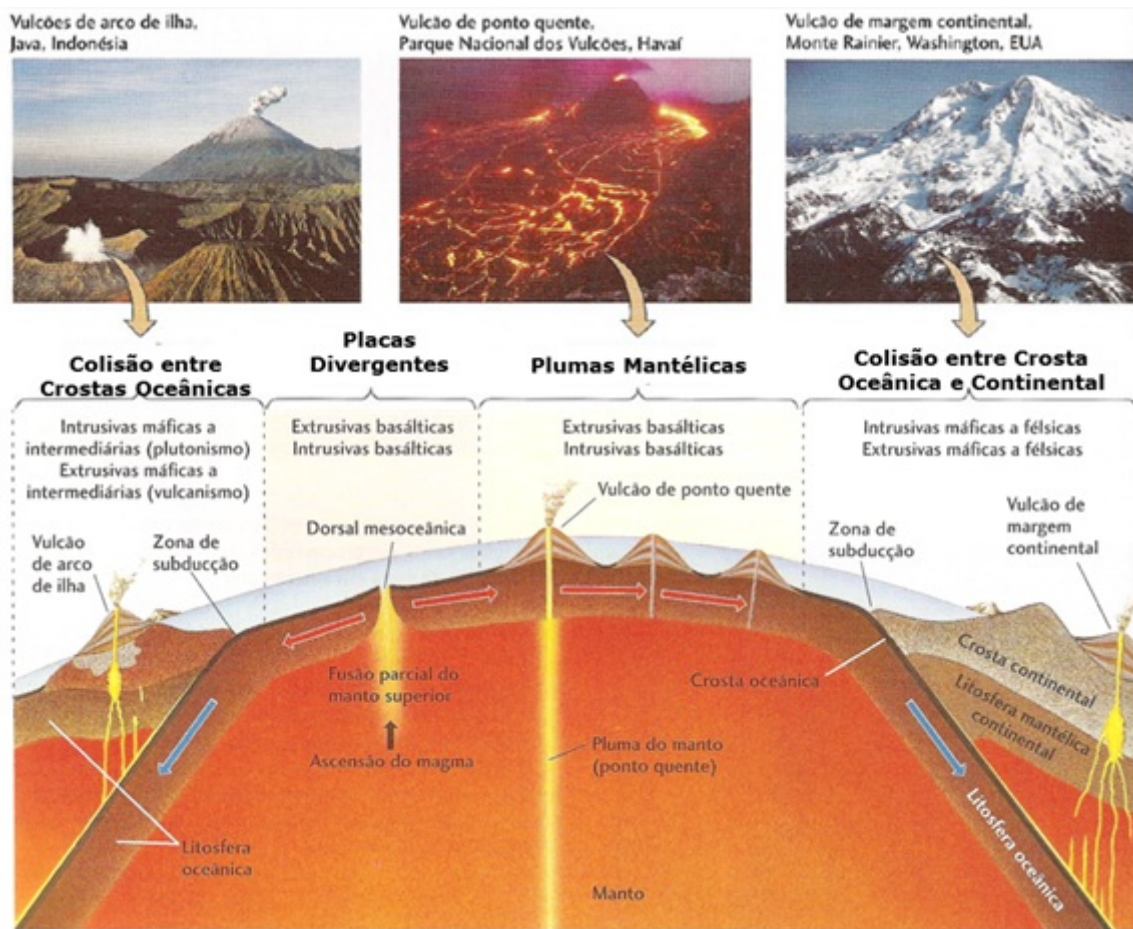


Os materiais resultantes dos processos intempéricos e erosivos, sedimentos, constituem a base para a formação das rochas sedimentares. Desta forma, as Rochas Sedimentares são agregados consolidados de fragmentos de rochas (ígneas, metamórficas ou sedimentares), como também de restos de organismos. As rochas sedimentares constituem apenas 5% da camada exterior do planeta Terra, compreendendo cerca de 16km de espessura.

As rochas sedimentares podem ser classificadas de acordo com a origem dos sedimentos que as compõem em clásticas e químicas. As Clásticas ou Terrígenas são formadas a partir da acumulação de materiais resultantes dos processos erosivos e transportados na forma de partícula, e as Químicas correspondem aos materiais produzidos por precipitação química, de origem inorgânica ou orgânica.

Os principais componentes das rochas sedimentares Clásticas são minerais de argila e quartzo. Os minerais de argila são o produto mais abundante resultante da alteração dos minerais do grupo dos silicatos, especialmente os feldspatos. Por outro lado, o quartzo deve a sua grande abundância ao fato de ser muito resistente, tanto do ponto de vista mecânico como químico

Figura 2.10: Ambientes com os Limites de Placas.



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

(Figura 2.11).

O tamanho das partículas é a característica principal que permite distinguir os vários tipos de rochas sedimentares detríticas e pode ser usualmente correlacionado com a energia do meio de transporte dos sedimentos (Figura 2.12).

Em contraste com as rochas clásticas, formadas a partir de grãos sólidos resultantes da erosão e alteração de rochas, os sedimentos de origem química resultam de materiais que são transportados em solução até lagos e mares. Estes materiais não permanecem em solução na água indefinidamente e acabam por sofrer uma precipitação depositando-se em sedimentos. Esta precipitação pode ter uma origem inorgânica, mas também pode ser o resultado de processos orgânicos. Um exemplo de um depósito resultante de uma ação inorgânica é o sal após a evaporação da água marinha originando posteriormente o sal-gema.

Figura 2.11: Arenito



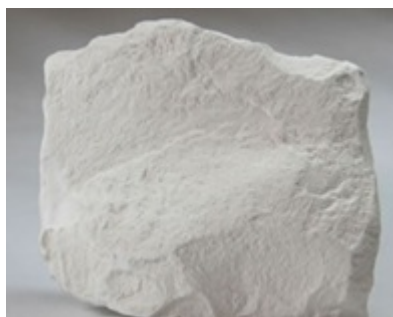
Figura 2.12: Correlação entre tipo de sedimento, tamanho das partículas e nome da rocha sedimentar detrítica.

Nome do Sedimento	Diâmetro (mm)	Rocha Detrítica
Cascalho	> 2 mm	Conglomerado: Pudim e Brecha
Areia	2 – 0,06 mm	Arenito
Silte	0,06 – 0,002 mm	Siltito
Argila	< 0,002 mm	Argilito

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

O calcário é a rocha sedimentar química mais comum, composta essencialmente pelo mineral calcita e formada por processos tanto inorgânicos como orgânicos, sendo estes últimos os mais comuns. A origem orgânica da maior parte dos calcários pode não ser tão evidente porque a maior parte das conchas sofre processos consideráveis de transformação antes de se constituírem em rochas (Figura 2.13).

Figura 2.13: Calcário.



Fonte: © geology.com

A acumulação de conchas, por vezes microscópicas, de animais marinhos é um exemplo de origem orgânica de sedimentos.

As rochas Sedimentares apresentam como composição elementos como arcabouço que é composto pelos grãos maiores presentes na rocha, matriz corresponde aos grãos menores da rocha, e cimento é o precipitado químico de minerais que une os grãos uns aos outros.

As bacias sedimentares são grandes depressões na crosta terrestre onde os sedimentos inconsolidados, que darão origem à rocha sedimentar, são depositados. A deposição dos sedimentos pode ocorrer em bacias sedimentares em diversos ambientes na crosta (e.g. marinho, continental, glacial, fluvial, lacustre, dentre outros).

O processo que conduz à litificação do sedimento e que dará origem à rocha sedimentar é denominado de Diagênese. A diagênese é representada por transformações físicas e químicas que ocorrem no interior de uma bacia sedimentar como: Compactação, Cimentação e Litificação.

A compactação é gerada a partir da ação do peso das camadas de sedimentos (pressão litostática) suprajacentes que atuam compactando o pacote de sedimentos presente na bacia sedimentar. Durante a compactação, podem ocorrer ou não a dissolução dos minerais vulneráveis (olivinas, piroxênios, anfibólios e feldspatos) ao pH da água intersticial (corroendo-os ou dissolvendo-os totalmente) e a cimentação que constitui na percolação da água intersticial rica em íons, proveniente da compactação, e precipitação desses íons em forma de cimento ocupando os poros existentes entre as partículas dos sedimentos. Os minerais mais comuns que podem atuar como cimento é a calcita, sílica e óxido de ferro. A litificação é a consolidação efetiva desses sedimentos e dando origem à rocha sedimentar.

As rochas sedimentares são caracterizadas por sua estratificação, pois são geralmente formadas por camadas superpostas que podem diferir uma das outras em composição, textura, espessura, cor, resistência, etc. Os planos de estratificação, também chamados de planos de sedimentação, são normalmente planos de fraqueza da rocha, que muito influem no seu comportamento mecânico (Figura 2.14).

A nomenclatura das rochas sedimentares se faz a partir da análise do tamanho dos sedimentos que as compõem, como mostra a figura 2.15.



Figura 2.14: Estratificação cruzada num ambiente desértico. A variação nas direções da estratificação cruzada deste arenito deve-se às mudanças na direção do vento no tempo em que as dunas foram depositadas. Arenito Nevajo. Parque Nacional Zion, sudoeste de Utah (EUA).



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

## 2.3 ROCHAS METAMÓRFICAS

Metamorfismo são todas as modificações na assembleia mineral de uma rocha, no estado sólido, que ocorrem no interior da crosta da Terra, como resultado das mudanças na temperatura ( $T$ ) e pressão ( $P$ ) ou ação de fluidos hidrotermais. O metamorfismo inicia-se a partir de  $200^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$  ( $200 - 250^{\circ}\text{C}$  ocorre a diagênese/rochas sedimentares) e vai até a curva da anatexia (fusão da rocha/rochas ígneas).

Os processos metamórficos ocorrem, em geral, associados aos processos tectônicos (tectônica global). Os locais mais importantes são as margens continentais convergentes, onde se desenvolvem as grandes cadeias de montanhas, como os Andes, as Rochosas, os Himalaias, os arcos de ilha, como o arquipélago do Japão.

As rochas metamórficas são constituintes predominantes nestas grandes estruturas lineares, na forma de extensas faixas, denominadas cinturões metamórficos. Outros locais onde se desenvolve o metamorfismo são as dorsais mesoceânicas, ao redor de corpos ígneos plutônicos (intrusões ígneas na crosta), ao longo de grande zonas de falha ou ainda nas crateras de impactos de meteoritos.

Os fatores que controlam os processos metamórficos são: temperatura, pressão (litostática, dirigida, fluidos), presença de fluidos e tempo de duração dos processos.

Figura 2.15: Principais classes de rochas sedimentares e sedimentos clásticos.

Tamanho da partícula	Sedimento	Rocha
GROSSO	CASCALHO	
Maior que 256 mm	Matacão	Conglomerado
256-64 mm	Calhau	
64-2 mm	Seixo	
MÉDIO		
2-0,062 mm	AREIA	Arenito
FINO	LAMA	
0,062-0,0039 mm	Silte	Siltito
Menor que 0,0039 mm	Argila	<ul style="list-style-type: none"> <li>{ Lamito (fratura em bloco)</li> <li>{ Folhelho (quebra ao longo do acamamento)</li> <li>{ Argilito</li> </ul>

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

As principais fontes de calor na Terra são o calor residual do manto e do núcleo, e o calor gerado por desintegração radioativa.

São quatro tipos de pressão atuante: 1) A Pressão Litostática é função da coluna de rocha sobrejacente e da densidade dessas rochas; 2) A Pressão Dirigida é causada pela movimentação das placas litosféricas; 3) A Pressão de Fluidos atua quando há fluidos intersticiais (nos contatos entre os minerais) e tende a aliviar a pressão litostática favorecendo o desenvolvimento de fraturas na rocha; e 4) Pressão Instantânea é causada pelo choque de grandes corpos extraterrestres que caem sobre a Terra.

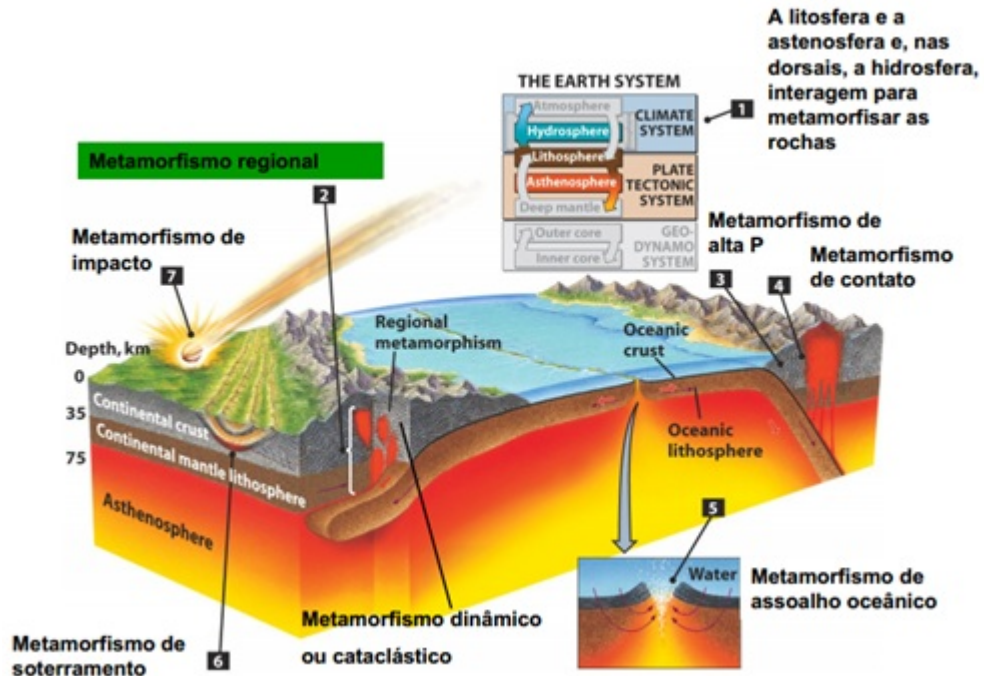
Os sistemas metamórficos contêm uma fase Fluida, constituída sobretudo por H<sub>2</sub>O e/ou CO<sub>2</sub>, cuja existência pode ser constatada pela presença de minerais hidratados (micas, anfíbios, cloritas) e ou carbonatados (calcita, dolomita). Quando a pressão de fluidos (Pf) entre os grãos supera a pressão litostática ( $P_l < P_f$ ), ocorrerá fraturamento da rocha e a perda dos fluidos através das fraturas. Importância dos fluidos durante o metamorfismo (interação fluido-rocha) – introdução e retirada de componentes químicos do sistema.

As reações metamórficas necessitam de tempo para processarem, mesmo em tempo de atuação do metamorfismo, maior e melhor desenvolvimento da granulação.

Para entender a geologia do metamorfismo, ou seja, quando, onde e como essas condições originam-se na Terra é necessário caracterizar as rochas metamórficas com base nas seis circunstâncias geológicas de formação: Regional, De Contato, De Soterramento, Cataclástico, De

Fundo Oceânico e De Impacto (Figura 2.16).

Figura 2.16: Tipos de metamorfismo.



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

O metamorfismo Regional é o mais abrangente e está associado aos processos tectônicos responsáveis pela formação de grandes cadeias de montanhas. Desenvolve-se em grandes extensões e profundidades na crosta, e está relacionado a cinturões orogênicos nos limites de placas convergentes. Atuação conjunta de todos os fatores de metamorfismo (P, T e fluidos), desta forma, quando a intensidade do metamorfismo aumenta, o mesmo acontece com o tamanho do cristal e a espessura da foliação (Figura 2.17).

Figura 2.17: Escala gradual da ação do tempo e intensidade do metamorfismo regional.

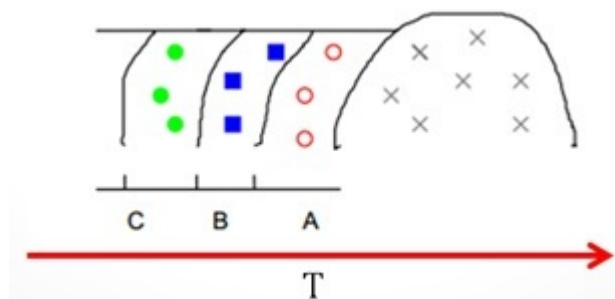


Fonte: Press *et al.* (2006).

O metamorfismo de Contato ocorre em torno de corpos ígneos, apresentam extensão local e não apresentam foliação metamórfica. A transformação que ocorre na encaixante denomina-se

Auréola de Contato (Figura 2.18).

Figura 2.18: Representação da auréola de contato no Metamorfismo de Contato.



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

O Metamorfismo de Soterramento ocorre em bacias sedimentares em subsidência, é denominado de metamorfismo de baixo grau, prevalece a ação da pressão litostática e é o resultado do soterramento de espessas sequências de rochas sedimentares e vulcânicas a profundidades em que a temperatura pode chegar a 300°C ou mais, devido o fluxo de calor na crosta.

O Metamorfismo Cataclástico ou Dinâmico é desenvolvido em faixas longas e estreitas nas adjacências de falhas ou zonas de cisalhamento, apresenta extensão local, predomina a atuação da pressão dirigida (diminuição dos grãos e foliação). Exemplos de rochas originadas a partir do metamorfismo cataclástico: milonitos (foliados) e cataclasitos (não foliados).

O Metamorfismo de Fundo Oceânico ocorre em extensão local, próximo aos rifts das cadeias mesoceânicas, onde a crosta recém formada e quente interage com a água fria do mar através de processos metassomáticos e metamórficos termais. É comum modificação mineralógica (metamórfica), porém em quase todos os casos com preservação da textura ígnea e é um tipo particular de metamorfismo hidrotermal.

O Metamorfismo de Impacto acontece associado a áreas de impacto de meteoritos, possuem extensão local, altíssimas Pressão e Temperatura por fração muito pequena de tempo e são formados novos minerais (polimorfos da sílica coesita e stishovita e fases vítreas).

As rochas metamórficas são formadas a partir de transformações (físicas e/ou química) em uma outra rocha (sedimentar, ígnea ou metamórfica), a partir daí é possível correlacioná-las com os diferentes tipos de protólito e ao tipo de metamorfismo associado.

## 2.4 CICLO DAS ROCHAS

Press *et al.*, (2013) propõe que o ciclo das rochas relaciona os processos geológicos para a formação de cada um dos três tipos de rocha a partir dos outros. O processo pode ser analisado a partir de qualquer ponto do ciclo. Inicia-se com a formação das rochas ígneas pela cristalização do magma no interior da Terra. As rochas ígneas são, então, soerguidas para a superfície no processo de formação de montanhas. Então, elas são expostas ao intemperismo e à erosão, que produzem sedimentos. Os sedimentos são levados para as bacias sedimentares através soterramento e litificam para formar uma rocha sedimentar. Quando o soterramento ocorre em ambientes onde apresentam elevadas taxas de temperatura e pressão, ocorre o metamorfismo ou fusão e, nesse ponto, o ciclo recomeça. A tectônica de placas é o mecanismo que faz o ciclo das rochas operar.



# 3. INTEMPERISMO E FORMAÇÃO DO SOLO

## 3.1 INTEMPERISMO

Intemperismo é representado pelo conjunto de modificações físicas (desagregação) e químicas (decomposição) que transformam as rochas na superfície da Terra, através de fatores como clima, relevo, rocha-mãe, tempo, fauna e flora. Como produtos do intemperismo, tem-se a rocha alterada, a formação do solo e do sedimento.

A Zona Crítica é denominada como um ambiente heterogêneo próximo à superfície, no qual interações complexas entre rocha, solo, água e seres vivos regulam o habitat natural e determinam a disponibilidade de recursos que sustentam a vida.

O intemperismo está diretamente influenciado a fatores como natureza da rocha e tempo de exposição aos fatores intempéricos. Porém a variação sazonal de temperatura e distribuição de chuvas, associados ao relevo da região podem contribuir intensamente para ação do intemperismo. Em ambientes Tropicais, a ação do intemperismo é muito mais acentuada do que em ambiente áridos.

O intemperismo pode ser de três tipos:

Intemperismo Físico - consiste na desagregação da rocha, com separação dos grãos minerais que a compõem e fragmentação da massa rochosa original. É causado pela variação de Temperatura (termoclastia) que geram dilatação dos minerais, pela cristalização de sais em poros e fissuras e congelamento, pelas tensões internas devido ao aumento de volume de certos minerais (hidratação de minerais), pelo alívio de pressão causado pelo alívio de peso, fendilhamento. E, por fim pelas atividades físico-biológicas que são ações mecânicas das raízes e de organismos (Figura 3.1).

Intemperismo Químico - ocorre uma série de reações químicas que transformam os minerais originais de uma rocha em novos minerais mais estáveis no ambiente superficial (Figuras 3.2).

Figura 3.1: Exemplos típicos do Intemperismo Físico.



Alternância de calor e frio, em regiões desérticas (fadiga mineral).



Ação do gelo e degelo, acaba fragmentando as rochas.



Zonas Naturais de Fraqueza: juntas e fraturas tectônicas.



Fragmentação por esfoliação esferoidal: alívio de pressão.

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

Os agentes causadores são as temperaturas e as pressões da superfície da terra, junto com a água e o oxigênio desequilibram minerais formados em condições muito diversas. Regionalmente, é possível quantificar ambientes na superfície dos continentes, atingidos ou não pelas alterações químicas, 86% e 14%, respectivamente.

Figura 3.2: Lápides expostas a ação do Intemperismo Químico.



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

Intemperismo Biológico: formado pela decomposição da rocha devido ação mecânica provocada por raízes de vegetais, escavações animais, atividades de microorganismos e ação humana (Figura 3.3). Pode ocorrer pela liberação de substâncias agressivas quimicamente oriundas da decomposição de corpos.

A resistência da rocha ao intemperismo químico está diretamente relacionada à sua composi-



Figura 3.3: Exemplos típicos do Intemperismo Biológico.



As raízes das plantas causam fraturamento nas rochas.



O tatu ao fazer o buraco no solo facilita a penetração da água e de substâncias químicas nela existentes.

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

ção mineralógica. Desta forma, podemos afirmar que a estabilidade geralmente é oposta à Série de Bowen.

## 3.2 SOLO

O Solo é um corpo natural composto de sólidos (minerais e matéria orgânica), líquidos e gases que ocorre na superfície terrestre, ocupando espaço e caracterizado por apresentar horizontes ou camadas distinguíveis do material de origem como resultado de adições, perdas, transferências e transformações de energia e matéria com capacidade de suportar raízes de plantas em um ambiente natural (Soil Survey Staff, 2010).

O estudo detalhado dos horizontes presentes nos solos se faz oportuno e necessário para o entendimento e compreensão do comportamento dos solos, desta forma seu estudo pode ser aprofundado a partir da leitura complementar da Classificação dos Horizontes Diagnósticos Superficiais e Subsuperficiais, proposto pela EMBRAPA, 2006.

Através dos processos e ambientes geológicos de formação, é possível classificar os solos em: solos residuais ou autóctones, solos transportados ou alotóctones e solos de origem Orgânica ou Orgânicos.

Os solos residuais ou autóctones são solos que permanecem no local de decomposição da rocha. Para que eles ocorram, é necessário que a velocidade de decomposição da rocha seja maior do que a velocidade de remoção do solo por agentes externos.

Os solos transportados ou alotóctones são solos que passaram pela ação de agentes transportadores. Exemplos: solos aluvionares, eólicos, glaciares ou coluvionares.

Os solos de formação Orgânica - possuem origem essencialmente orgânica, seja natureza vegetal (plantas, raízes), seja animal (conchas).

No Recôncavo Baiano, é comum a ocorrência de solos residuais oriundos de rochas sedimentares (folhelhos), constituído de camadas sucessivas de argila e areia. A argila presente nesse solo é popularmente conhecida como “massapê”, que apresenta a montmorilonita como mineral essencial. Considerando a diversidade de clima, relevo, temperatura, organismos e vegetação os solos podem ser classificados em 18 classes pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): Alissolos, Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvissolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolo e Vertissolos.

A classificação dos solos no Brasil tem sido matéria de grande interesse essencialmente motivado pela necessidade decorrente de levantamentos pedológicos, desta forma, é importante a leitura complementar do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, (EMBRAPA, 2013).

# 4. DEPÓSITOS MINERAIS

## 4.1 GÊNESE DE UM DEPÓSITO MINERAL

A expressão recursos minerais qualifica todo material rochoso que efetivamente possa ser utilizado pelo ser humano.

Ao tratar de uma rocha ou uma associação mineral associada a uma rocha com concentrações de minerais economicamente explotáveis, está se referindo a um Depósito Mineral.

A origem dos depósitos minerais é marcada historicamente por mitos e ideias religiosas. As primeiras ideias com base científica obtidas a partir de observação e descrição foi proposta por Agricola em 1542. Steno em 1669 apresentou as primeiras hipóteses sobre origem de depósitos minerais, denominada de hipótese dos vapores mineralizantes.

A introdução do método experimental se deu na segunda metade do século XIX. Os princípios da Química começaram a influenciar as ideias dos naturalistas preocupados com a metalogênese.

O geólogo francês Pierre Routhier foi o primeiro a expressar ideias bem elaboradas sobre a formação de depósitos minerais em termos de modelos genéticos, tais como hoje os conhecemos. Para Routhier, a gênese de um depósito mineral tem como componentes principais os seguintes: fonte (dos elementos químicos ou dos minerais), transporte (desses elementos ou minerais até o local de deposição) e ambiente de deposição da concentração.

A concentração mineral metálica faz referência a associação de minerais dos quais se pode extrair um ou mais metais para uso industrial.

As substâncias minerais ocorrem, em geral, em concentrações muito baixas na crosta da Terra. A concentração média de um determinado elemento na crosta é denominado de Clarke. Seguem alguns exemplos de proporções de elementos presentes na crosta: O = 49,13%; Si = 26%; Al = 7,43%; Fe = 4,20%; Ca = 3,25%; Na = 2,40%; K = 2,35%; Mg = 2,35%; H = 1,0% ð Total = **98,13%** somados a 0,61% de Ti, 0,35 de C, 0,20 de Cl, 0,12 de P, 0,10 de Mn, 0,10 de S,

0,08 de F dá um total de **99,79%**.

Os depósitos minerais de classe Mundial também denominados de “Word Class” apresentam grandes reservas com mais de 5Mt de metal contido, geralmente são polimetálicos, e apresentam posição geográfica e situação de infraestrutura privilegiadas.

Para que um depósito mineral seja formado, é necessário que uma determinada substância ocorra na crosta da Terra em concentrações superiores (ou muito superiores) ao valor de seu clarke, a esse valor de concentração chamamos de fator de concentração (fc). Desta forma o Fc deve ser igual ao teor mínimo econômico/clarke.

Clarke de Concentração se refere ao número de vezes que um elemento químico deve ser concentrado na crosta para, eventualmente, constituir uma jazida mineral. A tabela 4.1 mostra o Clarke de concentração de alguns minerais minérios.

Tabela 4.1: Clarke de concentração de alguns minerais

<b>Elemento</b>	<b>Teor mínimo explotável</b>	<b>Clarke (%)</b>	<b>Clarke de concentração</b>
<b>Alumínio</b>	30	8	4
<b>Cobre</b>	0,7	0,007	100
<b>Chumbo</b>	3	0,0016	2000
<b>Zinco</b>	3	0,0132	200

## 4.2 MINERAIS E MINÉRIOS

Recurso Físico da Terra é toda e qualquer substância extraída do mundo inorgânico na superfície ou sub-superfície da terra. Podem ser Recursos Minerais (minerais e rochas), Recursos Hídricos e Recursos Energéticos (combustíveis fósseis: carvão, petróleo, gás).

Mineral de minério são todos os minerais dos quais se pode extrair uma ou mais substâncias metálicas. Exemplos de minerais minérios: calcopirita, pirita, galena, esfalerita, etc.

Os principais grupos de Minerais de Minérios são:

- a) Elementos nativos: ocorrem na natureza em formas não combinadas e com uma estrutura distinta (incluindo algumas ligas metálicas);

- b) Halóides: caracterizam-se pela combinação dos íons halogênicos eletronegativos Cl-, B-, F- e I- com metais e metalóides;
- c) Sulfetos: minerais constituídos de um ou mais elementos metálicos combinados com enxofre. Fórmula geral:  $X_mM_n$ , onde X é um metal e M é o enxofre ou um metalóide (alguns metalóides substituem o enxofre na estrutura dos sulfetos);
- d) Sulfossais: enquanto nos sulfetos, os metalóides (quando ocorrem) ocupam o lugar do enxofre, nos sulfossais esses semi-metais desempenham o mesmo papel dos metais nos Fórmula geral:  $X_mA_nM_p$ , onde X é um metal, A é um metalóide e X é o enxofre;
- e) Óxidos: compostos nos quais o oxigênio combina-se com um ou mais metais. Dentro dessa classe estão os principais minérios de ferro, cromo, manganês, estanho e alumínio;
- f) Hidróxido: caracterizam-se pela presença de hidroxila (OH)<sup>-</sup> ou moléculas de água;
- g) Óxi-sais: os sais podem oxigenados e não-oxigenados. Os óxi-sais são sais que apresentam oxigênio em sua molécula. Podem ser carbonatos (CO<sub>3</sub>), sulfatos (SO<sub>4</sub>), fosfatos (PO<sub>4</sub>), vanadatos (VO<sub>4</sub>), tungstatos (WO<sub>4</sub>), arseniats (ASO<sub>4</sub>) e nitratos (NO<sub>3</sub>)
- h) Silicatos: não são minerais de minério. Deles não se pode extrair a substância metálica. Alguns deles são minerais industriais.

Conceito de Ganga está diretamente relacionado a um mineral, agregado de minerais ou mesmo a rocha que ocorrem associados ao mineral de minério e que não tem valor econômico (naquelas circunstâncias).

Conceito de Teor expressa a concentração dos elementos úteis numa associação mineral ou numa jazida e pode ser expresso em percentual de peso, partes por milhão (ppm), grama por tonelada (g/t), grama por metro cúbico (g/m<sup>3</sup>), quilate por tonelada ou metro cúbico, etc. O Teor de corte é o teor mais baixo de um metal que pode ser economicamente recuperado em um depósito.

### 4.3 TIPOS DE DEPÓSITOS MINERAIS

Os diferentes tipos de depósitos minerais existentes na crosta terrestre estão diretamente relacionados ao ambiente geotectônico de formação. Atualmente sob a ótica da tectônica de Placas, que compartimentou a crosta de um modo bem detalhado. Observa-se que um conjunto de mineralizações ou um determinado tipo de mineralização, às vezes, encontra-se condicionado não só a um único, mas a mais de um tipo de feição tectônica.

Diante do exposto, a abordagem a ser feita a partir deste momento tem como princípio caracterizar e identificar esses tipos de ambientes presentes na crosta terrestre.

- I Depósitos associados às rochas máficas e ultramáficas plutônicas - os tipos de depósitos associados às rochas intrusivas máficas / ultramáficas correspondem a: Cr do tipo estartiforme (tipo Bushveld); Depósitos de cromita podiformes; Pt do tipo Bushveld e Stillwater; Pd do tipo Lac des Iles; Pt do tipo Alaskan; depósitos de Ni-Cu; Depósitos de Ti-Fe associados aos anortositos;
- II Depósitos Vulcanogênicos ou vulcanossedimentares de sulfetos maciços (VMS) – são as maiores fontes de Zn, Cu, Pb, Ag e Au, e significativas fonte para Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga e Ge. Alguns também contêm quantidades significativas de As, Sb e Hg. Eles são classificados de acordo com o conteúdo em metais base, conteúdo em ouro ou pela litologia da rocha encaixante. São basicamente divididos em três grupos: Cu-Zn, Zn-Cu e Zn-Pb-Cu de acordo com a proporção entre os três metais;
- III Depósitos associados aos carbonatitos - os carbonatitos representam complexos ultrabásicos-alcalinos que intrudem a crosta terrestre a partir de um mecanismo do tipo hot spot. De modo geral, os complexos carbonatíticos possuem formas aproximadamente circulares, dimensões e idades variáveis. Processos metassomáticos, denominados de fenitização, relacionados ao complexo transformam as rochas encaixantes (independentemente da composição química e mineralógica) em tipos alcalinos sieníticos. Aos complexos alcalinos ultrabásicos, no geral, associam-se micaperidotitos e micapiroxenitos, glimeritos, dunitos e carbonatitos, sienitos e traquitos;
- IV Depósitos associados à kimberlitos e lamproítos – atualmente se acredita que o diamante seja

originado no manto cabendo às rochas kimberlíticas e lamproíticas unicamente a função de transportá-las até a superfície. A presença de xenólitos mantélicos (peridotitos) e eclogíticos, com diamantes, reforça essa opinião. Kimberlito é uma rocha ígnea, ultrabásica, potássica, rica em voláteis que ocorre como pipes, diques e soleiras. Lamproíto é uma rocha ígnea ultrapotássica, peralca lina, rica em magnésio e constituída por flogopita titanífera, richterita, o livina forsterítica, diopsídio, sanidina e leucita;

- V Depósitos associados às rochas graníticas - as rochas graníticas representam, do ponto de vista petrológico, um grupo de rochas extremamente interessante com relação às suas interações com a evolução geológica e pelo fato delas atuarem como indicadoras dos diversos tipos de ambientes tectônicos presentes no planeta. Além disso, elas são importantes do ponto de vista metalogênico em virtude da significativa diversidade de mineralizações (Cu, Mo, Ta, Sn, W, Li, Be, Au, etc.) a elas associadas;
- VI Formação Ferrífera Bandada (banded iron formation - BIF) - correspondem a uma rocha sedimentar ou metassedimentar ( $\geq 15\%$  Fe) de origem química, vulcanoquímica ou bi-química finamente estratificada, apresentando camadas de óxidos, carbonatos, sulfetos ou silicatos de ferro ritmicamente alternadas com camadas diferenciadas destas (quartzosas, anfibólicas, quartzo cloríticas, etc.). No Brasil, as camadas ferríferas bandadas podem desenvolver depósitos de ferro economicamente exploráveis dos dois tipos. As jazidas de itabiritos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, relacionadas ao Supergrupo Minas, pertenceriam ao tipo Lago Superior e o depósito de Carajás ao tipo Algoma;
- VII Depósitos lateríticos - esses depósitos geneticamente relacionam-se aos processos intempéricos e desenvolvem-se geralmente em antigas superfícies de aplainamento, onde serão propiciadas as condições ideais para a lixiviação dos componentes indesejáveis. Exemplos de depósitos lateríticos Bauxita, Níquel Laterítico e Manganês;
- VIII Depósitos não lateríticos - são depósitos residuais normalmente relacionados às intrusões carbonatíticas em que as acumulações de P (apatita), Ti (anatásio), Nb (microlita), TR (monazita) e vermiculita dão-se pela alteração e lixiviação dos carbonatos dos carbonatitos. Os minerais que se encontram disseminados na rocha carbonática, são estáveis às condições intempéricas e após a remoção desta, acumulam-se formando, localmente, os depósitos

minerais;

- IX Depósitos Supérgenos - os processos supérgenos (confundidos normalmente com o intemperismo) são extremamente importantes em razão de propiciarem uma reconcentração das mineralizações a partir de um minério primário que, às vezes, encontra-se em concentrações (teores) antieconômicos. Desta forma, esses processos podem viabilizar a lavra de determinados tipos de bens minerais. As condições de clima tropical (quente e úmido) favorecem a atuação desse mecanismo reconcentrador. O minério supergênico ocorre em duas regiões distintas: a zona oxidada e a zona supergênica ou de cementação, diretamente relacionada à circulação das águas subterrâneas;
- X Depósitos Sedimentares - os depósitos sedimentares constituem um grande grupo que, normalmente, apresentam mineralizações, composicionalmente, pouco complexas e, mineralogicamente, menos variadas. Quase sempre constituem depósitos bastante extensos, distribuídos por grandes áreas e com reservas minerais bastante significativas. Podem ser classificados em singenéticos e epigenéticos;
- XI Depósitos Sedimentogênicos de Celestita - a celestita pode ocorrer em fissuras de veios de origem hidrotermal, mas comumente ocorre como veios, nódulos e como níveis em rochas sedimentares, particularmente rochas calcárias e anidritas. É encontrada em cristais e em massas granulares, frequentemente com cor azulada, mas também pode ser ocorrer marrom ou preta;
- XII Depósitos Sedimentogênicos de Barita - a barita (sulfato de bário), quando pura contém cerca de 65,7% de BaO e 34,3% de SO<sub>2</sub>. É formada durante a deposição, mas os depósitos importantes são compostos por massas residuais formadas durante o intemperismo de rochas contendo barita, ou depósitos em veios através da subida da água;
- XIII Depósitos Sedimentogênicos de Magnesita - geralmente a magnesita ocorre em duas formas físicas: (1) criptocristalina, magnesita amorfa ou microcristalina contendo baixa concentração de ouro, e (2) cristalina, principalmente macrocristalina ou sparry magnesita contendo alta concentração de ouro. Os ambientes geológicos que condicionam a formação da magnesita são muito diferentes;



XIV Depósitos Sedimentogênicos de Fluorita - a fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) é um mineral que ocorre em quase todos os tipos de depósitos e forma-se em todas as temperaturas, sendo raro ocorrer em grandes quantidades. A maioria dos depósitos de fluorita ocorre em veios mesotermal ou eptermal. É comum a fluorita ocorrer associada à galena, pirita, esfarelita, quartzo e barita. Alguns depósitos de fluorita sedimentar estão relacionados à base de séries transgressivas.



## 5. MINÉRIOS COMO RECURSOS NATURAIS

Recursos naturais são todos os elementos disponibilizados pela natureza que podem ser utilizados pelas atividades humanas, a exemplo das florestas, o solo, a energia solar, o movimento dos ventos, os animais, os vegetais, os minérios, a água e muitos outros, uma vez que a sociedade os utiliza economicamente.

Historicamente, o ser humano mantinha uma relação de equilíbrio com a natureza. Porém, com o tempo, foram sendo desenvolvidas técnicas de acúmulo e plantio que permitiram ao homem que fizesse maiores transformações sobre o meio e espaço geográfico.

Existem diferentes formas de aproveitar os recursos naturais: agricultura, caça, pesca, extrativismo mineral e vegetal, entre outras.

Os recursos naturais são classificados em renováveis e não renováveis:

- Os recursos naturais renováveis, como o próprio nome indica, são aqueles que são inesgotáveis (como a luz solar e os ventos) ou aqueles que possuem capacidade de renovação, seja pela natureza (a água, por exemplo), seja pelos seres humanos (os vegetais cultivados na agricultura);
- Os recursos naturais não renováveis são aqueles que não possuem capacidade de renovar-se ou que a renovação é muito lenta, levando milhares de anos para ser concluída. É o caso do petróleo, que leva um longo período geológico para se formar, mas é retirado rapidamente graças ao desenvolvimento de técnicas específicas. Os minérios em geral (ouro, cobre, ferro e outros) são exemplos de recursos não renováveis que podem esgotar-se no futuro.

Vale ressaltar que, até mesmo alguns recursos renováveis poderão se tornar escassos no futuro, caso não seja devidamente utilizados. O melhor exemplo é a água que, mesmo se renovando, pode acabar, uma vez que o ser humano consome em sua grande maioria água potável. O mesmo vale para o solo que, caso não seja preservado, pode se tornar improdutivo e infértil.

## 5.1 EXTRAÇÃO DE MINÉRIOS

Os minérios são indispensáveis para a manutenção da atividade industrial, tendo em vista que produtos como automóveis, máquinas, tratores, cimento, entre outros, são fabricados a partir de matérias-primas vindas dessa extração.

A exploração mineral se tornou mais evidente a partir da Primeira Revolução Industrial, quando a produção em massa intensificou a extração de minérios para abastecer a crescente indústria. Com o crescimento populacional mundial, houve a necessidade de retirar da natureza um volume cada vez maior desse tipo de recurso.

A atividade mineradora e o garimpo promovem impactos diretos na natureza, levando a deterioração do ambiente. Tanto o garimpo quanto a mineração extraem recursos que se encontram no solo ou no subsolo, de onde são retirados diversos tipos de minérios (ouro, prata, minério de ferro, estanho, bauxita e muitos outros).

Minérios, como o carvão e o petróleo, são utilizados como recursos energéticos e matéria-prima. Atualmente é impossível imaginar que a sociedade deixe de explorar os minérios existentes ao longo da litosfera terrestre, uma vez que são fundamentais para o desenvolvimento industrial.

No Brasil, a extração de pedras preciosas ou semipreciosas é desenvolvida por uma atividade denominada de garimpo. Nela são obtidos ouro, diamante, esmeralda, cassiterita e etc. A garimpagem geralmente é executada de forma tradicional nas margens de rios, em locais que recebem grande volume de sedimentação e em planícies fluviais, principalmente nas Bacias hidrográficas do Amazonas e do Paraguai.

Depois que se encontra a jazida, o processo de exploração consiste em retirar o material útil (pedaços de rocha com porções do minério), quebrá-lo em pedaços de tamanho comercial, limpar e colocar num trem ou outro meio de transporte que o leve ao ponto de distribuição mais próximo. Seria simples, se o tal material útil não fosse composto de rochas de milhares de toneladas, misturadas com terra e vários tipos de outros materiais, acumulados durante a formação da rocha.

Etapas de extração de minérios:

- I Lavra - a primeira etapa de mineração é a extração propriamente dita, que pode ser feita com escavadeiras, tratores que raspam a rocha ou explosivos, quando o minério se encontra longe da superfície;
- II Beneficiamento - etapa que consiste no transporte do material lavrado até a zona de beneficiamento desse material, onde ocorre a primeira fase de separação do que é economicamente viável do economicamente inviável;
- III Estéril - durante a etapa de beneficiamento e separação do material alvo a ser comercializado, o que sobra é denominado de estéril, que é a porção sem valor econômico, geralmente empilhada/estocada nas proximidades da mina;
- IV Britagem - o minério bruto chega à usina em grandes blocos, que são quebrados em máquinas de britagem. São várias as subetapas que envolvem a britagem; que esmagam os pedaços de minério até eles ficarem com cerca de 2 centímetros de diâmetro, o tamanho adequado para a separação;
- V Separação - conforme o minério vai saindo da máquina de britagem, ele cai em uma peneira (com telas de diferentes espessuras), que libera a passagem dos pedaços de até 2 centímetros e lança os maiores de volta à britadeira. O peneiramento é feito com jatos de água, que ajudam a escoar e separar o que realmente interessa daquilo que não tem valor econômico;
- VI Empilhadeira - depois de limpo, peneirado e separado por tamanho, o minério em grãos segue para as empilhadeiras. Como o nome sugere, uma máquina com pás gigantes vai descarregando o minério em pilhas, até formar uma verdadeira montanha de armazenagem;
- VII Distribuição - etapa que consiste no transporte do minério da mina para outros pontos de distribuição para serem comercializados.

## 5.2 TIPOS DE MINAS

Historicamente, a mineração surgiu quando os predecessores dos seres humanos começaram a recuperar determinados tipos de rochas para as talhar e fabricar ferramentas. Ao princípio, a mineração implicava simplesmente a atividade, muito rudimentar, de desenterrar o sílex ou

outras rochas. À medida que esvaziavam os jazigos da superfície, as escavações faziam-se mais profundas, até que começou a mineração subterrânea.

A mineração sempre implica a extração física de materiais da superfície ou subsuperfície terrestre, com frequência em grandes quantidades para recuperar só pequenos volumes do produto desejado.

De maneira geral, a mineração tem como finalidade obter minerais ou combustíveis. Um mineral pode ser definido como uma substância de origem natural com uma composição química definida e propriedades previsíveis e constantes. Os combustíveis mais importantes são os hidrocarbonetos sólidos, que, de maneira geral, não se definem como minerais. Um recurso mineral é um volume terrestre com uma concentração anormalmente elevada de um mineral ou combustível determinado. Converte-se em uma reserva se dito mineral, ou seu conteúdo (um metal, por exemplo), pode ser recuperado mediante a tecnologia do momento com um custo que permita uma rentabilidade razoável do investimento na mina. Geralmente, diz-se que uma mina é explotável quando o investimento para a exploração é inferior ao benefício obtido pela comercialização do mineral.

Os depósitos minerais podem adotar quase qualquer forma. Podem aflorar à superfície ou estar a grande profundidade. Em algumas das minas de ouro da África do Sul, a extração começa a profundidades muito superiores aos 1.500 m e baixa até mais de 3.500 metros. Nas minas, pode ser recuperado material pouco compacto não consolidado, como os sedimentos do leito de um rio, ou minerais situados em rocha maciça mais dura que qualquer concreto.

Existem quatro sistemas fundamentais de extração mineira: a) mineração de superfície (que inclui as pedreiras), b) mineração subterrânea, c) mineração por dragagem (que inclui a mineração submarina) e d) mineração por poços de perfuração. A seguir descreve-se a cada um destes sistemas. Dentro de cada um, os pontos fundamentais permanecem constantes, mas os detalhes variam segundo o material extraído, a dureza da rocha e a geometria do depósito.

A **mineração de superfície** é o setor mais amplo da mineração e utiliza-se para mais de 60% dos materiais extraídos. Pode ser empregado para qualquer material. Os diferentes tipos de mina de superfície têm diferentes nomes, e pelo geral, costumam estar associados a determinados materiais extraídos. As minas a céu aberto costumam ser de metais. Nas explorações ao descoberto, costuma-se extrair carvão. As pedreiras costumam dedicar à extração de materiais

industriais e de construção, e nas minas de plácer costumam-se obter minerais e metais pesados (com frequência ouro, mas também prata, estanho e outros).

Minas a céu aberto são minas de superfície que adotam a forma de grandes buracos, cada vez mais profundos e largos, apresentando uma forma mais ou menos circular. A extração começa com a perfuração da rocha. Esta se carrega em caminhões com grandes pás elétricas ou hidráulicas, ou com escavadoras de carga frontal, e se retira do fosso. Um avanço da mineração moderna consiste em que as pás descarreguem diretamente em uma trituradora móvel, desde a que se saca da mina a rocha triturada em fitas transportadoras.

O material classificado como mineral se transporta à planta de recuperação, enquanto o classificado como desperdício se verte em zonas atribuídas para isso. Às vezes existe uma terceira categoria de material de baixa qualidade que pode ser armazenado, caso no futuro possa ser rentável o seu aproveitamento.

Muitas minas começam como minas de superfície e, quando chegam a um ponto em que é necessário extrair demasiado material de desperdício para cada tonelada de mineral obtida, se começam a utilizar métodos de mineração subterrânea.

As explorações ao descoberto empregam-se com frequência, embora não sempre, para extrair carvão e linhito. A principal diferença entre estas minas e as de céu aberto é que o material de desperdício extraído para descobrir a camada de carvão, ao invés de se transportar a zonas de descarte longínquas, se volta a deixar na cavidade criada pela exploração recente. Portanto, as minas vão avançando pouco a pouco, recheando o terreno e devolvendo à superfície, na medida do possível, o aspecto que tinha antes de começar a extração. Ao invés de uma mina a céu aberto, que costuma se fazer cada vez maior, uma exploração ao descoberto atinge seu tamanho máximo em muito pouco tempo. Quando se completa a exploração, o fosso que fica pode ser convertido em um lago ou se recheia com o material procedente da escavação realizada ao começar a mina.

As pedreiras são bastante similares às minas a céu aberto. A diferença é que os materiais extraídos costumam ser minerais industriais e materiais de construção. De modo geral, quase todo o material que se obtém da pedreira se transforma em algum produto, pelo que há bastante menos material de desperdício. Isto significa que ao final da vida útil da pedreira fica uma grande escavação. Não obstante, devido aos baixos preços que costumam ter os produtos da maioria das pedreiras, estas têm que estar situadas relativamente próximo dos mercados consumidores.

Se não for assim, as despesas de transporte podem fazer com que a pedreira não seja rentável. Também supõe que as cavidades criadas por muitas pedreiras adquirem um verdadeiro valor como vertedouros de resíduos urbanos. Nas cercanias das grandes cidades, pode ser que a escavação criada pela pedreira tenha um valor superior ao do material extraído.

A mineração de plácer implica a escavação de depósitos de aluvião pouco compactos, como areia ou argila. Os minerais valiosos separam-se dos materiais de aluvião mediante um sistema de peneiras e lavagens. Entre os minerais de plácer figuram metais como o ouro, a prata ou o estanho e gemas como diamantes e rubis.

As minas costumam estar situadas nos leitos dos rios ou em suas proximidades, não obstante, os depósitos de praias, os sedimentos do leito marinho e os depósitos dos glaciares também entram nesta categoria. A natureza dos processos de concentração que dão local aos pláceres faz com que neste tipo de minas se obtenham materiais densos e já libertados da rocha circundante. Isso faz com que o processo de extração seja relativamente simples e se limite ao movimento de terras e ao emprego de sistemas de recuperação física, não química, para obter o conteúdo útil. O material extraído pode ser depositado em zonas já explodidas à medida que vai avançando a mina, ao mesmo tempo que se recupera a superfície.

A **mineração subterrânea** pode ser subdividida em mineração de rocha “macia” e mineração de rocha dura. Os engenheiros de minas falam de rocha “macia” quando não exige o emprego de explosivos no processo de extração. Em outras palavras, as rochas “macias” podem ser cortadas com as ferramentas que fornece a tecnologia moderna. A rocha “macia” mais comum é o carvão, mas também o são o sal comum, o potássio, a bauxita e outros minerais. A mineração de rocha dura utiliza os explosivos como método de extração.

A **mineração por dragagem** de águas pouco profundas é com toda probabilidade o método mais barato de extração de minerais. Por águas pouco profundas entendem-se águas de até 65m. Nessas condições, podem ser recuperados sedimentos pouco compactos empregando dragas com cabeças de corte situados no extremo de canos de sucção, ou com correntes de escavação que gira ao redor de um braço.

A mineração oceânica é um método recente. Na atualidade, realiza-se nas plataformas continentais, em águas relativamente pouco profundas. Entre suas atividades, estão a extração de diamantes (em frente à costa de Namíbia e Austrália) e de ouro (em diversos pláceres de todo



mundo).

Com relação à atividade mineira de fundos marinhos profundos, a tecnologia ainda se encontra em fase de experimentação.

Na **mineração por poços de perfuração**, há numerosos materiais que podem ser extraídos sem necessidade de escavar galerias e túneis. Assim ocorre com os materiais líquidos como o petróleo e a água. Também podem ser recuperado materiais solúveis em água fazendo passar água por eles através do poço de perfuração e extraindo a dissolução. Este sistema denomina-se extração por dissolução. Também pode ser empregado um solvente que não seja água para dissolver algum mineral determinado, nesse caso costuma falar de lixiviação *in situ*. O enxofre é um caso especial: como funde a uma temperatura bastante baixa (108°C) é possível liquefazê-lo esquentando acima de dita temperatura e bombear à superfície o enxofre fundido. Na atualidade, também existem métodos para recuperar materiais insolúveis através de poços de perfuração. Alguns sólidos, como o carvão, são o suficientemente macios ou estão o suficientemente fraturados para poder ser cortados por um jato de água a pressão. Se são rompidos em pedaços pequenos, podem ser bombeados à superfície em forma de lodo através de um poço de perfuração. Naturalmente, este método também permite recuperar sólidos que já se encontram em forma de partículas finas pouco compactas. Na Hungria, está-se realizando experimentos sérios para extrair carvão e bauxita mediante este método.

### 5.3 PROCESSOS DA MINERAÇÃO

O processamento mineral ou tratamento de minérios consiste de uma série de processos que têm em vista a separação física dos minerais úteis da ganga (a parte do minério que não tem interesse econômico e que é rejeitada) e a obtenção final de um concentrado, com um teor elevado de minerais úteis. Os métodos utilizados podem ser físicos ou químicos e podem ser divididos de forma aproximadamente sequencial em: Fragmentação primária, Granulação, Moagem, Classificação (pode estar incluída entre os vários tipos de fragmentação e concentração) e Concentração.

O produto obtido na fase final de concentração é o produto final da atividade de uma mina, sendo vendido por um preço estabelecido de acordo, sobretudo mas não só, com o teor de metal

que contem.

## 6. RECURSOS MINERAIS

### NO BRASIL

#### 6.1 O BRASIL

O território brasileiro é rico em minérios, sendo um dos maiores exploradores do mundo, junto à Rússia, Estados Unidos, Canadá, China e Austrália. Isso foi possível em razão de investimentos que propiciaram o crescimento dessa atividade nas últimas décadas.

Grande parte das empresas mineradoras não é genuinamente brasileira, tendo em vista que muitas são associadas a outras empresas estrangeiras, oriundas principalmente dos Estados Unidos, Canadá, Japão e Europa. As empresas estrangeiras inseriram tecnologias na extração de minérios e promoveram um significativo aumento na produção.

Para consolidar os projetos de mineração, foram necessários imensos investimentos por parte das empresas mineradoras e também pelo governo brasileiro, o qual criou infraestrutura para sustentar tal empreendimento, como construção de hidrelétricas, ferrovias e portos. Tudo isso para facilitar a extração e o fluxo da produção.

As empresas estrangeiras de mineração instalaram-se no Brasil atraídas por incentivos oferecidos pelo governo, como recursos minerais abundantes, incentivos fiscais, financiamentos bancários, descontos em pagamentos de energia e impostos.

Atualmente, os principais minérios extraídos no Brasil são: **ferro, bauxita (alumínio), manganês e nióbio**. O Brasil é o segundo maior produtor de **ferro** do mundo com cerca de 235 milhões de toneladas. Ele é extraído em jazidas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais; na Serra dos Carajás, no Pará; e no Maciço do Urucum, no Mato Grosso do Sul. O ferro é o principal componente na fabricação do aço.

Na produção de **bauxita**, o Brasil é o terceiro em nível mundial, com uma produção de aproximadamente 17,4 milhões de toneladas. Sua extração acontece, exclusivamente, na Serra do Oriximiná, no estado do Pará. Esse minério é usado na fabricação do alumínio, importante

matéria-prima na produção de eletrodomésticos, material elétrico, entre muitos outros.

O país é o terceiro produtor mundial de **manganês** com uma produção aproximada de 1,3 milhão de toneladas ao ano. Sua extração ocorre, especialmente, em jazidas situadas na Serra dos Carajás, Quadrilátero Ferrífero e Maciço do Urucum. Grande parte da produção tem como destino o mercado externo, sendo absorvida principalmente pelos Estados Unidos, Europa e Japão. O manganês tem seu uso vinculado à fabricação do aço e de diversos produtos químicos.

O território brasileiro também é rico em **nióbio**, com uma produção anual de 38 mil toneladas, volume que coloca o país em primeiro lugar no mundo na extração desse minério. As reservas de nióbio encontram-se basicamente em Minas Gerais e Goiás. Esse minério é muito importante, sendo usado na fabricação de turbinas de aviões, aparelhos de ressonância magnética e supercomputadores.

## O MINÉRIO DE FERRO

Está entre os cinco principais itens exportados pelo Brasil. É o mineral mais explorado. O minério de ferro bruto (hematita, itabirita, magnetita, pirita) possui grande importância econômica mundial porque é a matéria-prima básica do aço (liga) utilizado nas estruturas de indústrias, edifícios, hotéis, estádios, aeroportos, pontes e shoppings, etc., além de inúmeros outros usos.

Os estados de Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero) e Pará (serra dos Carajás) possuem as maiores e principais reservas. A maior parte da produção é exportada para os Estados Unidos, Japão e União Europeia.

## O MINÉRIO DE MANGANÊS

Assim como o minério de ferro, o manganês é o elemento básico para a produção do aço. É de fundamental importância para a indústria siderúrgica porque age como desoxidante e dessulfurante.

A região Norte concentra mais da metade da produção nacional de manganês e exporta a maior parte. As maiores reservas estão na serra dos Carajás (PA), no Quadrilátero Ferrífero (MG) e no maciço do Urucum (MS). A maior produção ocorre no Amapá (cerca de 60% do

total produzido no país), mas as reservas localizadas na serra do Navio. Nesse estado, estão praticamente esgotadas.

Mais uma vez o Brasil está entre as maiores produções mundiais. Da bauxita, é extraído o alumínio, metal muito importante por ser utilizado na fabricação de carros, aviões, portas, janelas, painéis, etc. É um grande condutor de eletricidade e anticorrosivo.

A principal e maior jazida nacional encontra-se no vale do rio Trombetas, afluente do rio Amazonas, em Oriximiná, no Pará. A maior parte da bauxita extraída no país é exportada para o Canadá e a menor parcela é destinada ao mercado interno.

## O OURO

O Brasil está entre os principais produtores mundiais (África do Sul, Estados Unidos, Austrália, Canadá, China, Rússia, Uzbequistão e Brasil, respectivamente) e entre os que têm as maiores reservas mundiais (África do Sul, Estados Unidos, Austrália, Canadá, China, Rússia, Uzbequistão e Brasil, respectivamente). Minas Gerais é o maior produtor nacional. Em segundo lugar, vem o estado do Pará.

Em 1996, foi anunciada a descoberta de uma das maiores jazidas de ouro do mundo. Está em Serra Leste, ao lado de Serra Pelada, no Pará. Será explorada pela Companhia Vale do Rio Doce.

O ouro é utilizado em joias, tratamento dentário, em muitos setores industriais. A busca desse recurso mineral foi um dos fundamentos da economia mercantilista colonial brasileira (séculos XVII e XVIII).

## O NIÓBIO

É um metal utilizado na composição de ligas metálicas empregadas na fabricação de fios supercondutores, turbinas de aviões, entre outros usos. O Brasil é responsável por mais de 90% da produção mundial desse mineral. A maior reserva está em Minas Gerais, próximo à cidade de Araxá. A parte que não é utilizada internamente é exportada para o Japão, para a América do Norte e para a União Europeia. O Brasil fornece o principal produto industrializado ligado a esse mineral: o ferro-nióbio.

## OUTROS MINERAIS

O Brasil ainda produz chumbo (extraído da galena, em Minas Gerais e Tocantins), cobre (condutor elétrico explorado na Bahia e no Rio Grande do Sul), níquel (extraído da guamierita em Goiás) e tungstênio (extraído da xilita no Rio Grande do Norte).

O estanho é muito utilizado em liga com chumbo para realizar a solda usada na eletrônica, em objetos de decoração e é muito resistente à oxidação. O estado do Amazonas é o principal produtor nacional, seguido dos estados do Amazonas e do Pará. O estado de São Paulo é o maior consumidor interno. A Argentina e os Estados Unidos são nossos maiores importadores.

## MINERAIS NÃO-METÁLICOS

Assim são chamados os minerais cujo principal componente não é um metal. Tem usos diversos, como material de construção (calcário), na indústria química (potássio) e na alimentação (sal de cozinha e água). Não são matéria-prima para as indústrias siderúrgicas.

Nossos principais recursos minerais não metálicos são: sal de cozinha, calcário e alguns minerais radioativos. O Brasil ocupa o nono lugar entre os maiores produtores mundiais de sal de cozinha.

Os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Rio de Janeiro são, respectivamente, os maiores produtores nacionais de sal. O porto de Areia Branca, no Rio Grande do Norte, é o principal terminal exportador de sal do Brasil.

## O CALCÁRIO

É uma rocha sedimentar constituída principalmente de carbonato de cálcio. É usado na fabricação de cimento, cal, vidro e também como mármore (processo de metamorfismo). O Brasil possui calcário em abundância. Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia (bacia do rio São Francisco) são seus maiores produtores.

## MINERAIS RADIOATIVOS

O Brasil explora, entre outros, urânio e tório, dois minerais radioativos usados na produção de energia nuclear. O urânio, hoje escasso, é encontrado em Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero e

Poços de Caldas) e no Ceará. Recentemente, foi localizada no Pará uma grande reserva de urânio, na região da cidade de Santarém. Calcula-se que seja a maior do mundo. O tório (Importante combustível de reatores nucleares), também escasso, é encontrado principalmente no Espírito Santo e no Rio de Janeiro.

## 6.2 A BAHIA

A Bahia é o mais meridional dos Estados da Região Nordeste do Brasil. Faz fronteira com outros oito estados e possui um litoral com mais de 850 km, onde se encontram inúmeras praias paradisíacas e diversos sítios ecológicos de grande beleza natural. As temperaturas médias anuais oscilam de 19°C a 30° C. A Bahia é o quinto maior estado brasileiro (567.295 km<sup>2</sup>, a mesma área da França), é o estado mais populoso do Nordeste, quarto do Brasil (13,08 milhões de habitantes). Salvador, capital do terceiro maior estado do país, com 2,1 milhões de habitantes. O Produto Interno Bruto do estado é da ordem de R\$ 76,08 bilhões, dos quais 11,1% provêm do setor agrícola, 36,65% da indústria e 52,25% de outros serviços.

Os principais itens de exportação incluem produtos petroquímicos, cátodos de cobre refinado, óleo combustível, ferro-ligas (Fe-Mn, Fe-Cr, Fe-Si-Cr), ligas de alumínio, pedras preciosas e semipreciosas, mármore e granitos, cacau e produtos derivados de cacau, frutas frescas, sucos e polpa, papel, tabaco (fumo), sisal, óleos vegetais, massa e extrato de tomate, café, soja em grão, couro curtido e tratado, fios e linha de algodão e vinho (Figura 6.1).

O setor mineral baiano tem sido destaque dentre as atividades acompanhadas pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE) e pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). Em 2013, o estado da Bahia foi líder na exploração de urânio, cromo, salgema, magnesita, talco e barita, com extração distribuída em 169 municípios e exportando para mais de 50 países.

De acordo com SDE (2015), o Estado vem obtendo êxito na criação de condições atrativas para as mineradoras nacionais e estrangeiras, através de planejamento e investimentos em infraestrutura a exemplo do Porto Sul e Ferrovia de Integração Oeste-Leste, que estão sendo construídos para propiciar canais de escoamento da produção mineral nos próximos anos. Estas ações têm levado a um crescimento constante na comercialização de bens minerais aqui produzidos, tendo alcançado em 2014 a marca de R\$ 2,6 bilhões ou 2% do PIB estadual. A

SDE também teve papel destacado nas discussões do Projeto de Lei do Novo Marco Regulatório da Mineração, que propiciarão novos investimentos para os próximos anos. Em 2014, o setor mineral baiano continuou sentindo os efeitos da queda dos preços das commodities minerais no mercado internacional, sendo diretamente impactadas a comercialização do ouro, níquel, cobre e o ferro. Mesmo com a volatilidade dos mercados, a Bahia persistiu como alvo de interesse das mineradoras, que assinaram com o estado cinco novos Protocolos de Intenções para a exploração de ferro, gipsita, areia e argilas, que juntos têm investimentos estimados em R\$ 941 milhões, prevendo-se 650 empregos diretos.

Conforme SDE (2015) destacaram as outorgas das Portarias de Lavra, pelo DNPM, para exploração de ferro em Caetité pela Bamim – Bahia Mineração, ouro em Santaluz, pela Yamana Gold e a entrada em produção do vanádio, com a empresa canadense Largo Resources.

Em 2014, a Bahia ocupou a 2ª posição nacional com 2.094 processos protocolados, ficando atrás de Minas Gerais (3.059) e a frente de São Paulo (1.224). No estado, foram 469 requerentes, para 51 substâncias, especialmente ferro (21%), granito (16 %), areia (13%) e fosfato (8%) em 270 municípios, com destaque para Pilão Arcado, Campo Alegre de Lourdes, Remanso, Curaçá, Camamu e Medeiros Neto.

Aos trabalhos de pesquisa, prospecção e exploração mineral estão atrelados títulos ambientais concedidos pelo INEMA, sendo publicadas 126 Licenças Ambientais diversas, licenciando 81 empresas em 70 municípios para exploração de 36 substâncias minerais. Vale lembrar que, muitas outras licenças foram outorgadas por prefeituras, as quais são credenciados pelo INEMA a realizar licenciamento ambiental.



Figura 6.1: Mapa dos principais Recursos Minerais do Estado da Bahia.



Fonte: IBGE (2012).



# 7. IMPACTOS DA MINERAÇÃO

A atividade mineradora consiste na extração de riquezas minerais dos solos e das formações rochosas que compõem a estrutura terrestre. Trata-se, assim, de uma das mais importantes atividades econômicas tanto no Brasil como em todo o mundo, com destaque para o petróleo e o carvão mineral. No entanto, é preciso ressaltar que essa prática costuma gerar sérios danos ao meio ambiente.

Os impactos ambientais da mineração são diversos e apresentam-se em diversas escalas: desde problemas locais específicos até alterações biológicas, geomorfológicas, hídricas e atmosféricas de grandes proporções. Portanto, conhecer esses problemas causados e a minimização de seus efeitos é de grande necessidade para garantir a preservação dos ambientes naturais.

Entre as principais alterações nas paisagens e os impactos gerados pela mineração, podemos destacar:

- Remoção da vegetação em todas as áreas de extração;
- Poluição dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) pelos produtos químicos utilizados na extração de minérios;
- Contaminação dos solos por elementos tóxicos;
- Proliferação de processos erosivos, sobretudo em minas antigas ou desativadas que não foram reparadas pelas empresas mineradoras;
- Sedimentação e poluição de rios pelo descarte indevido do material produzido não aproveitado (rochas, minerais e equipamentos danificados);
- Poluição do ar a partir da queima ao ar livre de mercúrio (muito utilizado na extração de vários tipos de minérios);
- Mortandade de peixes em áreas de rios poluídos pelos elementos químicos oriundos de minas;
- Evasão forçada de animais silvestres previamente existentes na área de extração mineral;

- Poluição sonora gerada em ambientes e cidades localizados no entorno das instalações, embora a legislação vigente limite a extração mineral em áreas urbanas atualmente;
- Contaminação de águas superficiais (doce e salgada) pelo vazamento direto dos minerais extraídos ou seus componentes, tais como o petróleo.

Diversos estudos ambientais indicam que muitos dos materiais gerados pela mineração são rejeitos, estes muitas vezes erroneamente descartados. Na produção de ouro, por exemplo, 99,9% de todo material produzido não é aproveitado, sendo muitas vezes depositado de forma deliberada no leito de rios ou em áreas onde as águas das chuvas escoam para a sedimentação de cursos d'água. Na extração de cobre, por sua vez, menos de 1% do que é extraído costuma ser devidamente aproveitado, ao passo que o restante é lixo.

A contaminação por compostos químicos, com destaque para o mercúrio (Hg), também é um dos principais danos ambientais provocados pela mineração. Esses compostos são utilizados para a separação de misturas, retirada dos minerais e catalisação de reações. Após o processo, costumam ser descartados, o que ocorre muitas vezes de maneira indevida, principalmente em localidades de limitada fiscalização, ou até em minas ilegais, que, além de tudo isso, costumam empregar trabalho análogo ao escravo ou infantil. Essa realidade, infelizmente, é muito comum em países como o Brasil e em territórios dependentes economicamente, a exemplo de muitas nações do continente africano.

Em 1958, a empresa francesa Penarroya Oxide S.A., do grupo Rothchild, que atualmente é uma liderança mundial na produção de óxidos de chumbo destinados à fabricação de baterias, cristais, plásticos e tubos de televisão, criou a subsidiária Companhia Brasileira de Chumbo - COBRAC para atuar no Brasil. Em 1960, a COBRAC iniciou suas atividades no Município de Santo Amaro, produzindo lingotes de chumbo a partir do minério trazido da mina subterrânea localizada no Município de Boquira, na Chapada Diamantina-BA (Portela *et al.*, 2010). Na época, a legislação brasileira ainda não havia estabelecido critérios, conceitos e regulamentações com o intuito de evitar e, ou minimizar impactos ambientais decorrentes da implantação de indústrias. Em 1989, empresa foi vendida e incorporada à empresa Plumbum Mineração e Metalúrgica Ltda., pertencente ao grupo TREVO, atual proprietária. De 1960 a 1993, período de funcionamento dessa indústria, localizada a menos de 300 m do Rio Subaé, houve contaminação do rio através de diversas vias como emissão de material particulado atmosférico, por transbordo

da lagoa de rejeitos e por lançamento de material contaminado diretamente nas águas desse rio (Anjos & Sánchez, 2001). Estima-se que mais de 250.000 toneladas de cádmio (Cd) tenham sido lançadas no rio Subaé e pelo menos 150.000 toneladas de Cd e 1.152 toneladas de SO<sub>2</sub> tenham sido lançadas na atmosfera (Machado *et al.*, 2003). Já na década de 1970 um estudo pioneiro sobre a contaminação por metais em um tributário da Baía de Todos os Santos (Reis, 1975) mostrou que as concentrações de Cd e Pb nas águas do Rio Subaé excediam os limites preconizados pela Organização Mundial da Saúde em, respectivamente, 8 e 16 vezes (Hatje & Andrade, 2009). A presença de chumbo e cádmio nos sedimentos e em frutos do mar, na população local, em animais e em plantas tem sido identificada em diversos estudos (Anjos & Sánchez, 2001; Carvalho *et al.*, 2003) na região de Santo Amaro.

As pressões jurídicas e institucionais em prol de ações efetivas da proteção do meio ambiente e indenização começaram a se avolumar contra a empresa a partir da década de 1980, (Di Giulio, 2010). As atividades da empresa foram encerradas na década de 1990 motivada pelos baixos preços dos metais básicos no mercado internacional, pelo declínio dos teores de chumbo tanto no minério como nas reservas de pequeno porte e pelo alto custo operacional. A persistência, a toxicidade potencial e a biodisponibilidade dos metais tóxicos representam grande ameaça para a biodiversidade de ambientes aquáticos e dos manguezais (Nigam *et al.*, 2009) uma vez que os metais tendem a acumular nos solos, impondo toxicidade aguda ou crônica aos organismos bentônicos; bem como à saúde humana por meio do consumo de organismos sedimentares e peixes (Marchand *et al.*, 2011; Lacerda, 1998). Esses impactos ambientais e socioeconômicos nos manguezais podem resultar na supressão ou degradação e modificação da paisagem e saída de populações locais (Schaeffer-Novelli, 2002).

Diante dessas considerações, é importante mencionar que a atividade mineradora é, de toda forma, de vital importância para as sociedades. Mas isso não significa, no entanto, que ela deva ser realizada de maneira não planejada e sem a devida fiscalização de suas instalações. É preciso, pois, promover medidas para o correto direcionamento do material descartado e a contenção da poluição gerada pelos elementos químicos. Além disso, torna-se necessário pensar na utilização sustentável dos recursos minerais a fim de garantir a sua existência para as gerações futuras.



## 8. REFERÊNCIAS

- BELL, F. G.; DONNELLY, L. J. **Mining and its Impact on the Environment**. London: CRC Press, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.: il. ISBN 85-85864-19-2
- GROTZINGER, J.; JORDAN, TOM. **Para entender a Terra**. 6. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PRESS, F; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4. ed. Tradução Rualdo Menegat. Porto Alegre: Artmed, 2006. 656 p. il.
- SDE, Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia. **Revista Desempenho do Setor Mineral: resultados, oportunidades e perspectivas**. 2015.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 11 th ed. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. Washington: U.S. Gov. Print Office, 2010.
- TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. 2. Ed. – São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.



Ministério da Educação



**CAPES**



Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia



*Superintendência de  
Educação Aberta e a Distância*

ISBN 978-855971023-6



9

788559

710236