

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAVENI



FUNDAMENTOS DA GEOLOGIA

GUARULHOS – SP

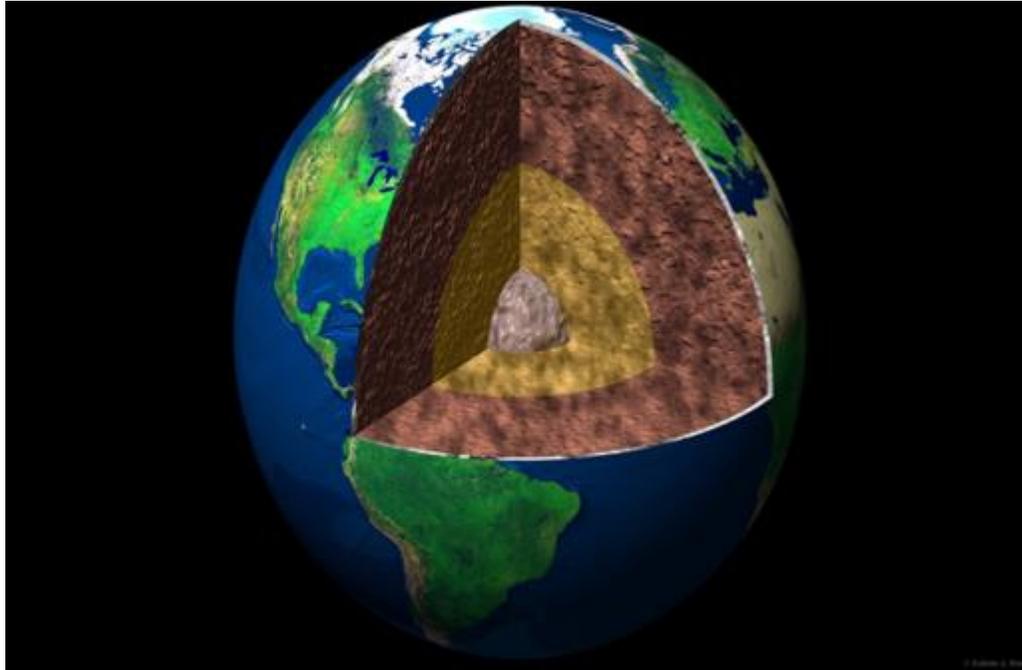
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO À GEOLOGIA.....	4
1.1	O que é Geologia?.....	4
1.2	Breve Histórico da Geologia	5
1.3	Divisão da Geologia.....	8
1.4	Geologia teórica ou geral.....	9
1.5	Escala de tempo geológico.....	10
2	CONCEITOS BÁSICOS SOBRE A TERRA E O SEU INTERIOR	12
2.1	Conheça mais sobre o planeta Terra.....	12
2.2	Campo Magnético.....	14
2.3	Idade da Terra	15
2.4	Estrutura Geológica	15
2.5	Núcleo.....	15
2.6	Manto.....	16
2.7	Crosta terrestre.....	16
2.8	Atmosfera	17
2.9	Origem da Atmosfera.....	18
3	O ESTUDO DA TERRA	19
3.1	Ondas de Volume	21
3.2	Ondas de Superfície.....	23
4	DINÂMICA INTERNA E EXTERNA DA TERRA.....	24
4.1	Dinâmica interna.....	24
4.2	Dinâmica externa.....	25
5	ESCALA GEOLÓGICA DO TEMPO	26
6	ANÁLISE DA ESTRUTURA DA LITOSFERA, DESTACANDO-SE OS FENÔMENOS GEOLÓGICOS FORMADORES DAS ROCHAS.....	28
6.1	O que é litosfera?	28
6.2	Qual é a diferença entre litosfera e crosta terrestre?	30
6.3	Ciclo das Rochas.....	31

7	DEFORMAÇÃO DAS ROCHAS - FALHAS E DOBRAS	33
7.1	Deformação das rochas e o seu comportamento mecânico	33
8	ESTRUTURAS GEOLÓGICAS ORIGINADAS POR DEFORMAÇÃO: DOBRAS E ALHAS.....	38
8.1	Falha.....	38
8.2	Dobra	43
9	A TECTÔNICA DE PLACAS E A CONSTRUÇÃO DAS CADEIAS MONTANHAS DE.....	48
9.1	Diferentes movimentações das placas tectônicas	50
10	OS TERREMOTOS E SUAS CAUSAS.....	51
10.1	O que causa os terremotos?	52
11	AGENTES TRANSFORMADORES DO RELEVO	54
11.1	Agentes Internos.....	54
11.2	Agentes externos.....	56
12	FORMAÇÃO DOS SOLOS	58
13	DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS	61
13.1	Deslizamentos	61
13.2	Sinais que indicam que pode ocorrer um deslizamento	64
13.3	Como evitar um deslizamento	64
14	ÁREAS DE RISCO, GEOLOGIA E URBANISMO	66
15	CICLO HIDROLÓGICO.....	69
16	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, O QUE SÃO?.....	72
16.1	Águas Subterrâneas	72
16.2	Ocorrência e Volume das Águas Subterrâneas.....	75
16.3	Qualidade das Águas Subterrâneas	76
16.4	Uso das Águas Subterrâneas.....	77
17	AQUÍFEROS	79
17.1	Tipos de Aquíferos.....	80
17.2	Áreas de Reabastecimento e Descarga do Aquífero.....	84
18	FUNÇÕES DOS AQUÍFEROS.....	85
18.1	Ocorrências no Brasil	86

18.2 Impactos Ambientais sobre os Aquíferos	94
19 RELAÇÃO DO HOMEM X NATUREZA	97
20 MORFOLOGIA DO SOLO	102
20.1 O perfil do solo	102
21 BIBLIOGRAFIA BÁSICA	106

1 INTRODUÇÃO À GEOLOGIA



Fonte: cursinhopreenem.com.br

1.1 O que é Geologia?

A Geologia é a ciência da Terra, de seu arcabouço, de sua composição, de seus processos internos e externos e de sua evolução. O campo de atividade da Geologia é, por conseguinte, a porção da Terra constituída de rochas que, por sua vez, são as fontes de informações. Entretanto, a formação das rochas decorre de um conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos, donde os interesses se entrecruzarem repetidamente. Geologia, termo grego, onde geo (Ge) Terra, logia (logos) ciência. A geologia tem como objetivo maior, como ciência, decifrar (pelo menos procura) a história geral da Terra (desde o momento de sua formação até o presente momento). A história da Terra, formada por um complexo conjunto de fenômenos físicos, químicos, físico-químico e biológico.¹

¹ Extraído de: <http://www.tiberioge.com.br/texto/TextoUvaGeologiaGeral.pdf>

Os objetivos da geologia podem ser sintetizados desta forma:

- Estudo das características do interior e da superfície da Terra, em várias escalas;
- Compreensão dos processos físicos, químicos e físico-químicos que levaram o planeta a ser tal como o observamos;
- Definição da maneira adequada (não destrutiva) de utilizar os materiais e fenômenos geológicos como fonte de matéria prima e energia para melhoria da qualidade de vida da sociedade;
- Resolução de problemas ambientais causados anteriormente e estabelecimento de critérios para evitar danos futuros ao meio ambiente, nas várias atividades humanas;
- Valorização da relação entre o ser humano e a Natureza.

1.2 Breve Histórico da Geologia

Até meados dos Séc. XVIII persistiu um "obscurantismo" com relação ao interesse pelos fenômenos geológicos naturais. É provável que esse desinteresse tenha sido influenciado pelas ideias dominantes na época proveniente de uma observância do livro do Gênesis, que considerava que todo o tempo geológico não ultrapassava alguns poucos milhares de anos. Segundo tais ideias, as rochas sedimentares tiveram origem na ação do dilúvio bíblico e os fósseis eram interpretados como evidência de seres de invenções diabólicas afogados pelo dilúvio.

Não havia até então estímulos à especulação pela crosta terrestre, exceto na busca de minerais úteis. Nessa época, além das observações esparsas de filósofos gregos haviam surgido manuais de Mineralogia que tratavam de métodos de mineração e metalurgia escritos (1494-1555). Na segunda metade do Séc. XVIII, as observações científicas de Steno, na Itália, e Hooke, na Inglaterra, produziram interpretações corretas do significado cronológico da sucessão de rochas estratificadas.

Arduíno, em 1760, classificou rochas de uma região da Itália em primárias, rochas cristalinas; secundárias, rochas estratificadas com fósseis; e terciárias, rochas pouco consolidadas com conchas.

James Hutton (1726-1797) recusou-se a imaginar a criação da Terra a partir de um dilúvio, ou seja, um evento repentino e único. Examinando as rochas estratificadas, encontrou vestígios de repetidas perturbações nas rochas em alternância com longos e calmos períodos de sedimentação. Em muitos lugares constatou que uma sequência de estratos assenta sobre camadas revolvidas, enquanto, em outros, corta camadas inclinadas. Ele explicou que inicialmente ambas as camadas eram horizontais, porém a inferior foi erguida e erodida antes da deposição da camada seguinte. Dessa forma, a história da crosta terrestre era a da "sucessão de mundos anteriores". Suas contestações foram resumidas na célebre frase "não encontramos nenhum sinal de um começo, nenhuma perspectiva de um fim".

O ponto de vista de Hutton veio a ser chamado "uniformitarismo", pois seus argumentos baseavam-se nas observações da erosão nos rios, vales e encostas, concluindo que todas as rochas se formaram de material levado de outras rochas mais antigas e explicando a formação de todas as rochas com base nos processos que estão agora operando, não se exigindo, para isto, outra coisa senão o tempo.

Abraham G. Werner (1749-1815), um dos mais persuasivos e influentes mestres europeus, defendia ardorosamente uma doutrina denominada "netunista", a qual se coadunava melhor com a história bíblica. Tal doutrina sustentava que todas as rochas haviam sido formadas a partir de um oceano primitivo único que no passado cobriu toda a Terra. As rochas calcárias, graníticas e basálticas formavam-se a partir de precipitados químicos. Quando a água recuou, ficaram expostas todas as rochas com a configuração que hoje se encontra por sobre toda a superfície terrestre.

A tese de Hutton sobre o uniformitarismo, embora muito popular, não conseguiu suplantar a de Werner naquela época, só logrando liderança efetiva com Charles Lyell (1797-1875). William Smith (1769-1839), modesto engenheiro inglês, prestou pouca atenção às controvérsias existentes na época entre os "netunistas" e os "uniformitaristas", se é que realmente teve notícias da existência de tais discussões.

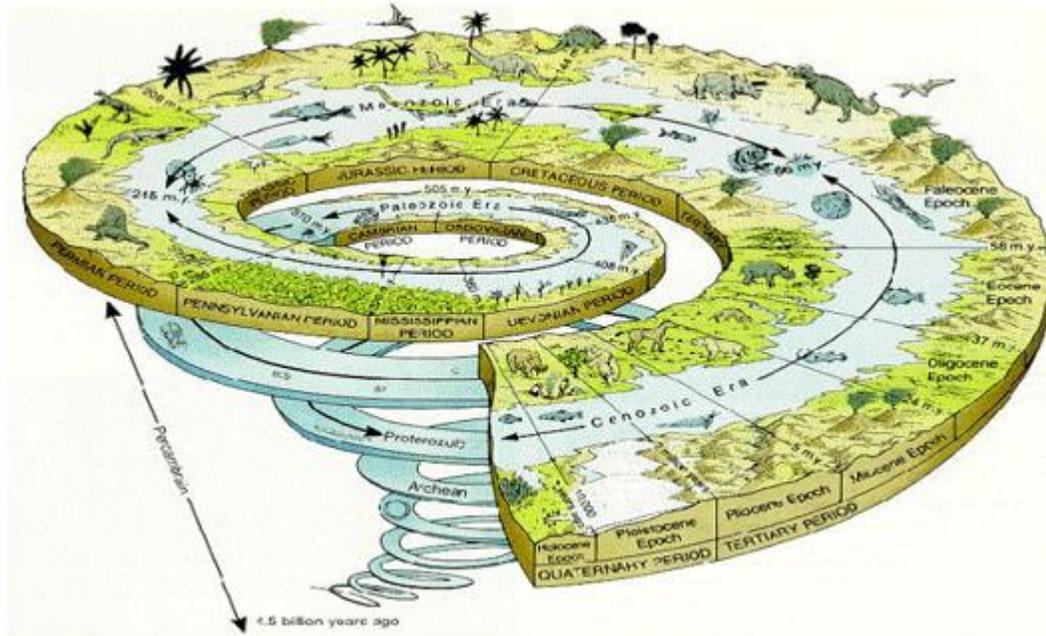
Trabalhando com movimentação de terras, escavações de canais e construção de estradas, foi incorporado a uma equipe que trabalhava na construção do canal de Somerset. Para isto havia sido enviado inicialmente para o norte da Inglaterra para estudar métodos de construção de canais. Aproveitando a viagem para examinar as rochas expostas, cada vez mais se confirmavam suas suspeitas: as mesmas formações que conhecia no sul da Inglaterra se estendiam pelo Norte e dentro, da mesma ordem. Smith trabalhou cinco anos no canal de Somerset, quando descobriu que, entre diversas formações já conhecidas, à primeira vista, muitas eram semelhantes, porém tinham uma característica que as diferenciava: os fósseis que continham não eram os mesmos. Descobriu, então, que os sedimentos de cada época tinham seus fósseis específicos. Smith divulga, nessa ocasião, o primeiro mapa geológico, com divisões estratigráficas baseadas nos fósseis.

Outras investigações científicas realizadas posteriormente na Europa por Cuvier e Lamark, entre outros, terminaram por afastar a doutrina do netunismo. Com a publicação da obra Princípios de Geologia, de Charles Lyell, os conceitos de Hutton passaram a ser a ideia dominante. Em sua obra, Lyell expôs com clareza os conhecimentos científicos da época com apoio na doutrina de que o presente é a chave do passado. As unidades geológicas foram dispostas em ordem cronológica por "grupos" e estes foram subdivididos em "períodos".

A grande obra de Lyell teve substancial influência no preparo do terreno para o florescimento das ideias de Charles Darwin desenvolvidas no séc. XIX a respeito da evolução dos seres vivos.

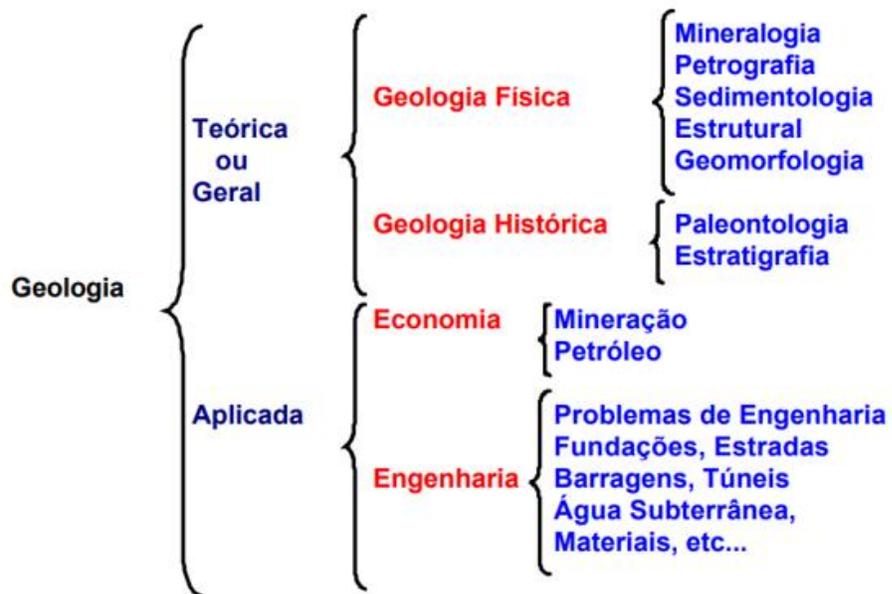
O primeiro trabalho científico realizado no Brasil (publicado em 1792) foi da autoria de José Bonifácio de Andrada e Silva e seu irmão Martin Francisco Ribeiro de Andrada sobre os diamantes no Brasil.

Com a fundação da Escola de Minas de Ouro Preto, a partir de 1876 tem o Brasil iniciada a formação de geólogos que viriam a trazer grande impulso à pesquisa e ao ensino de Geologia nos país.



Fonte: dererumundi.com.br

1.3 Divisão da Geologia



1.4 Geologia teórica ou geral

FÍSICA: estudo dos tipos de materiais e seu modo de ocorrência bem como de estudo de certas estruturas.

Mineralogia: trata das propriedades cristalográficas (formas e estruturas) físicas e químicas dos minerais, bem como da sua classificação;

- **Petrografia:** descrição dos caracteres intrínsecos da rocha, analisando sua origem (composição química, minerais, arranjo dos grânulos minerais, estado de alteração, etc.);
- **Sedimentologia:** estudo dos depósitos sedimentares e sua origem. As inúmeras feições apresentadas nas rochas podem indicar os ambientes que existiam no local no passado e assim entender os ambientes atuais;
- **Estrutural:** investiga os elementos estruturais presentes nas rochas e causados por esforços;
- **Geomorfologia:** trabalha com a evolução das feições observadas na superfície da Terra, identificando os principais agentes formadores dessas feições e caracterizando a progressão da ação de agentes como o vento, gelo, água... que afetam bastante o relevo terrestre. Em resumo: estuda a maneira como as formas da superfície da Terra são criadas e destruídas.

HISTÓRICA: estudo da evolução dos acontecimentos e fenômenos ocorridos no passado.

- **Paleontologia:** estuda a vida pré-histórica, tratando do estudo de fósseis de animais e plantas micro e macroscópicos, sendo conhecidos através de seus restos ou vestígios encontrados nas rochas. Os fósseis são importantes indicadores das condições de vida existentes no passado geológico, preservados por meios naturais na crosta terrestre;

Estratigrafia: trata do estudo da sequência das camadas (condições de sua formação e a correlação entre os diferentes estratos ou camadas).

1.5 Escala de tempo geológico

O planeta Terra possui aproximadamente 4,6 bilhões de anos, o que pode ser considerado muito tempo, a depender do referencial. Para nós, seres humanos, esse tempo é quase que inimaginável, uma vez que nossa existência no mundo data de algumas centenas de milhares de anos. A invenção da escrita e a constituição das primeiras civilizações, por sua vez, são ainda mais recentes, iniciando-se há cerca de sete mil anos ou até menos.



O tempo geológico diz respeito às transformações da Terra desde a sua formação

Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br

Em razão dessa brutal diferença de tempo, torna-se importante estabelecer a distinção entre a escala de tempo geológico e a escala de tempo histórico. O tempo geológico refere-se ao processo de surgimento, formação e transformação do planeta Terra. O tempo histórico, por sua vez, faz referência ao surgimento das civilizações humanas e sua capacidade de comunicação escrita.

Para se ter uma noção aproximada do quanto a existência do ser humano é um mero episódio recente no tempo geológico da Terra, utilizamos algumas analogias. Por exemplo, se toda a história do planeta fosse resumida nas vinte e quatro horas de um

dia, a existência da humanidade teria ocorrido nos últimos três segundos desse mesmo dia. Por isso, quando falamos em uma formação de relevo geologicamente antiga, estamos dizendo que ela se formou há alguns poucos milhares de anos, provavelmente em uma das últimas eras geológicas.

Por falar em eras geológicas, vamos compreender melhor essa forma de classificação e periodização da evolução da escala de tempo geológico. Confira a tabela a seguir:

ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA			
FANEROZOICO	CENOZOICA	Quaternário		Holoceno	0,01	
				Pleistoceno	1,8	
		TERCIÁRIO	Neógeno	Plioceno		
				Mioceno		
				Oligoceno		
			Paleoceno	Eoceno		
				Paleoceno		65
	MESOZOICA	Cretáceo				
		Jurássico				
		Triássico			248	
	PALEOZOICA	Permiano				
		Carbonífero				
		Devoniano				
		Siluriano				
		Ordoviciano				
Cambriano			545			
PROTEROZOICO				2500		
ARQUEANO				4500		

x milhões de anos

Tabela simplificada das eras na escala de tempo geológica

Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br

Podemos notar que a periodização da Terra é dividida em Éons, estes agrupando as Eras, que agrupam os períodos, que se dividem em épocas. Se nos atentarmos à

escala de tempo representada, é possível notar que o primeiro éon, o Arqueano, durou cerca de dois bilhões e cem milhões de anos, sendo a maior de todas as divisões temporais da Terra, pois foi o período de formação do planeta até o surgimento das primeiras formas de vida.

Já no éon seguinte, o Proterozoico, ocorreu o surgimento das primeiras formas de vida fotossintetizantes, além dos primeiros animais invertebrados, o que durou cerca de um bilhão e novecentos milhões de anos. Depois disso, todas as evoluções das formas de relevo e das formas de vida na Terra aconteceram nos quinhentos e setenta milhões de anos seguintes, durante o Fanerozoico.

É provável que você já tenha observado algumas tabelas diferentes com classificações distintas sobre o tempo geológico. Isso ocorre porque há diferentes modelos de discussão e diferentes autores elaboraram formas distintas de organizar essa classificação, que pode mudar à medida que novas descobertas arqueológicas aconteçam.

Os continentes em suas formas atuais, com o fenômeno da Deriva Continental, por exemplo, originaram-se há cerca de vinte e três milhões de anos somente. O Pangeia, a massa única continental anteriormente existente, começou a dividir-se há mais ou menos quatrocentos milhões de anos.

Compreender a dimensão do tempo geológico e suas escalas de medida torna-se um exercício mental fascinante para melhor compreender a atuação do homem em relação a essa temporalidade e o seu papel de herdeiro de todas as transformações ocorridas no espaço terrestre ao longo das eras geológicas.

2 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE A TERRA E O SEU INTERIOR

2.1 Conheça mais sobre o planeta Terra

Terra é o terceiro planeta a contar do Sol e o quinto maior do Sistema Solar. Sua forma é praticamente esférica, com uma deformação que causa um achatamento dos pólos. Até onde se sabe o planeta em que vivemos é o único do nosso sistema solar em

condições de abrigar vida da forma como a conhecemos. Isso acontece porque o planeta possui algumas condições únicas, como 71% de sua superfície coberta por água, placas tectônicas e um forte campo magnético.

Cientistas acreditam que a Terra tenha surgido há cerca de 4,5 bilhões de anos e que o conjunto de sistemas vivos, a biosfera, provavelmente tenha aparecido há aproximadamente 3,5 bilhões de anos. A Terra é o mais denso dos grandes corpos do Sistema Solar e sua atmosfera é composta por 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros componentes.



Fonte: colegioweb.com.br

Ficha técnica:

- Distância do Sol: 149.600.000 km
- Velocidade orbital média: 29,69 km/s
- Diâmetro equatorial: 12.756,3 km
- Área da superfície: $5,10072 \times 10^8 \text{ km}^2$

- Massa: $5,9742 \times 10^{24}$ kg
- Temperatura à superfície: 15 °C
- Translação: 365,2564 dias
- Rotação: 23,9345 horas

A princípio, é dispensável dar explicações sobre a Terra, pois é o planeta do Sistema Solar que mais conhecemos, mas por isso mesmo, ela serve como base para compararmos com os dados obtidos de outros planetas. Isso permite o estudo comparado dos planetas ou formalmente a Planetologia. Devido ao maior conhecimento em relação aos outros planetas, faremos referências somente a dados pouco conhecidos sobre nosso planeta, tais como: campo magnético, atmosfera e estrutura interna do planeta.

2.2 Campo Magnético

O campo magnético terrestre é de origem interna e bem semelhante ao produzido por uma barra imantada, colocada no centro terrestre. O eixo desse campo tem uma inclinação de onze graus com o eixo de rotação terrestre. Nas altas temperaturas do interior da Terra não existem magnetos permanentes, e por isso, só as correntes elétricas, podem constituir uma fonte para o campo magnético global.

A intensidade desse campo vem diminuindo em cerca de 0,05% ao ano e, nesse ritmo, o campo estará anulado antes do ano 4 mil. Durante a solidificação de certas rochas elas são magnetizadas segundo a intensidade e direção do campo existente. Com isso fez-se o estudo do magnetismo fóssil de rochas antigas e a partir daí descobriu-se que o campo se anulou diversas vezes por períodos de até alguns milhares de anos e até inverteu sua direção, ficando o pólo sul sendo o pólo norte e vice-versa.

Existem hoje cronologias bem detalhadas, que narram às sucessões das inversões do campo magnético.

2.3 Idade da Terra

Os cálculos para determinação da Idade da Terra são feitos através de rochas radioativas, encontradas na crosta. De uma amostra de rocha contendo traços de elementos radioativos que se solidificou em certa época, basta conhecer as meias-vidas desses elementos para saber o intervalo de tempo decorrido. A amostra não pode ter sido contaminada com amostras estranhas de elementos radioativos.

As mais antigas encontradas até hoje datam de 3,8 bilhões de anos, encontradas na Groenlândia. Isso implica que a Terra se formou antes disso, pois nessa época a Terra já havia se solidificado. De análises de meteoritos, foi concluído que datam de 4,5 a 4,6 bilhões de anos. Acredita-se ser a época em que se formaram os primeiros corpos sólidos do sistema solar.

2.4 Estrutura Geológica

A Terra é constituída por materiais sólidos, líquidos e gasosos, que se acham dispostos em camadas concêntricas. De dentro para fora, as camadas da estrutura da Terra são: núcleo ou barisfera, manto, sima ou sial que forma estrutura interna; litosfera, hidrosfera e atmosfera formam a estrutura externa.

2.5 Núcleo

Parte mais interna do planeta. Pode ser dividido em núcleo externo e interno. O núcleo externo, comporta-se como líquido apesar de sua composição metálica, admite-se que seus componentes estão em estado de fusão. Estende-se de 2,9 mil km até 5,1 mil km.

O núcleo interno vai desde 5,1 mil km até o centro da Terra. O núcleo da Terra é constituído por ferro e níquel. A temperatura atinge a 4.000/5.000° C.

2.6 Manto

Trata-se de uma camada intermediária situada acima do núcleo. Tem uma espessura aproximada de 2,9 mil km, sua composição é de rochas ultrabásicas. Boa parte dos fenômenos que afetam a crosta terrestre tem origem na parte superior do manto. Magma é uma matéria em estado de fusão (pastoso), que constitui boa parte do núcleo e do manto.

2.7 Crosta terrestre

Representa apenas 1% da massa do planeta. Sua origem ocorreu a partir do resfriamento do magma; sendo, portanto, a camada superficial.

Podemos dividir a crosta terrestre (litosfera) em três camadas diferentes:

- camada sedimentar superficial: constituída por rochas sedimentares que, em certos lugares pode atingir vários metros de espessura, já em outros desaparece.
- camada granítica intermediária: é constituída por rochas cuja composição é semelhante ao granito. Essa camada também é chamada de Sial.
- camada basáltica inferior: é bastante semelhante ao basalto. É também chamada de Sima.

A constituição da crosta terrestre

A crosta terrestre é subdividida em duas: crosta oceânica ou marítima, composta por minerais ricos em ferro e magnésio; e a crosta continental, rica em silício, alumínio e potássio. Essa subdivisão diz respeito à localização de cada parte: a crosta oceânica é a mais fina, com uma profundidade que varia entre 5 e 10 quilômetros; já a continental é

mais grossa, por conter mais ferro em sua composição, e possui uma variação entre 30 e 70 quilômetros (a maior parte está situada abaixo do nível do mar).²

A crosta também é dividida no que diz respeito à sua composição: a camada sima e a sial. A camada sima, também denominada crosta inferior, é formada, na maior parte, por basalto, silício e magnésio; a camada sial é composta por rochas sedimentares, granitos e outros tipos de rochas, além dos minerais silício e alumínio.

2.8 Atmosfera

Na troposfera (nome da camada atmosférica nos dez primeiros quilômetros a partir da superfície terrestre), é onde ocorrem os principais fenômenos meteorológicos e abriga 75% da massa total da atmosfera. A temperatura nesta camada cai com a altitude em cerca de 6,5° C por quilômetro.

A tropopausa é a zona limite de transição entre a troposfera e a estratosfera, que é a segunda camada atmosférica. Nessa camada há uma queda de temperatura com a altitude, mas esse quadro se inverte, ou seja, a temperatura se estabiliza e depois passa a aumentar chegando a assumir valores de superfície, com máximos de 0° C.

Isso se deve as reações químicas envolvendo moléculas de Oxigênio (O₂), átomos de Oxigênio (O) e radiação ultravioleta (UV) ao formar a camada de Ozônio (O₃), um filtro atmosférico, o qual barra a passagem da radiação ultravioleta. A reação química $O_2 + O \rightarrow O_3 + \text{CALOR}$ (aquecimento dessa região) e a reação química $O_3 + UV \rightarrow O_2 + O$.

Após a estrato pausa, outra zona limite de transição está a mesosfera, onde a temperatura volta cair bruscamente até (-80°C a cerca de 80 km de altitude). A partir daí a atmosfera restante não tem influência nos fenômenos meteorológicos. A camada superior (ionosfera), é carregada eletricamente devido a incidência elevada dos raios solares, e que por isso reflete ondas de rádio (como foi citada, na parte anterior, a respeito das explosões solares).

Nessa região onde as pressões são baixíssimas e o ar bem rarefeito, é difícil determinar o limite da atmosfera. Ainda assim distinguiu-se outra camada a termosfera,

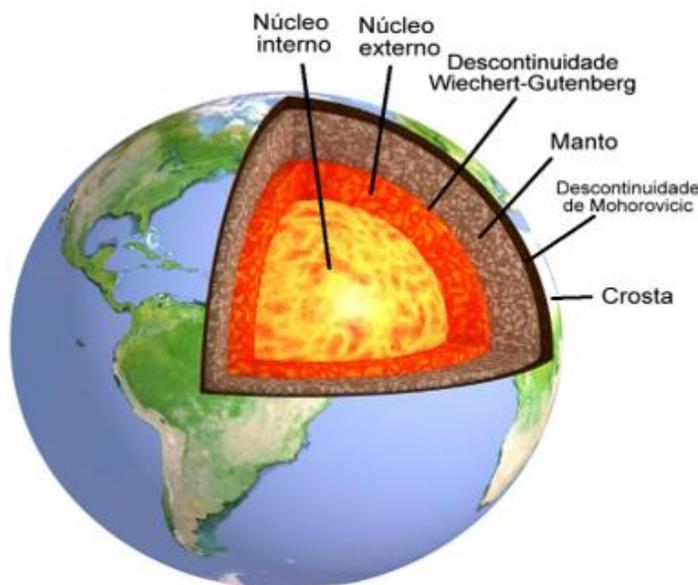
² Extraído de: <https://www.terra.com.br/noticias/ciencia/conheca-mais-sobre-o-planeta-terra,ab39f9d4566ea310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>

a acima dela ainda temos a exosfera, na qual estão os satélites artificiais que sofre um decréscimo no raio de sua órbita devido aos choques com as partículas desses gases, e pouco a pouco tendem a cair sobre a Terra.

2.9 Origem da Atmosfera

A atmosfera de Vênus, Terra e Marte têm origem secundária, ou seja, não se formaram da nebulosa primitiva que deu origem ao sistema solar. Acredita-se que tenha se formado a partir dos gases que emanaram de os vulcões após o planeta já ter se formado. Essa atmosfera substituiu a anterior existente, que provavelmente foi resquícios da nebulosa planetária e constituída principalmente de hidrogênio e hélio e traços de metano, vapor d'água, amoníaco, nitrogênio e os gases nobres.

Essa atmosfera secundária que teve origem vulcânica deve ter se formado nos primeiros 500 milhões de anos após a formação da Terra, numa fase de intensas atividades vulcânicas, e com a composição inicial sendo CO ou anidrido carbônico. Ainda hoje os vulcões emitem em e com a composição inicial sedo de CO e anidrido carbônico. Ainda hoje os vulcões emitem em suas erupções grandes quantidades de CO₂ e vapor d'agua.



Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br

3 O ESTUDO DA TERRA

Quando se olha para os mistérios do universo, o homem, reduzido a suas reais proporções, sente toda a humildade diante da dificuldade de compreender aquele infinito conjunto de luz e sombras. Em alguns pontos infinitamente pequenos do universo, na realidade espalham-se centenas de bilhões de galáxias semelhantes à nossa, com dezenas de trilhões de planetas e estrelas.

O sol, com 1.392,000 Km de diâmetro, é apenas uma estrela entre 100 milhões existentes e a Terra é um dos planetas do Sistema Solar, que é parte da Via Láctea, uma entre milhões de Galáxias que compõem o Universo. A vida na terra começou a quase 3 bilhões de anos e o homem surgiu há menos de 1 milhão de anos. Assim, o homem ocupa um pequeno período de tempo na vida de um planeta que, por sua vez, é um ponto reduzidíssimo num universo imenso.

O estudo da terra deve, portanto, levar em conta as relações desta com o resto do universo e a posição do homem neste. Muitos dos aspectos físicos da terra são afetados pela ação mútua do sol, da lua e das forças contidas na própria terra.

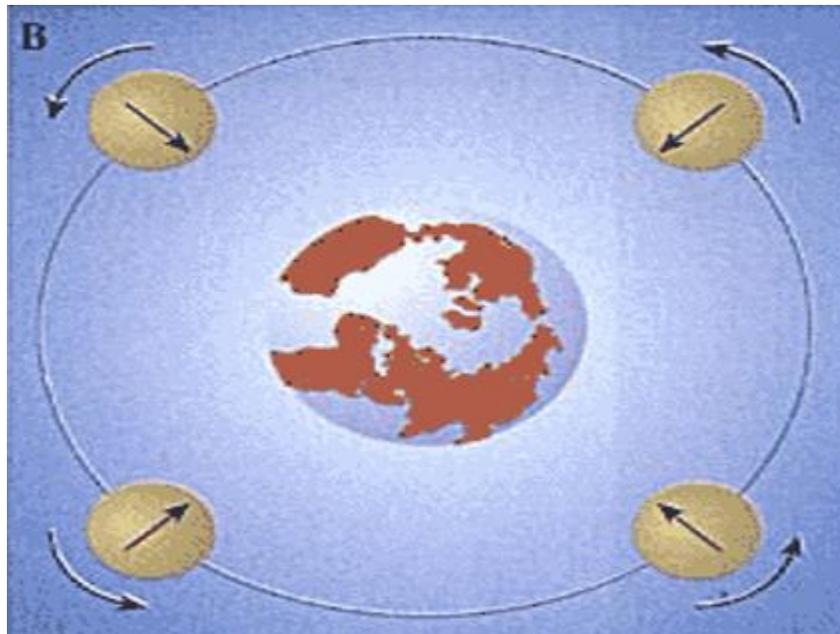
A terra está a uma distância de 150.000 Km do sol e a cada ano completa uma volta ao redor dele a uma velocidade média de 29,8 Km/segundo. A luz e a sombra escura que se abatem diariamente sobre a terra são efeitos da rotação da terra ao redor do seu eixo. Como os raios verticais do Sol incidem sobre a zona norte do equador durante meio ano e sobre a zona sul do equador durante a outra metade, a intensidade máxima da energia solar muda de uma parte para outra da terra, dando origem as estações do ano.

A lua é o satélite natural da terra. Tem aproximadamente 3.475 Km de diâmetro e gira ao redor da terra, de modo que a lua gira completamente uma única vez durante todo o circuito terrestre.

Assim como a Terra, a Lua executa 2 movimentos simultâneos principais. O primeiro é o de translação, pelo qual descreve uma órbita elíptica em torno da Terra: tal movimento é também denominado de “revolução lunar”. Os 2 pontos máximos de aproximação e afastamento entre a Terra e a Lua recebem, respectivamente, os nomes de “perigeu” e “apogeu”. A Lua completa essa órbita em 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 11,6 segundos. O segundo movimento, denominado de “rotação”, é realizado em igual

intervalo de tempo e, por essa coincidência, a Lua tem sempre a mesma face voltada para a Terra, o que é ilustrado pela figura ao lado.

Atualmente, dos 510 milhões de quilômetros quadrados da superfície do planeta, apenas 149 milhões (29,2%) constituem terras emersas, enquanto os 361 milhões restantes constituem em mares e oceanos. Com relação ao relevo da superfície terrestre a maior altitude é a do Monte Everest com cerca de 8.840 m, a maior depressão é a Fossa das Filipinas no Pacífico, com 11.516 m de profundidade. Os continentes têm uma altitude média de 800 m, e os mares uma profundidade média de 3.800 m.



Fonte: concertoeterno.com

A maior parte dos conhecimentos que se tem sobre o interior da Terra provém de meios indiretos. Na realidade, dos 6.300Km que separam a superfície terrestre do seu núcleo, conseguiu-se perfurar pouco mais que 0,1% (cerca de 7Km). As rochas mais profundas conhecidas provêm das erupções vulcânicas, sem que, no entanto, se possa afirmar sua exata profundidade. Os bolsões magmáticos donde se originam as lavas não se encontram a profundidades superiores a 30Km.

As melhores informações sobre o interior da Terra são frutos de estudos da propagação das ondas sísmicas originadas pelos terremotos. Um terremoto transmite

energia através da Terra na forma de ondas que são sentidas como tremores mesmo a uma distância considerável da origem. As vibrações da crosta são medidas com sismógrafos.

As variações bruscas na velocidade das ondas sísmicas que atingem determinadas profundidades, permitiram detectar superfícies no interior da Terra que separam materiais com diferente composição e propriedade: Descontinuidades. Entre 30 a 40Km temos a descontinuidade de Mohorovicic, Moho ou M, essa descontinuidade separa a crosta do manto. Há cerca de 2.900Km, temos a descontinuidade de Gutenberg.

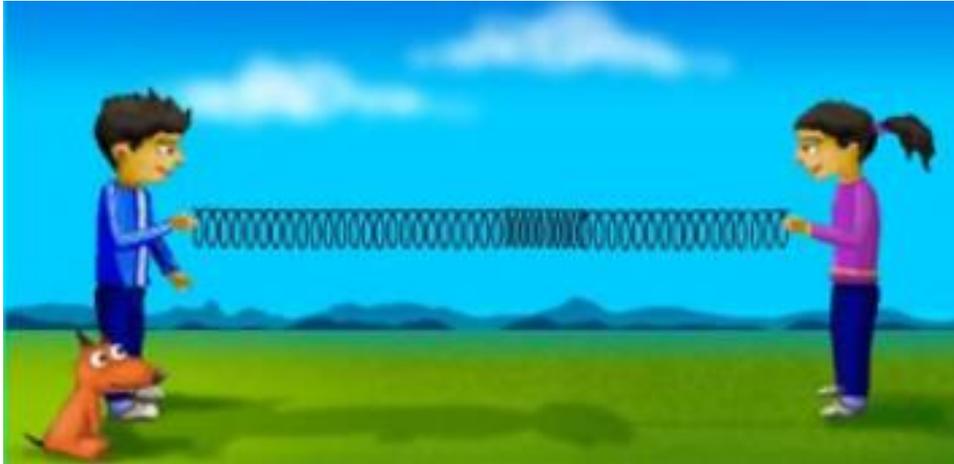
A velocidade das ondas P e S aumenta até à profundidade de 100Km, a partir da qual diminui. Posteriormente, volta a aumentar até aos 2.900Km de profundidade. Neste ponto as ondas P passam de 14Km/s para 8Km/s, e as ondas S interrompem a sua propagação. Aos 5140Km a velocidade das ondas P volta a aumentar.

A energia de um terremoto, explosão ou outra fonte sísmica atravessa a Terra como uma frente de onda que se espalha em todas as direções.

Existem diversos tipos diferentes de ondas sísmicas. Cada tipo se move de forma diferente. Os dois principais tipos de ondas são as ondas de volume e as ondas de superfície. As ondas de volume podem atravessar as camadas internas da Terra, mas as ondas de superfície podem só andar pela superfície do planeta como ondulações na água.

3.1 Ondas de Volume

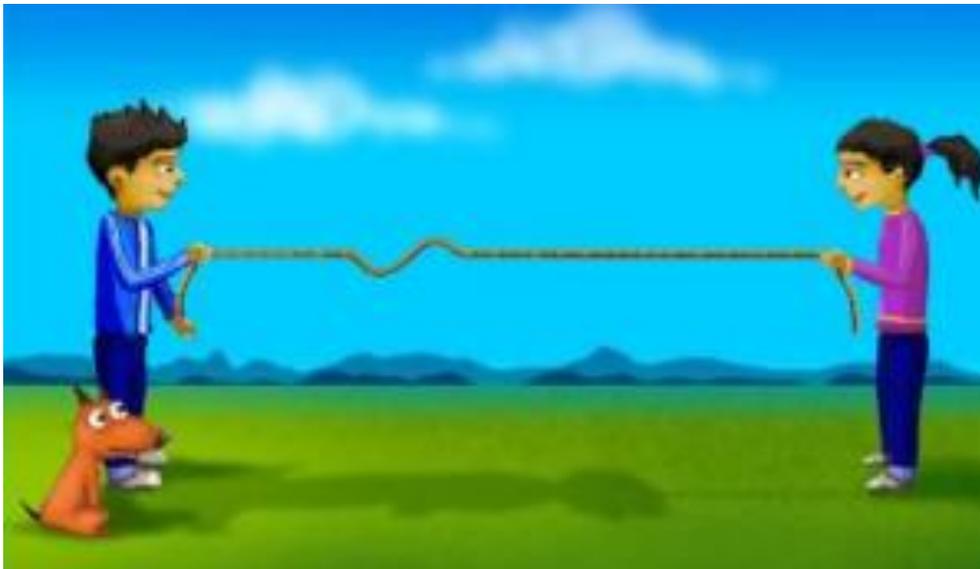
As ondas P (ondas primárias ou compressionais) são as ondas sísmicas com movimento mais rápido. Elas têm um movimento de empurrar e puxar, fazendo com que as partículas da rocha se movam para frente e para trás. À medida que a onda se afasta do foco, as partículas se aproximam e se afastam ao longo da direção para a qual a onda está se movendo.



Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br

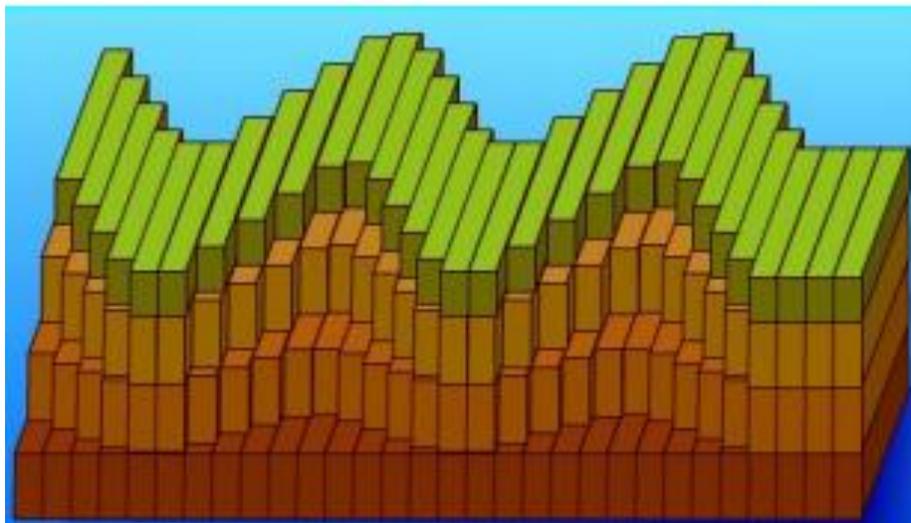
As ondas P podem atravessar sólidos, líquidos ou gases. Elas são muito semelhantes às ondas sonoras, empurrando e puxando a rocha assim como ondas sonoras empurram e puxam o ar.

As ondas S (ondas secundárias, de cisalhamento, laterais ou transversas) andam muito mais lentamente que as ondas P. Elas não passam por líquidos. As ondas S fazem com que as partículas se movam de lado a lado. O movimento delas é nos ângulos corretos para a direção em que a onda está rumando.

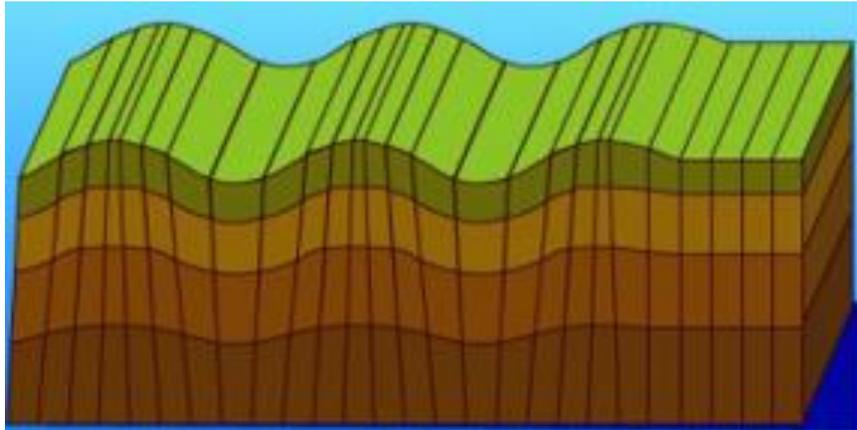


3.2 Indas de Superfície

As ondas de Love receberam esse nome em homenagem a A. E. H. Love, um matemático britânico que desenvolveu o modelo matemático para esse tipo de onda, em 1911. As ondas de Love se movem como uma cobra, estremeando o solo de lado a lado. Elas andam lentamente a partir da fonte sísmica, mas são muito destrutivas. São essas ondas que na maioria das vezes são as maiores responsáveis por fazer com que prédios caiam durante um terremoto.



As ondas Rayleigh têm esse nome por causa de Lord Rayleigh (John William Strutt), que previu matematicamente a existência desse tipo de onda, em 1885. A onda Rayleigh viaja pelo chão assim como uma onda viaja por um lago ou oceano. Conforme ela viaja, ela move o chão para cima e para baixo e para os lados na mesma direção em que a onda está se movendo. A maior parte do tremor sentido durante um terremoto se deve às ondas Rayleigh.



Ainda que as ondas de superfície muitas vezes sejam as mais destrutivas, a maioria dos geólogos está mais interessado nas ondas de volume. Como as ondas de volume viajam através da Terra, elas podem dar muitas informações sobre a estrutura. Entre outras coisas, elas podem ajudar os geólogos a localizarem camadas rochosas que podem conter petróleo, gás e outros minerais valiosos.

4 DINÂMICA INTERNA E EXTERNA DA TERRA

Nosso planeta está em constante mudança. Tais transformações geralmente demoram milhões de anos e raramente são perceptíveis. Elas são causadas por diferentes fatores, que se dividem em internos (vindos da ação de dentro das camadas da Terra) e externos (oriundos de fatores como chuva, vento e rios). Ambas têm como resultado uma constante mudança ou modelamento do nosso relevo.

4.1 Dinâmica interna

Esta dinâmica vem em sua maioria de movimentos tectônicos no interior terrestre e suas consequências. Subdividem-se em:

Movimentos Epirogênicos: São responsáveis pelo abaixamento (epirogênese negativa) ou soerguimento (epirogênese positiva) do continente, provocando assim a chamada transgressão e regressão marinha, respectivamente. Geralmente demoram muito tempo para ocorrer.

Movimentos Orogênicos: Assim como os movimentos epirogênicos, são resultados de diferentes movimentos tectônicos. Estes são responsáveis pela formação de montanhas, muitas vezes propiciadas pelo chocamento das placas. O resultado pode acontecer através de um dobramento ou um falhamento.³

Nos dobramentos, um terreno, geralmente composto por rochas pouco resistentes, tende a se dobrar, formando diferentes níveis de elevações. Já nas falhas, que ocorre em rochas mais fortes, há o surgimento de um trincamento, por conta da resistência da rocha quanto as forças do interior terrestre.

Vulcanismo: O modelamento acontece através de um derramamento vulcânico.

4.2 Dinâmica externa

Este tipo de dinâmica compreende a ação de agentes externos na superfície terrestre.

Chuva: A chuva tem forte poder no modelamento terrestre. Pode ocorrer em qualquer lugar com alta pluviosidade, porém é mais comum em encostas despidas de vegetação.

Vento: Mais comum em regiões desérticas ou de dunas. O vento atua principalmente no movimento de areia solta.

Gelo: O gelo tem grande poder de erosão, por conta disso, foi e ainda é responsável por diferentes transformações no relevo. Os fiordes são resultados da ação dele.

Rio: Os rios criam diferentes passagens de água ao longo do seu leito. Também pode sofrer a ação humana com a modificação de suas trajetórias.

³ Extraído de: <https://www.geografiaopinativa.com.br/2013/08/dinamica-interna-e-externa-da-terra.html>

Mar: O mar tem forte presença na modelagem litorânea, seja elas com o avanço ou regressão das marés. As falésias, por exemplo, sofrem a ação do mar que, em contato com elas, formam grandes paredões de areia.

5 ESCALA GEOLÓGICA DO TEMPO

Após a sua formação, a Terra passou por um longo período de resfriamento, transformando-se de uma massa gasosa aquecida em um planeta dotado de ar, água, rochas, minerais e solo, isto é, de inúmeras condições que tornaram possível a existência da vida. Para se entender a estrutura da Terra é necessário também, o conhecimento do tempo geológico.

A escala geológica do Tempo está dividida em Eras, que se dividem em Períodos, e estes se dividem em Épocas.

A primeira Era é a chamada Pré-cambriana, que se divide em três períodos:

- Azóica: por volta de 4,5 bilhões de anos atrás, esse período é marcado pela não existência de vida, esse período durou bilhões de anos.
- Arqueozóica e Proterozóica: nesse período passaram a surgir os seres unicelulares e invertebrados (algas e bactérias). Formação das rochas magmáticas. Existência de dois continentes: Árqueo-ártico e Indo-afro-brasileiro.

A Era Paleozóica está dividida nos períodos: Permiano, Carbonífero, Devoniano, Siluriano, Ordoviciano e Cambriano.

Nestes períodos houve a existência de rochas sedimentares e metamórficas. Existência de cinco continentes: Indo, Afro, Brasileiro (Gondwana), Terra Canadense e Terra Siberiana. Surgiu os peixes e os primeiros répteis.

A próxima Era foi a Mesozóica, dividida pelos períodos Cretáceo, Jurássico e Triássico. Surgiram mamíferos e aves; répteis gigantes (dinossauros); grandes florestas; e rochas sedimentares e vulcânicas.

Já na Era Cenozóica existem dois períodos, Quaternário e Terciário. Este último tem cinco épocas: Plioceno, Mioceno, Oligoceno, Eoceno e Paleoceno. Neste período

houve o desenvolvimento dos mamíferos e fanerógamos. Os répteis gigantes foram extintos, formou-se as bacias sedimentares.

No período do Quaternário existem duas épocas: Holoceno e Pleistoceno. Houve neste período a glaciação no hemisfério norte; delineamento dos atuais continentes; formação das bacias sedimentares recentes; aparecimento do homem.⁴

Escala geológica do tempo					
Eras	Períodos	Tempo decorrido (anos)	Formas de vida		
			Vegetal	Animal	
CENOZÓICA (vida atual)	Quaternário	Holoceno	11 mil	Plantas como as de hoje	Seres humanos
		Pleistoceno	1 milhão		
	Terciário	Plioceno	12 milhões	Pinheiros	Pássaros
		Mioceno	23 milhões		Mamíferos
		Oligoceno	35 milhões		Insetos
		Eoceno	55 milhões		Prímatas
		Paleoceno	70 milhões		Répteis
MESOZÓICA (vida intermediária)	Cretáceo	135 milhões	Angiospermas	Peixes	
	Jurássico	180 milhões	Desenvolvimento das gimnospermas	Répteis e anfíbios	
	Triássico	220 milhões		Pássaros	
PALEOZÓICA (vida antiga)	Permiano	270 milhões	Criptógamas	Saurios	
	Carbonífero	350 milhões		Répteis e anfíbios	
	Devoniano	400 milhões		Prímata peixes	
	Siluriano	430 milhões		Crustáceos	
	Ordoviciano	490 milhões	Algas marinhas	Invertebrados	
	Cambriano	600 milhões		Moluscos e crustáceos (trilobitas)	
PRÉ-CAMBRIANA (vida primitiva)	Proterozóica	Algonquiano	3,9 bilhões	Caramujos	
	Arqueozóica	Arqueano		Primeiros répteis e anfíbios	
Início da Terra Azóica (sem vida)			± 4,5 bilhões	Primeiros seres vivos	
				Nenhum sinal de vida	

Fonte: LEINZ, Viktor e AMARAL, Sérgio Estanislau do. Geologia geral. São Paulo, Nacional, 1969, p. 27.

⁴ Extraído de: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/escala-tempo-geologico.htm>

6 ANÁLISE DA ESTRUTURA DA LITOSFERA, DESTACANDO-SE OS FENÔMENOS GEOLÓGICOS FORMADORES DAS ROCHAS

6.1 O que é litosfera?

A litosfera corresponde à camada sólida da Terra e compõe a porção mais distante do centro do planeta.



Fonte: alunosonline.uol.com.br

A litosfera, que é camada superior e rígida da Terra, apresenta temperaturas inferiores em relação às demais porções do planeta e certa mobilidade em sua estrutura dinâmica. Ela costuma estar associada à crosta terrestre por também ser uma fina camada que compõe a estrutura superficial da Terra.⁵

A camada da litosfera encontra-se acima da astenosfera, uma camada que apresenta as rochas em um estado mais pastoso, em função das elevadas temperaturas

⁵ Extraído de: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-litosfera.htm>

presentes no interior do planeta. A zona de encontro entre a litosfera e a astenosfera apresenta uma isoterma, ou seja, uma temperatura constante, que é de aproximadamente 1.200°C. Assim, tudo o que está acima desse ponto de contato possui temperaturas suficientes para fazer com que as rochas permaneçam rígidas.

A estrutura dessa camada encontra-se na confluência entre rochas e minerais. Na verdade, os minerais, em aglomeração, compõem as rochas que, juntas, compõem a litosfera. Entre os minerais, os predominantes são o silício, alumínio e magnésio, havendo também uma centena de outros tipos menos presentes, muitos deles valiosos para as atividades humanas.

Já entre as rochas, há três tipos principais, com base em uma classificação elaborada a partir de suas respectivas formações. Essas rochas são chamadas de ígneas (ou magmáticas), metamórficas e sedimentares.

É importante salientar que a litosfera, em virtude das pressões e dinâmicas advindas do interior do planeta, não é contínua, isto é, apresenta rupturas ou descontinuidades, segmentando a sua estrutura em diferentes placas tectônicas. O movimento destas propicia a formação do relevo a partir de ações conhecidas como agentes endógenos ou internos de transformação do relevo, tais como os terremotos e o vulcanismo.

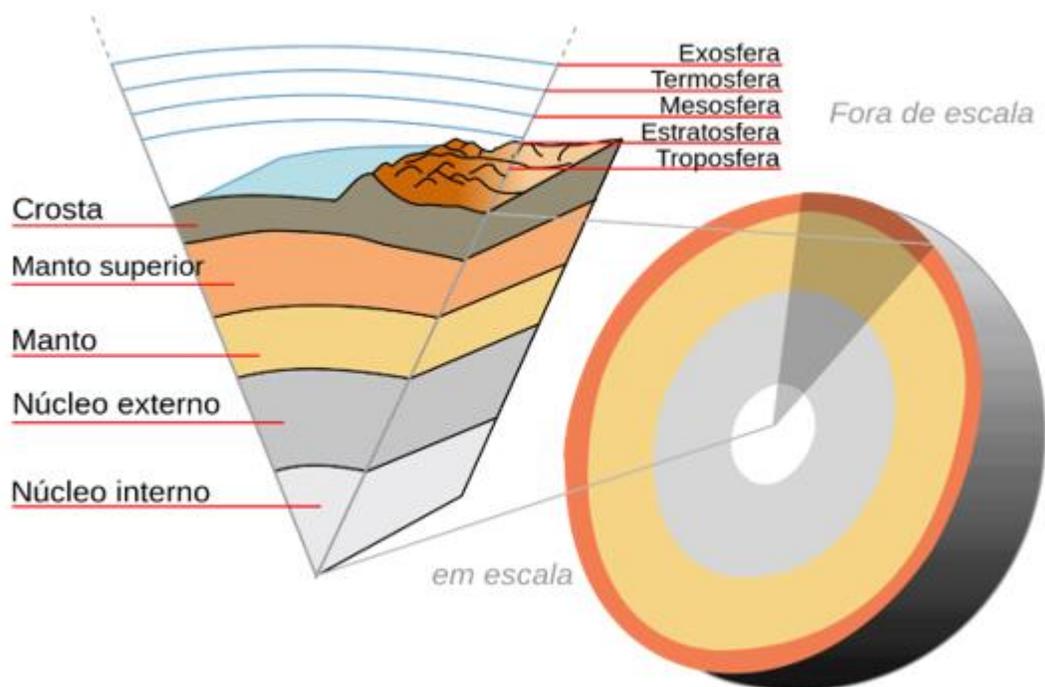
Além disso, a litosfera também se transforma a partir dos elementos disponíveis na superfície, que são chamados de agentes exógenos ou externos de transformação do relevo, tais como o vento, a água e os seres vivos. Estes moldam e desgastam as camadas superficiais da litosfera, formando os solos e atuando em processos erosivos. Com o passar dos milhares de anos, montanhas transformam-se em planaltos, e os sedimentos (partículas de rochas e solos) formados são depositados em outros locais, formando as bacias sedimentares.

Podemos dizer que a litosfera é, sobretudo, um sistema dinâmico, pois encontra-se sempre em transformação, com a formação de novas formas de relevo e o desgaste destas, além da constante transformação dos tipos sólidos, com a constituição do ciclo das rochas.

6.2 Qual é a diferença entre litosfera e crosta terrestre?

Basicamente, a litosfera envolve a crosta e a camada mais superficial e resfriada do manto, aquela que já apresenta certa solidez e origina as primeiras rochas ígneas plutônicas. Mas a principal diferença entre litosfera e crosta terrestre é a forma com que a estrutura interna do nosso planeta é classificada.

A crosta terrestre faz parte de uma conceituação que divide a Terra em crosta, manto e núcleo, além das discontinuidades presentes entre uma camada e outra. Já a litosfera faz parte da divisão que categoriza o planeta em litosfera (crosta), astenosfera (manto superior), mesosfera (manto inferior e núcleo externo) e endosfera (núcleo interno).



Fonte: pt.wikipedia.org

6.3 Ciclo das Rochas

A dinâmica da litosfera é evidenciada pelos diferentes processos de transformação que caracterizam o ciclo das rochas.



Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br

O ciclo das rochas é o processo de transformação das rochas, que mudam sua composição mineralógica e propiciam a existência de seus três principais tipos: magmáticas, metamórficas e sedimentares. A existência desse ciclo evidencia o caráter dinâmico da litosfera terrestre, fruto tanto das ações dos agentes endógenos quanto dos agentes exógenos de transformação da superfície.

Caso o ciclo não existisse, a litosfera terrestre seria composta apenas por rochas magmáticas, pois elas são oriundas da solidificação do magma, o que faria com que os geólogos tivessem que realizar outra forma de classificação. Por esse motivo, podemos compreender que os demais tipos só podem existir a partir da transformação de tipos rochosos preexistentes.

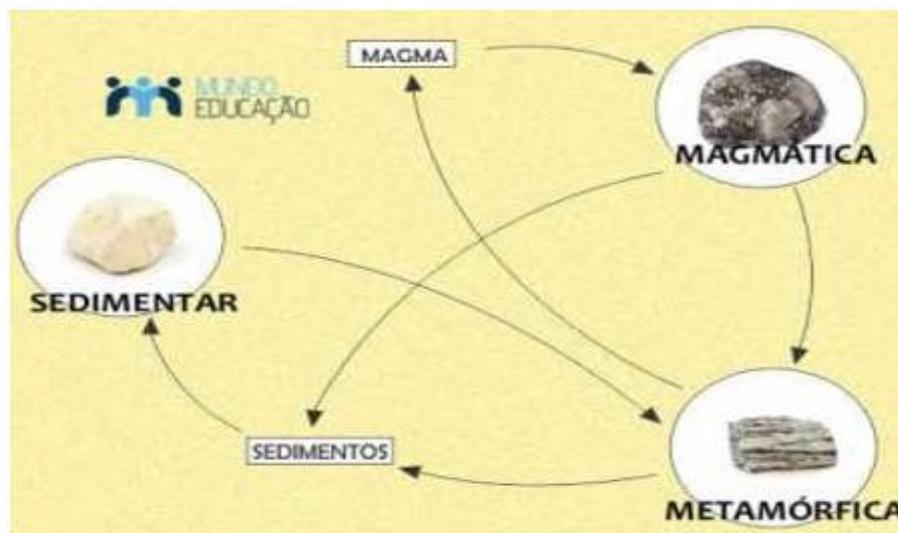
Para compreender o ciclo das rochas, é preciso primeiro entender como cada tipo se origina.

Rochas magmáticas ou ígneas: essas rochas, como já afirmamos, surgem do processo de resfriamento e solidificação do magma (cristalização), que pode ou não ter se originado de rochas derretidas.

Rochas metamórficas: quando rochas preexistentes (podendo ser magmáticas, sedimentares ou até outras rochas metamórficas) passam por uma alteração em sua estrutura em virtude da elevação ou diminuição das condições de temperatura e pressão (metamorfismo), surgem as rochas metamórficas. Um exemplo é o calcário (rocha sedimentar) que se transforma em mármore.

Rochas sedimentares: surgem a partir da compressão e junção de camadas de sedimentos, que se originam da fragmentação (ou sedimentação) de outros tipos de rochas preexistentes. Após a sedimentação dessas rochas, ocorre os processos de transporte e deposição que, após milhares de anos, dão origem às rochas sedimentares.

Assim, após compreender como cada tipo de rocha surge, basta relacionar as suas origens com suas transformações. A única ressalva a ser considerada é a de que as rochas sedimentares não podem se transformar em magma sem, antes, serem transformadas em rochas metamórficas. Isso ocorre porque, ao serem submetidas a elevadas pressões, primeiro elas passam pelo metamorfismo antes de derreterem e virarem magma. Assim, temos o esquema explicativo do ciclo das rochas.



Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br

Compreender o ciclo das rochas é de fundamental importância para estudar os diferentes tipos de rochas e suas composições. Além disso, é possível entender como os diferentes fenômenos atuam na Terra desde a sua formação aos dias atuais, em um processo que já dura cerca de 4,5 bilhões de anos.

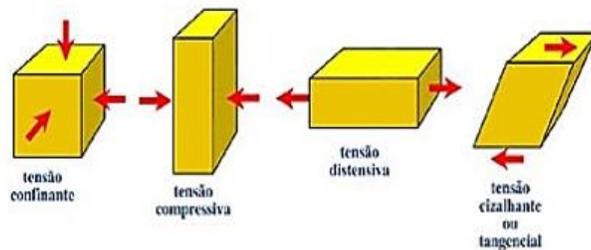
7 DEFORMAÇÃO DAS ROCHAS - FALHAS E DOBRAS

7.1 Deformação das rochas e o seu comportamento mecânico

As rochas sedimentares e magmáticas quando submetidas a condições de pressão e temperatura diferentes das que presidiram à sua gênese, podem sofrer deformação.

Assim, origina-se uma alteração das rochas pela ação de forças de tensão exercidas sobre o material rochoso, com origem na mobilidade da litosfera e no peso de camadas suprajacentes. De acordo com a Teoria da Tectónica de Placas, a litosfera encontra-se fracturada em placas, podendo estas convergir, divergir ou deslizar entre si estando as rochas que as compõem sujeitas assim, a fortes estados de tensão.

A tensão é a força exercida por unidade de área. Em resposta a um estado de tensão as rochas deformam-se, podendo ocorrer a alteração de volume ou alteração da forma das rochas ou, como é comum, alterar simultaneamente os seus volume e forma. As deformações mais comuns apresentam-se sob o aspecto de dobras e falhas. As rochas estão sujeitas a vários tipos de tensões – tensão de compressão, tensão de distensão (ou tensão de torção) e tensão de cisalhamento.

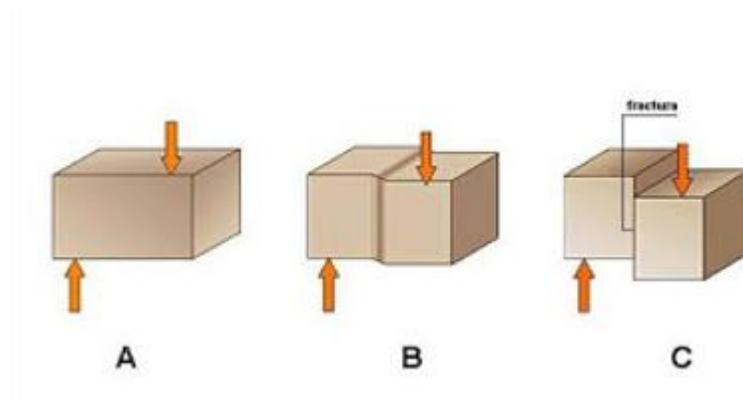


Os materiais rochosos podem apresentar diversos tipos de deformações em resposta às tensões que suportam. Assim, as deformações podem ser elásticas, plásticas ou deformações por ruptura.

As deformações elásticas são proporcionais ao esforço aplicado e são deformações reversíveis, ou seja, quando a força de tensão que provocou a deformação elástica é retirada, o material rochoso volta ao seu estado inicial. Um exemplo de deformação elástica é a sofrida por uma mola ou elástico quando sujeito a tensões.

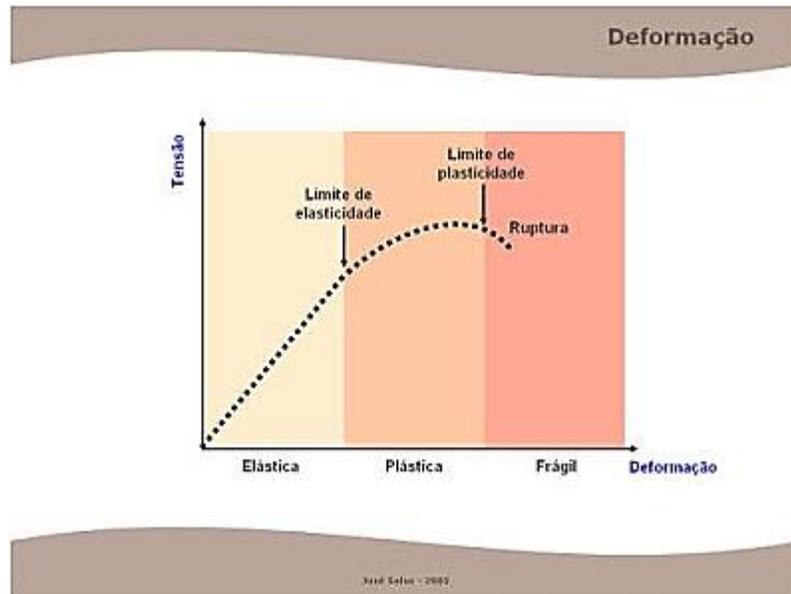
Quando o limite de elasticidade das rochas é ultrapassado, estas entram em ruptura ou passam a sofrer deformações plásticas, que são irreversíveis, ficando o material rochoso permanentemente deformado. São deformações contínuas, não se verificando descontinuidade entre as partes contíguas do material deformado, tal como acontece nas dobras.

Se o limite de plasticidade das rochas for ultrapassado, estas passam a sofrer deformações por ruptura. As deformações por ruptura são irreversíveis e descontínuas, pois não se verifica continuidade entre as partes contíguas do material rochoso formado, tal como acontece nas falhas. Um exemplo de deformação por ruptura acontece, por exemplo, com o pau de giz quando sujeito a tensão.⁶



⁶ Extraído de: <http://maisbiogeologia.blogspot.com/2009/04/deformacao-das-rochas-falhas-e-dobras.html>

O tipo de comportamento que as rochas apresentam, quando estão sob o efeito de tensões, pode ser frágil - quando entram em ruptura, originando falhas - ou dúctil - quando dificilmente entram em ruptura e experimentam deformações permanentes, originando dobras.



De uma forma geral, o comportamento das rochas face às tensões é um comportamento frágil, pois o material rochoso é pouco plástico, entrando facilmente em ruptura, principalmente quando se encontra próximo da superfície. O comportamento das rochas pode tornar-se dúctil se expostas a temperaturas e pressões elevadas em zonas mais profundas. Em situações extremas de pressão e temperatura, o material rochoso comporta-se de forma semelhante a fluidos muito viscosos.

O comportamento que as rochas apresentam é influenciado pelas condições em que as deformações se processam (tipo de tensão, temperatura, conteúdo em fluidos, tempo de atuação da tensão e composição e estrutura das rochas):

- A tensão que atua sobre as rochas pode ser confinante (litostática) ou dirigida (não litostática). A tensão confinante resulta do peso das camadas suprajacentes e aumenta a ductibilidade da rocha, tornando-a mais resistente à ruptura. A tensão dirigida ocorre quando um corpo está sujeito a forças de intensidade diferente em diversas direções.

- O aumento da temperatura aumenta a plasticidade das rochas. Como a temperatura aumenta com a profundidade, tal como a pressão, as rochas mais profundas manifestam um comportamento mais dúctil.

- As rochas com um maior conteúdo em fluidos apresentam uma maior plasticidade.

- O tempo de atuação das forças sobre as rochas pode, em princípio, aumentar a sua plasticidade se for longo.

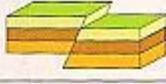
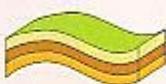
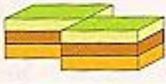
- Alguns aspectos estruturais das rochas podem aumentar a sua plasticidade, como, por exemplo, a xistosidade (termo que será explicado posteriormente).

Os mecanismos de deformação das rochas estão associados, normalmente, a diferentes tipos de limites tectónicos.

No limite tectónico convergente, atua uma tensão de compressão, que altera o volume das rochas, reduzindo-o. Neste caso, se o comportamento da rocha for frágil, origina-se uma falha compressiva; se o comportamento for dúctil, forma-se uma dobra.

No limite tectónico divergente, atua uma tensão de distensão ou de torção, que altera a forma da rocha, alongando-a ou fraturando-a. Se o comportamento da rocha for frágil, forma-se uma falha distensiva; se o comportamento for dúctil ocorre estiramento.

No limite tectónico transformante, atua uma tensão de cisalhamento, que provoca movimentos paralelos em sentidos opostos. Ocorre quando a rocha é fracturada em finas camadas, que deslizam umas em relação às outras.

TIPO DE LIMITE TECTÓNICO	ESTADO DE TENSÃO	TIPO DE DEFORMAÇÃO ASSOCIADO
Convergente	 <p>Compressivo</p>	<p>Frágil - Falhamento</p> 
		<p>Dúctil - Dobramento</p> 
Divergente	 <p>Distensivo</p>	<p>Frágil - Falhamento</p> 
		<p>Dúctil - Estiramento</p> 
Transformante	 <p>Cisalhante</p>	<p>Frágil - Falhamento</p> 
		<p>Dúctil - Cisalhamento</p> 

É de realçar que o comportamento frágil ou dúctil de uma determinada rocha depende das condições ambientais, nomeadamente das condições de pressão e temperatura. A mesma rocha pode ser frágil a pequena profundidade e dúctil a grande profundidade. Por exemplo, o vidro, quando aquecido, torna-se moldável, isto é, adquire um comportamento dúctil.

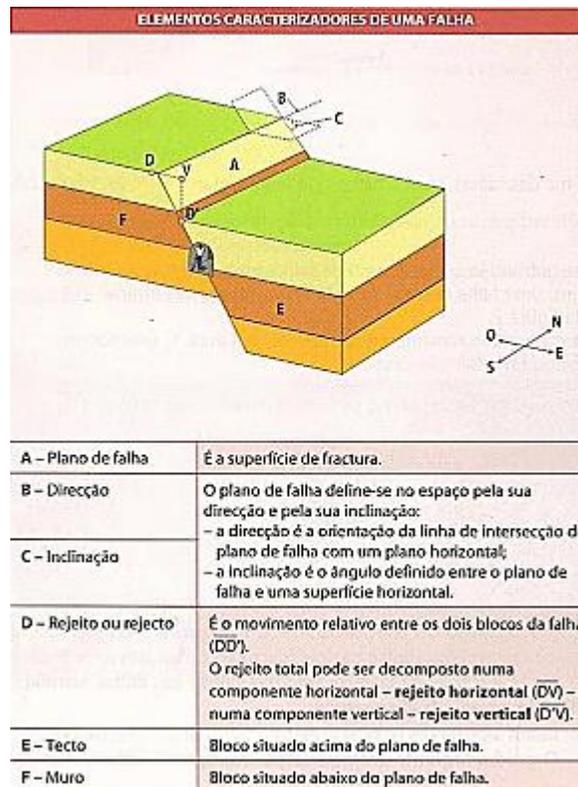
8 ESTRUTURAS GEOLÓGICAS ORIGINADAS POR DEFORMAÇÃO: DOBRAS E FALHAS

8.1 Falha

Deformação descontínua que ocorre quando o limite de plasticidade do material rochoso é ultrapassado, verificando-se a fratura das rochas, acompanhada pelo deslocamento dos blocos fraturados um em relação ao outro. Resultam de tensões compressivas, distensiva ou de cisalhamento quando as rochas manifestam um comportamento frágil.

Numa falha há a considerar os seguintes elementos:

- Plano de falha, que é uma superfície não necessariamente plana, definida pela fratura e pelo movimento dos blocos. A sua inclinação pode variar entre 0º e 90º. Quando o plano, devido à deslocação dos blocos, se apresenta polido, denomina-se espelho de falha.
- Lábios de falha, que são os dois blocos deslocados. Os lábios de falha diferenciam-se, segundo o seu movimento relativo, em lábio superior ou levantado (fica a um nível superior) e lábio inferior ou descaído (fica a um nível inferior).
 - Tecto, corresponde ao bloco que se situa acima do plano de falha.
 - Muro, corresponde ao bloco que se situa abaixo do plano de falha.
 - Rejecto ou rejeição da falha, que é a menor distância entre dois pontos que estavam juntos antes da fratura e do deslocamento.
 - Linha de falha, que é a interação do plano de falha com a superfície do terreno ou com qualquer um dos estratos.
 - Escarpa de falha, corresponde ao ressalto topográfico produzido pela falha, ou seja, é a superfície elevada produzida pela ruptura e deslocação dos blocos de falha.

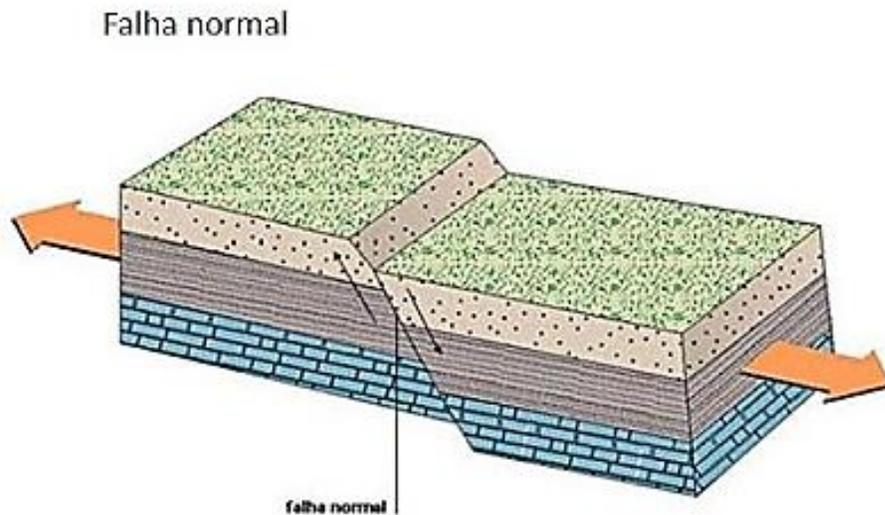


Os principais tipos de falha, de acordo com a inclinação do plano de falha e com o movimento dos lábios, são:

- Falha inversa ou compressiva, também designada falha de compressão ou cavalgante. Forma-se, normalmente, quando o material rochoso está sujeito a uma tensão compressiva, como acontece em zonas de colisão de placas tectónicas. Neste tipo de falha, o bloco descaído situa-se por baixo do plano da falha. Os lábios da falha formam entre si um ângulo agudo.

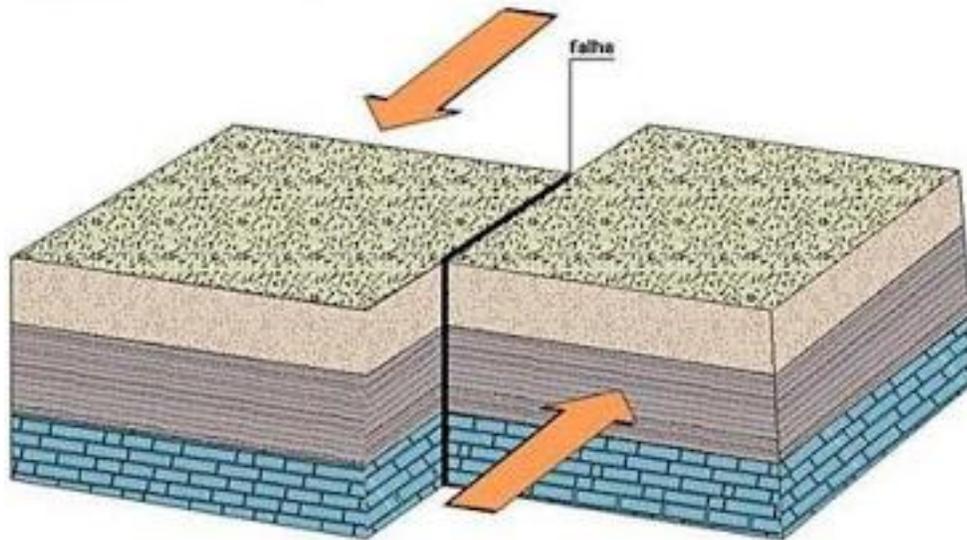


- Falha normal ou distensiva, que se forma, normalmente, quando o material rochoso está sujeito a uma tensão distensiva, como acontece em zonas de separação de placas tectónicas, continentais ou oceânicas. Neste tipo de falha, um dos lábios (tecto) apresenta-se descaído relativamente ao outro (muro), formando entre si um ângulo obtuso. O plano da falha prolonga-se por baixo do bloco descaído.



- Falha de desligamento, também denominada falha deslizante ou de deslizamento. Formam-se, geralmente, quando o material rochoso está sujeito a uma tensão de cisalhamento. São frequentes em certas zonas oceânicas das placas litosféricas, como é o caso das falhas transformantes que podem ser responsáveis pelo desligamento verificado nos riftes. Neste tipo de falha, os blocos sofrem movimentos horizontais e paralelos à direcção do plano de falha (deslizamentos).

Falha de desligamento



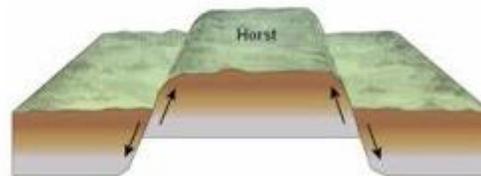
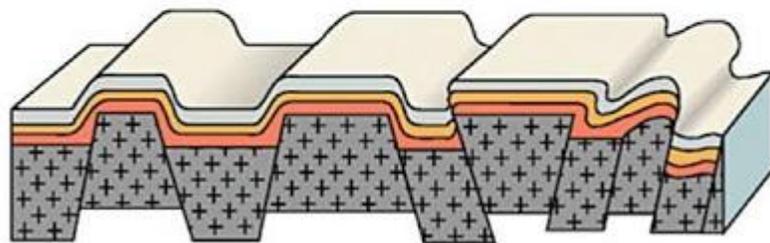
TIPOS DE FALHAS CLASSIFICAÇÃO DE ANDERSON		
Falha normal	<p>O tecto desce relativamente ao muro. Forma-se, geralmente, em regime de deformação distensivo, em zonas de separação de placas tectónicas, continentais ou oceânicas.</p> <p>Exemplo: Rift Valley Africano.</p>	
Falha inversa	<p>O tecto sobe relativamente ao muro. Forma-se, geralmente, em regime de deformação compressivo, em zonas de colisão de placas tectónicas.</p> <p>Exemplo: Himalaias e Andes.</p>	
Desligamento	<p>Os movimentos dos blocos são essencialmente horizontais e paralelos à direcção do plano de falha.</p> <p>Forma-se, geralmente, em regime de deformação de cisalhamento.</p> <p>Exemplo: Falha de Santo André, Califórnia.</p>	

A posição das falhas no espaço pode definir-se de acordo com a direcção e a inclinação do plano de falha.

A direcção da falha é dada pelo ângulo formado por uma linha horizontal do plano de falha com a linha N-S geográfica.

A inclinação é determinada pelo ângulo formado entre o plano de falha e uma superfície horizontal. As falhas podem surgir associadas e com configurações geográficas denominadas por fossas tectónicas ou grabens e maciços tectónicos ou horsts.

Horst e Graben resultantes de falhas normais



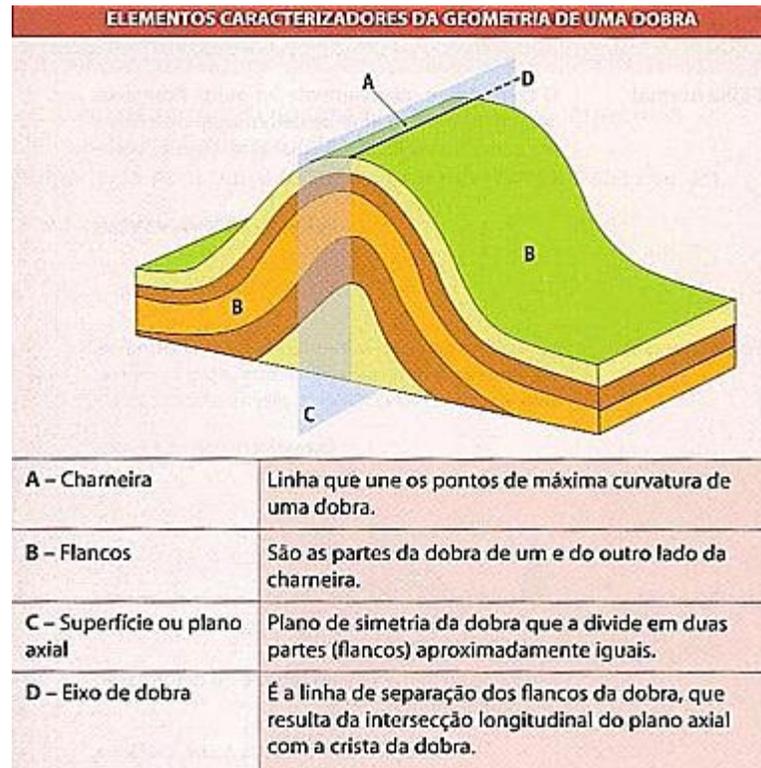
Quando a depressão ocupa uma extensa superfície, designa-se bacia de afundimento. Entre as falhas célebres figura a de Santo André na Califórnia, com a qual se relacionam os sismos ocorridos nessa região. Fossas dispostas em escadaria originaram a fossa tectónica do Vale do Reno, assim como o Mar Vermelho, o Mar Morto e as depressões do Vale do Rifte da África Oriental. Em Portugal Continental, são significativas, entre outras, as falhas de Chaves-Régua-Lamego, Bragança-Vilariça-Longroiva e Caminha-Monção.

8.2 Dobra

Deformação que ocorre nas rochas e que resulta do arqueamento de camadas rochosas, inicialmente planas, com comportamento dúctil, pela acção de tensões compressivas. Estas deformações podem ser macro ou microscópicas. As dobras formam-se no interior da crosta ou do manto de forma lenta e gradual, emergindo à superfície devido aos movimentos tectónicos e à erosão.

Os elementos de dobra, que caracterizam a geometria das dobras, são:

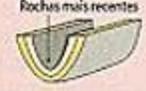
- Os flancos, ou vertentes da dobra, porções de menor curvatura;
- A charneira, que corresponde à zona de convergência das camadas de cada flanco, ou seja, a linha que une os pontos de máxima curvatura de uma dobra;
- O núcleo, formado pelas camadas mais internas da dobra;
- O plano ou superfície axial, plano que contém as charneiras dos diferentes estratos dobrados, dividindo a dobra em dois flancos sensivelmente iguais:
 - O eixo da dobra, que corresponde ao ponto de intersecção do plano axial com a charneira.

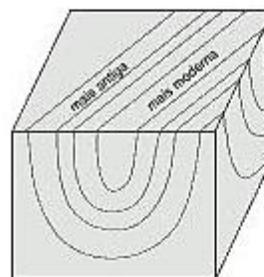
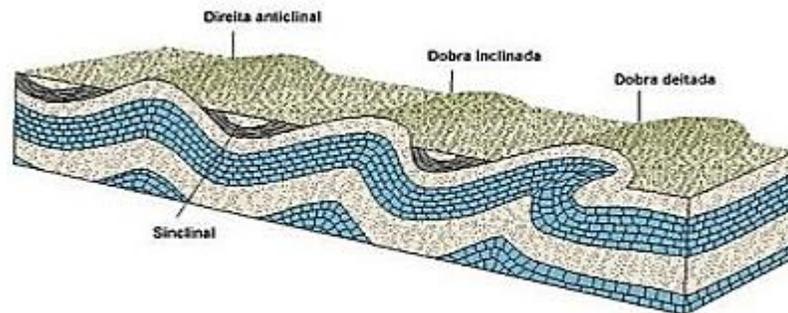


As dobras podem ser classificadas segundo a sua disposição espacial e segundo a idade das rochas que as constituem:

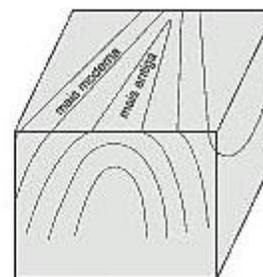
- De acordo com a disposição espacial das dobras, estas podem ser denominadas dobras antiforma, com concavidade voltada para baixo, dobras sinforma, com concavidade voltada para cima, ou dobras neutras, cuja abertura se orienta lateralmente (com eixo vertical).

- De acordo com a idade das rochas que as constituem, estas podem ser designadas por rochas anticlinais, quando as rochas mais antigas se encontram no núcleo da antiforma, ou por rochas sinclinais, quando as rochas mais recentes se localizam no núcleo da sinforma.

TIPOS DE DOBRAS			
CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO	NOME	CARACTERIZAÇÃO	
Disposição espacial da dobra	Antiforma	Dobra cuja abertura está dirigida para baixo.	
	Siniforma	Dobra cuja abertura está voltada para cima.	
	Dobra neutra	Dobra cuja abertura se orienta lateralmente.	
Disposição, na dobra, da sequência estratigráfica	Anticlinal	No núcleo da antiforma, encontram-se as rochas mais antigas.	 Rochas mais antigas
	Sinclinal	No núcleo da siniforma, encontram-se as rochas mais recentes.	 Rochas mais recentes

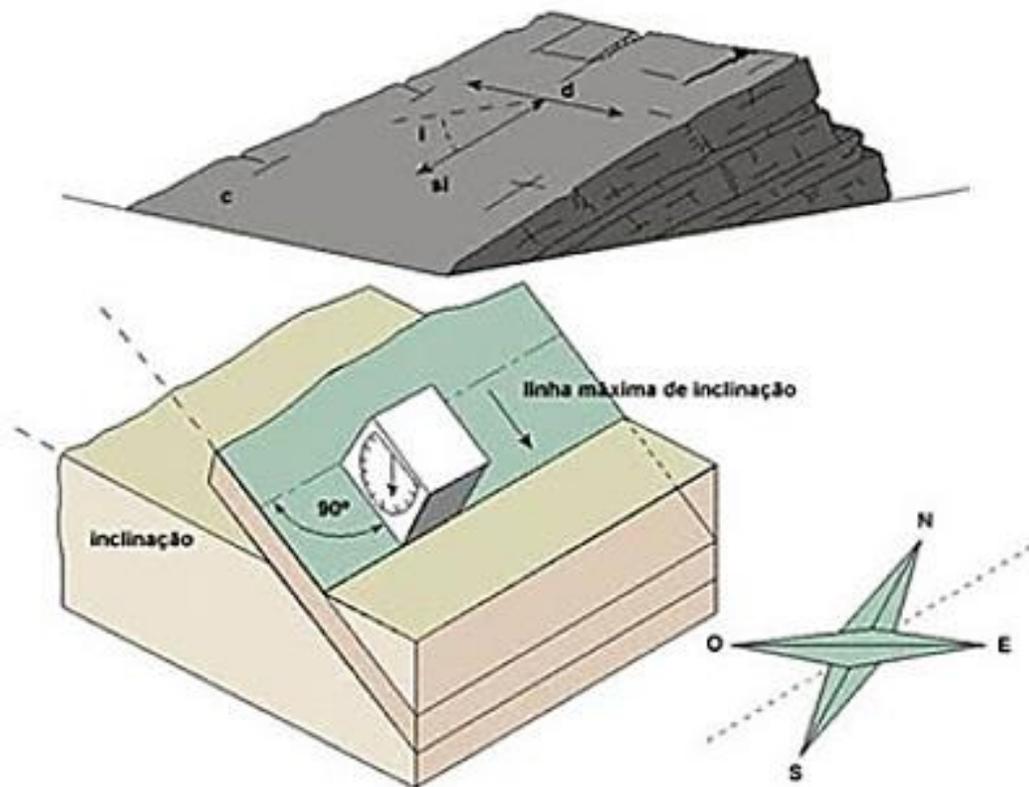


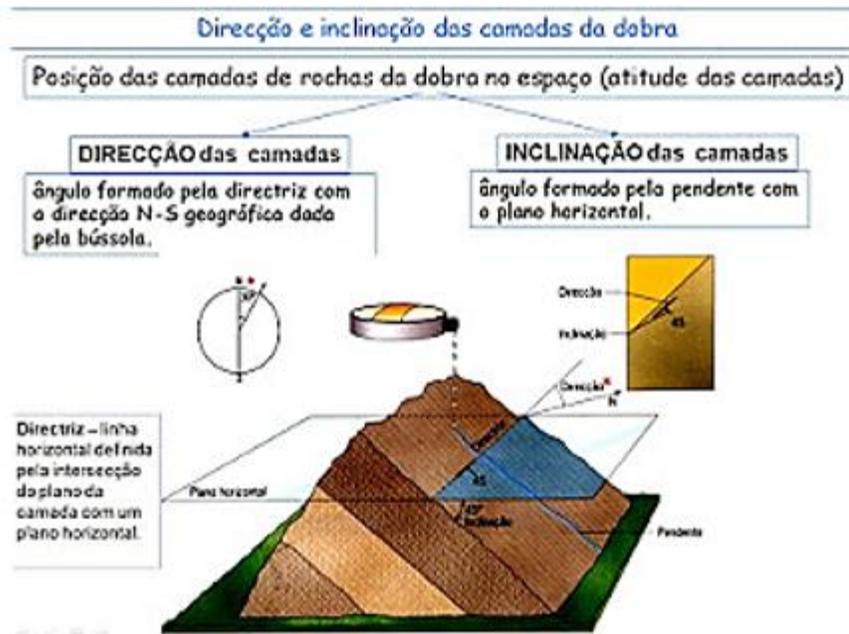
Sinclinal



Anticlinal

Numa dobra, a posição das camadas rochosas no espaço pode ser definida pela direcção e pela inclinação das camadas. A direcção da camada é dada pelo ângulo formado pela diretriz (definida pela intersecção do plano da camada com o plano horizontal) com a direcção N-S geográfica dada pela bússola. A inclinação dos estratos, correspondente ao ângulo formado pelo pendente (linha de maior declive) com o plano horizontal, é determinada com clinómetros.





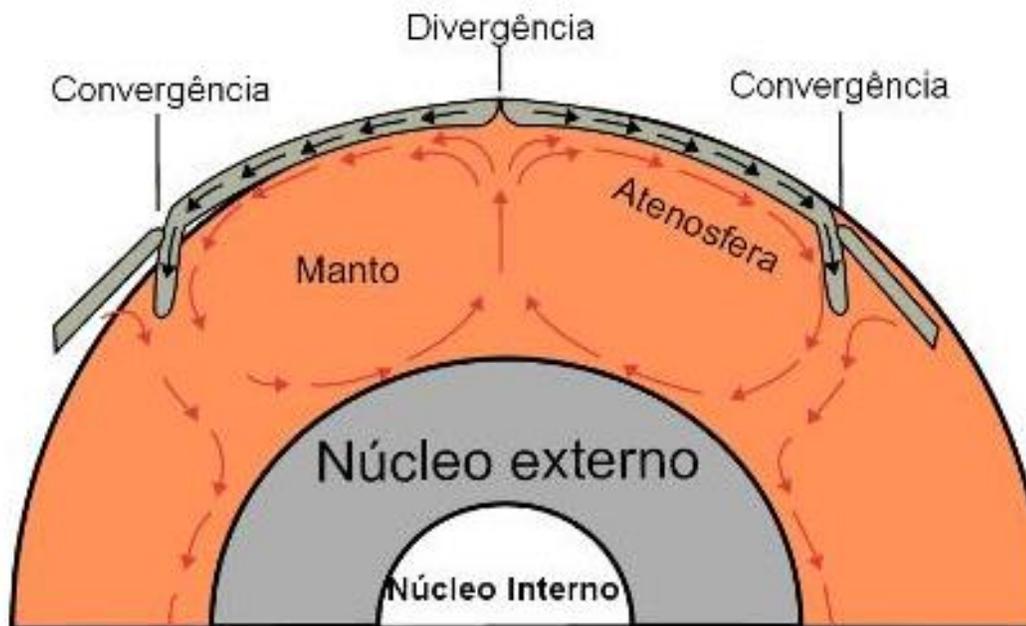
Curiosidade: Entre as estruturas dobradas é frequente distinguir formações, originadas por erosão, denominadas domas, em que a parte central é ocupada pelos estratos mais antigos, e bacias ou cuvettes, em que a parte central é ocupada pelas camadas mais recentes. Quanto à simetria, as dobras, quando mantêm a espessura dos estratos, denominam-se isopacas; se os estratos se encontram deformados, as dobras denominam-se anisopacas.

O estudo de dobras e falhas assume particular interessa geológico, porque a sua caracterização contribui, por exemplo, para a compreensão e interpretação do relevo, para compreensão da história geológica de uma determinada área e para localização de estruturas geológicas de interessa económico.

NOTA: Para justificar que uma dobra é antifforma, sinforma ou neutra é preciso referir a orientação da concavidade. Ex: a uma dobra neutra pois a concavidade encontra-se virada para o lado esquerdo.

sabemos que acontece ainda nos dias atuais, em um ritmo lento para os olhos humanos, mas relativamente acelerado em termos geológicos.

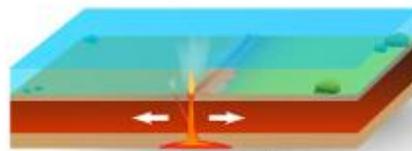
A litosfera – nome dado para designar toda a porção sólida superior da Terra – é bastante fina em relação ao interior do planeta, de forma que ela foi facilmente rompida ao longo do tempo em função da pressão interna exercida pelo magma. O movimento das placas, resultado dessa ruptura, é continuado em razão da pressão exercida pelas correntes ou células de convecção do magma terrestre. Confira a imagem a seguir:



Movimento das células de convecção presentes no manto

Nesse sentido, as placas tectônicas estão movimentando-se, mas nem sempre na mesma direção, o que provoca o afastamento entre elas, em alguns casos, ou a colisão, em outros, havendo ainda os movimentos laterais. Observe a imagem:

TIPOS DE ZONAS DE TENSÃO TECTÔNICA



ZONA DE DIVERGÊNCIA



CONVERGÊNCIA (OBDUÇÃO)



CONVERGÊNCIA (SUBDUÇÃO)

9.1 Diferentes movimentações das placas tectônicas

Assim, os movimentos convergentes de obdução envolvem o conflito entre duas placas, mas sem o afundamento de uma sob a outra, provocando a formação de limites conservativos. Um efeito conhecido dessa ocorrência foi a formação da *falha geológica de San Andreas*, na América do Norte. Já os movimentos convergentes de subdução são responsáveis pela formação de cadeias montanhosas, como a Cordilheira dos Andes, na porção oeste da América do Sul.

Os movimentos divergentes, como o próprio nome sugere, representam as áreas de afastamento entre duas placas tectônicas e a consequente formação de fraturas nessas localidades, onde também o magma se solidifica e renova a composição dessa crosta.

Além das alterações nas formas de relevo continentais e oceânicas, a movimentação das placas tectônicas também acarreta outros fenômenos geológicos, como a ocorrência de terremotos e também a manifestação dos vulcões. Não por acaso, os principais registros dessas ocorrências manifestam-se nas áreas limítrofes entre uma

placa e outra, cujo exemplo mais notório é o Círculo de Fogo do Pacífico, uma área que se estende do oeste da América do Sul ao leste da Ásia e algumas partes da Oceania. Nessa área, os terremotos – e, conseqüentemente, os *tsunamis* – são frequentes e intensos.

Ao todo, existem várias placas tectônicas, conforme podemos observar no mapa acima. Em algumas definições, o número delas é maior, pois subdividem-se conceitualmente mais vezes as suas estruturas em razão de suas manifestações internas. As principais placas tectônicas são: Placa do Pacífico, Placa Norte-Americana, Placa de Nazca, Placa do Caribe, Placa dos Cocos, Placa Sul-Americana, Placa Africana, Placa Antártida, Placa Euroasiática, Placa da Arábia, Placa do Irã, Placa das Filipinas e Placa Indo-australiana.

10 OS TERREMOTOS E SUAS CAUSAS

Os terremotos quase sempre estão associados a uma acomodação dos blocos rochosos localizados abaixo da superfície terrestre.



Fonte: veja.abril.com.br

Os terremotos – também conhecidos como abalos sísmicos – são tremores que se manifestam na crosta terrestre, a mais externa das camadas da Terra. Sob o ponto de vista técnico, os terremotos são uma liberação de energia acumulada abaixo dos solos, liberação essa que provoca uma acomodação dos blocos rochosos, dando origem aos tremores.

Em termos de intensidade, os terremotos são medidos em um índice chamado de Escala Richter, que vai de 1, para os mais fracos, a 10, para os mais fortes. No entanto, nunca houve registros de um terremoto que conseguisse alcançar o índice máximo. O abalo sísmico mais forte já catalogado ocorreu no Chile, em maio de 1960, e atingiu 9,5 graus na Escala Richter.⁷

10.1 O que causa os terremotos?

Existem três principais causas para os tremores na crosta terrestre: o desabamento, o vulcanismo e o tectonismo.

Os tremores provocados pelo desabamento são de menor importância e são causados por alguma acomodação interna, provocada pela ruptura ou deslizamento de blocos rochosos internos, geralmente sedimentares, que são tipos de rochas, em geral, menos resistentes. A intensidade desses abalos costuma ser pequena.

Já os tremores provocados pelo vulcanismo podem ser um pouco mais fortes, mas são localizados em áreas próximas a vulcões. Eles ocorrem por alguma ruptura ou erupção interna do magma ou de gases retidos sob grande pressão. Os seus efeitos não costumam ser sentidos a longas distâncias.

O tectonismo, por sua vez, pode ser considerado o principal “vilão” responsável pelos terremotos. Como sabemos, a crosta terrestre não é uma camada única, mas constituída por inúmeros blocos, chamados de placas tectônicas. Muitas dessas placas estão em constante colisão, assumindo direções opostas. É nessa zona de contato que ocorre a maior parte dos terremotos do mundo.

⁷ Extraído de: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/terremotos.htm>

Além disso, quando a força do contato entre essas placas é mais forte do que a resistência das rochas, elas rompem-se, formando as chamadas falhas geológicas, que também são mais comuns nas zonas de contato entre duas placas, mas também podem se manifestar, com menor frequência, em áreas mais estáveis. Quando essas falhas provocam a acomodação dos blocos rochosos, ocorrem os terremotos. A maior falha do mundo encontra-se nos Estados Unidos: a falha de San Andreas.



Esquema ilustrativo de uma falha geológica

O ponto abaixo da Terra onde ocorre o terremoto é chamado de hipocentro, e a zona central na superfície onde ele se manifesta é chamada de epicentro.

11 AGENTES TRANSFORMADORES DO RELEVO

O relevo terrestre, apesar de aparentemente estático, é dinâmico e está em constante transformação. Tal dinâmica deve-se aos processos internos e externos que contribuem para que essa dinâmica aconteça, são os agentes transformadores do relevo.

Os agentes transformadores do relevo são classificados conforme a origem de suas ações, aqueles que atuam abaixo dos solos são chamados de agentes endógenos ou internos e aqueles que atuam sobre a superfície são chamados de agentes exógenos ou externos.

11.1 Agentes Internos

Os agentes internos ou endógenos também são chamados de modeladores e costumam ser subdivididos em três grupos: o tectonismo, os abalos sísmicos e o vulcanismo.

Tectonismo: Também chamado de *diastrofismo*, é todo e qualquer movimento realizado a partir de pressões advindas da região localizada sobre o magma da Terra. Aqueles processos de duração longa (sob o ponto de vista do tempo geológico) são chamados de *epirogênese* e aqueles de curta duração são chamados de *orogênese*.

Dentre as paisagens formadas pelo tectonismo, temos as montanhas, as cordilheiras, os vulcões e todas as paisagens que, posteriormente, são novamente modificadas pelos agentes externos de transformação do relevo.



Cordilheira do Himalaia – conjunto de cadeias montanhosas onde se encontram as maiores altitudes do mundo

Abalos sísmicos: estão diretamente ligados à dinâmica tectônica. São gerados pelo movimento agressivo das massas da crosta interior da Terra ou do manto terrestre, resultante de abruptas acomodações das camadas rochosas. Podem ser resultantes do choque entre duas placas que se encontram (movimentos convergentes), do afastamento entre elas (movimentos divergentes) ou quando placas vizinhas se movimentam lateralmente, raspando uma na outra (movimentos transformantes).

Vulcanismo: são atividades de erupção do magma localizado no interior da Terra em direção à superfície. Esse material quente e pastoso costuma encontrar brechas para a sua ascensão nas zonas de encontro entre duas placas tectônicas, onde existem falhas e fraturas que permitem a sua passagem.

Dos agentes endógenos de transformação do relevo, o vulcanismo é o que provoca mudanças na superfície de forma mais rápida, através da ação do magma sobre os solos, mas também atua de forma lenta, durante a formação dos próprios vulcões, o que leva milhares de anos para acontecer.

Geralmente, os solos localizados em regiões vulcânicas, ou cuja origem remonta a atividades vulcânicas em tempos pretéritos, costumam ser extremamente férteis, em virtude da quantidade de minerais que são liberados durante as erupções.

11.2 Agentes externos

Os Agentes externos ou exógenos, também chamados de esculpidores, são responsáveis pela erosão (desgaste) e sedimentação (deposição) do solo. Eles são ocasionados pela ação de elementos que se encontram sobre a superfície, como os ventos, as águas e os seres vivos.

O agente externo mais atuante sobre a transformação dos solos é a **água**, seja de origem pluvial (chuvas), seja de origem fluvial (rios e lagos), ou até de origem nival (derretimento do gelo). A ação das águas também pode ser dividida em fluvial, marinha e glacial. A água provoca transformação e modelagem dos solos e contribui para a formação de processos erosivos.

A **erosão pluvial** ocorre pela ação das águas da chuva, que contribuem para o processo de lixiviação (lavagem da camada superficial) dos solos. Forma também alguns “caminhos” ocasionados pela força das enxurradas. Quando mais profundos, esses caminhos podem contribuir para a formação de ravinas (erosões mais profundas) e voçorocas (quando a erosão é muito grande ou quando ela atinge o lençol freático).

A **erosão fluvial** acontece pela ação dos cursos d’água sobre a superfície, modelando a paisagem e transportando sedimentos. Podemos dizer que são os próprios rios que constroem os seus cursos, pois ao longo dos anos, as correntes de água vão desgastando o solo e formando os seus próprios caminhos, que vão se aprofundando conforme a força dos cursos dos rios vai erodindo o solo.



Os cursos d’água provocam o desgaste dos solos, formando os seus próprios cursos

A erosão fluvial é causada, também, quando a retirada da mata ciliar provoca danos sobre as encostas dos rios, que ficam mais frágeis e cedem à pressão das águas.

A **erosão marinha** é aquela provocada pela ação das águas do mar sobre a superfície, provocando o desgaste das formações rochosas litorâneas. Tal processo é lento e gradual, contribuindo para a erosão das costas altas (abrasão marinha) e pela deposição de sedimentos nas costas mais baixas. Contribui também para a modelagem do relevo litorâneo, com as falésias, restingas, tómbolos e praias.

A **erosão glacial** é provocada pelo derretimento de geleiras localizadas em regiões montanhosas e de elevadas altitudes, que formam cursos d'água que modelam a superfície por onde passam. Outra forma de ação é o congelamento dos solos, que se rompem com a “quebra” das geleiras.

Outro importante agente externo são os **ventos**, que atuam no relevo também em um processo lento e gradual, esculpindo as formações rochosas e transportando os sedimentos presentes no solo em forma de poeira. A ação dos ventos sobre o relevo é também chamada de **erosão eólica**.



Exemplo de formação rochosa esculpida pela ação dos ventos

Além dos processos erosivos, há também o intemperismo, que é resultante da ação de transformações físicas, químicas e biológicas sobre os solos. Esse processo também é conhecido como meteorização e é responsável pela desintegração e decomposição dos solos e das rochas.

O intemperismo físico é causado pelas variações climáticas, que podem provocar a desintegração das rochas, algo comum em regiões extremamente secas ou desérticas. Já o intemperismo químico ocorre em função da ação das águas e da umidade sobre a superfície, ocasionando a destruição da base original dos solos.

12 FORMAÇÃO DOS SOLOS

O processo de origem, formação e transformação dos solos está diretamente relacionado com o intemperismo e com a acumulação de material orgânico.



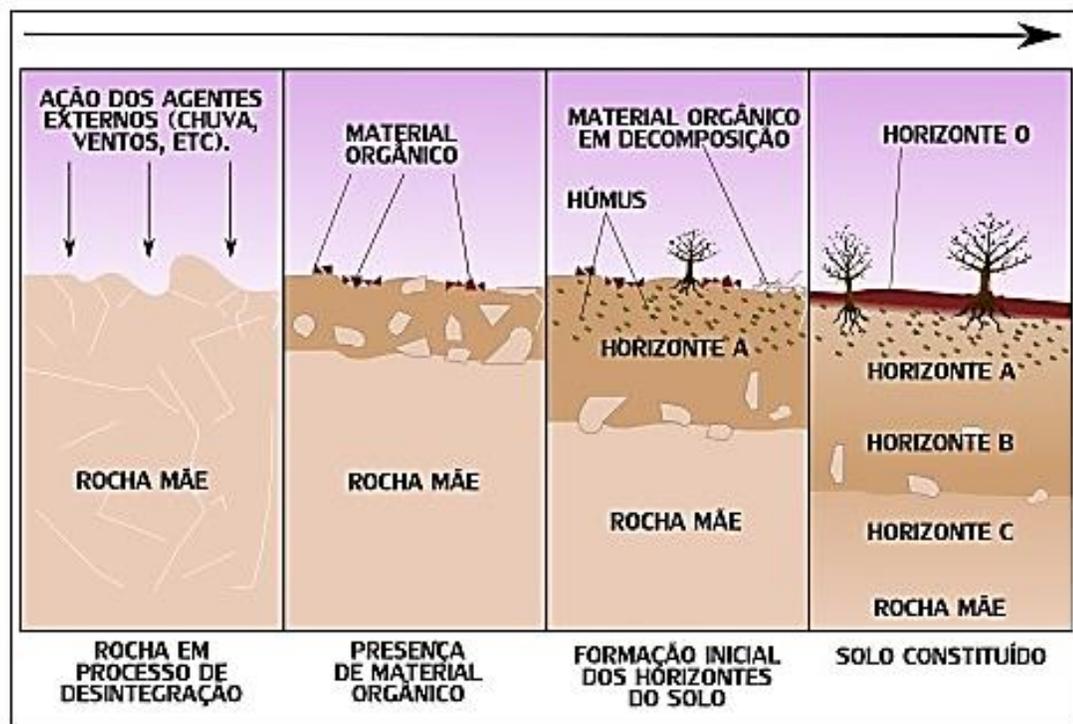
Os solos constituem-se como um importante recurso natural

Os solos configuram-se como um importante recurso natural renovável que é utilizado pelas atividades humanas para fins econômicos, tendo uma notável importância

nas práticas agropecuárias e na geração de alimentos para a sociedade. Sendo assim, uma curiosidade que permanece é: como se formam os solos?

Basicamente, os solos formam-se a partir do processo de decomposição das rochas de origem, chamadas de rochas mãe. Isso significa dizer que, no início, não existiam solos na Terra, mas apenas grandes e variados grupos rochosos que foram lentamente desgastados pelo clima, pela ação da água e dos ventos e também pelos seres vivos, sobretudo as plantas. Com isso, essa lenta desagregação proporcionou a formação de sedimentos, que se mantêm aglomerados e compõem os solos. O processo de origem e constituição dos solos é chamado de pedogênese.

Nesse sentido, a formação dos solos na natureza levou milhões de anos, apresentando, quase sempre, aspectos relacionados com o seu material de origem e as interferências naturais e antrópicas proporcionadas sobre eles. Vale lembrar que esse processo de formação dos solos é ininterrupto e ainda ocorre atualmente. Para compreender melhor o fenômeno natural da pedogênese, confira o esquema a seguir:



Esquema explicativo da sequência de formação dos solos

De acordo com a sequência acima explicitada, compreendemos que o processo de formação obedece à seguinte cronologia: a) decomposição lenta da rocha mãe pelos agentes do intemperismo (água, ventos, clima, plantas e outros); b) com o tempo, acumula-se uma maior presença de material orgânico sobre o solo recém-formado; c) o material orgânico decompõe-se e vai aos poucos enriquecendo o terreno, enquanto os horizontes do solo vão se formando; d) o solo, em estágio mais avançado, passa a contar com os diferentes horizontes, além de apresentar uma camada superficial orgânica propícia ao plantio e à existência de vegetações.

Os solos mais antigos apresentam essa estrutura mais consolidada, enquanto os solos mais jovens, muitas vezes, ainda se encontram em processo intermediário de formação, sem a existência de todos os seus horizontes e com baixo nível de material orgânico. Os horizontes do solo, segundo as classificações mais comuns, são:

Horizonte O (horizonte orgânico) – camada externa do solo composta por material orgânico em estágio de decomposição.

Horizonte A – é o horizonte mineral mais próximo da superfície, com uma relativa presença de matéria orgânica.

Horizonte B – é o horizonte de acumulação, com uma grande presença de minerais e com baixo acúmulo de material orgânico.

Horizonte C – camada formada por partes fragmentadas da rocha mãe, muitas vezes com sedimentos menores nas suas partes mais altas e com saprólitos e partes de rochas em sua parte inferior.

13 DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS



Fonte: brasilecola.uol.com.br

13.1 Deslizamentos

O deslizamento é um fenômeno provocado pelo escorregamento de materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados, denominados de encostas. Ocorre em áreas de relevo acidentado, das quais foram retiradas a cobertura vegetal original que é responsável pela consistência do solo e que impede, através das raízes, o escoamento das águas. O deslizamento de terra se difere dos processos erosivos pela quantidade de massa transportada a uma grande velocidade. Esses fenômenos naturais e/ou antrópicos, causam problemas imediatos para a população, independentemente de sua condição social, e também para o meio ambiente.

O Brasil, pelo fato de ter predominância de clima tropical, existem grandes índices pluviométricos no verão, que corresponde ao período chuvoso, com isso as encostas naturalmente são locais de risco ao deslizamentos de terra.

É notório que os deslizamentos em encostas e morros urbanos vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nestes últimos anos, devido ao crescimento desordenado das

idades, com a ocupação de novas áreas de risco, principalmente pela população mais carente.

Muitas cidades, em sua expansão, avançam para terrenos topograficamente mais inclinados e geologicamente instáveis. É o caso da ocupação de vertentes de morros ou de obras efetuadas em áreas extremamente suscetíveis a intempéries intensas ou solos fragilizados.

A época de ocorrência dos deslizamentos coincide com o período das chuvas, intensas e prolongadas, visto que as águas escoadas e infiltradas vão desestabilizar as encostas. Nos morros, os terrenos são sempre inclinados e, quando a água entra na terra, pode acontecer um deslizamento e destruir as casas que estão em baixo. Desta maneira, os escorregamentos em áreas de encostas ocupadas costumam ocorrer em taludes de corte, aterros e taludes naturais agravados pela ocupação e ação humana.

Quando ocorrem as precipitações o solo absorve uma parcela da água, no entanto, outra parte se locomove em forma de enxurrada na superfície do terreno, a parte de água que se infiltra no solo se confronta com alguns tipos de rochas impermeáveis, com isso a água não encontra passagem e começa acumular-se em único local tornando, dessa forma, o solo saturado de umidade que não consegue suportar e se rompe, desencadeando o deslizamento de terras nas encostas até a base dos morros.

Os motivos que desencadeiam esse processo estão ligados à retirada da cobertura vegetal de áreas de relevo acidentado, habitação humana em locais impróprios, oferecendo condições propícias para o desenvolvimento de deslizamentos em encostas.

Há que considerar três fatores de influência na ocorrência dos deslizamentos:⁸

- Tipo de solo: sua constituição, granulometria e nível de coesão;
- Declividade da encosta: cujo grau define o ângulo de repouso, em função do peso das camadas, da granulometria e nível de coesão;
- Água de embebição: que contribui para aumentar o peso específico das camadas; reduzir o nível de coesão e o atrito, responsáveis pela consistência do solo, e lubrificar as superfícies de deslizamento.

⁸ Extraído de: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/deslizamentos-encostas.htm>

Os deslizamentos são responsáveis por inúmeras vítimas fatais e grandes prejuízos materiais. Como exemplo, pode-se citar o ocorrido em Angra, sendo que os deslizamentos aconteceram por causa das acomodações de uma porção do terreno que se movimentou devido à quebra de atrito entre solo/subsolo ou solo/rocha matriz. O fenômeno ocorreu por causa da grande quantidade de água da chuva que se infiltrou no solo e o deslizamento ocorreu quando houve o movimento do material superficial, com a força da gravidade. Some-se a isso, o fato de as construções estarem localizadas no sopé das encostas, destino natural dos sedimentos soltos que vão sendo carregados pela água da chuva.

Outro fato está relacionado ao morro do Bumba, em Niterói. Como o local onde a comunidade estava instalada abrigou um grande depósito de lixo até 1986, uma das versões é a de que o acúmulo de gás metano no subsolo da favela teria provocado uma explosão, precipitando o deslizamento da encosta. Especialistas também afirmam outras duas causas prováveis: a de um escorregamento no alto do morro, provocado pela chuva forte que caiu nos dois dias antes da tragédia, e encharcou a terra, ou o deslocamento do solo na base da comunidade. O fato de ter sido erguida sobre um antigo lixão, torna essa comunidade ainda mais instável.

Especialistas também afirmam, que com uma camada de terra de apenas 1 a 2 metros de espessura sobre rochas que, com o tempo, foram se despregando do maciço original, o terreno dos morros se tornou instável e com baixa capacidade de absorver a água. Desta maneira, pesados e encharcados de água, as rochas e o solo se soltam e deslizam. Outro fator das causas da tragédia, também está associado ao conjunto de maciços, que representa um terço do território da cidade do Rio de Janeiro, o qual dificulta a dissipação das frentes frias.

Comparando a situação acima, com o Morro da Carioca (Centro de Angra), ambas são resultado de uma enorme ocupação irregular, porém, o volume de terra e quantidade de vítimas no primeiro caso, parecem ser maiores. Mas, o fato é que a situação demonstra um dos maiores deslizamentos da história do Estado do Rio.

O governador do Rio, Sérgio Cabral Filho, anunciou que utilizará R\$ 1 bilhão para a remoção de famílias que vivem em áreas de "altíssimo risco". As remoções integram o Plano Diretor de Ocupação que o governo do Estado disponibilizará para os municípios

do Rio.

É importante ressaltar que a legislação só permite ao governo federal liberar verba para remoção a moradores que tenham título de propriedade. Porém, o Congresso pode flexibilizar certas regras e facilitar esse processo, pois é urgente a necessidade de se remover quem vive em locais de risco. Por isso, as remoções devem ser feitas com planejamento e indenização, sendo que as pessoas devem ser removidas para lugares com infraestrutura e acessibilidade.

13.2 Sinais que indicam que pode ocorrer um deslizamento

- Aparecimento de fendas, depressões no terreno, rachaduras nas paredes das casas, inclinação de tronco de árvores, de postes e o surgimento de minas d'água. Ocorrendo um desses sinais, a Defesa Civil deve ser imediatamente acionada.



Fonte: ambientelegal.com.br

13.3 Como evitar um deslizamento

- Não destruir a vegetação das encostas;

- No caso de vazamentos, consertar o mais rápido possível e não deixar a água escorrendo pelo chão - o ideal é construir canaletas;
- Juntar o lixo em depósitos para o dia da coleta e não o deixar entulhado no morro;
- Não amontoar sujeira e lixo em lugares inclinados porque eles entopem a saída de água e desestabilizam os terrenos provocando deslizamentos;
- Não jogar lixo em vias públicas ou barreiras, pois ele aumenta o peso e o perigo de deslizamento, assim, deve-se jogar o lixo e entulho em latas ou cestos apropriados;
- Não dificultar o caminho das águas de chuva com lixo por exemplo;
- As barreiras em morros devem ser protegidas por drenagem de calhas e canaletas para escoamento da água da chuva;
- Não fazer cortes nos terrenos de encostas sem licença da Prefeitura, para evitar o agravamento da declividade;
- Solicitar a Defesa Civil, em caso de morros e encostas, a colocação de lonas plásticas nas barreiras;
- As barreiras devem ser protegidas com vegetação que tenham raízes compridas, gramas e capins que sustentam mais a terra;
- Em morros e encostas, não plantar bananeiras e outras plantas de raízes curtas, porque as raízes dessas árvores não fixam o solo e aumentam os riscos de deslizamentos;
- Pode-se plantar para que a terra não seja carregada pela água da chuva. Perto das casas: pequenas fruteiras, plantas medicinais e de jardim, tais como: goiaba, pitanga, carambola, laranja, limão, pinha, acerola, urucum, jasmim, rosa, pata-de-vaca, hortelã, cidreira, boldo e capim santo. Nas encostas pode-se plantar: capim braquiária, capim gordura, capim-de-burro, capim sândalo, capim gengibre, grama germuda, capim chorão, grama pé-de-galinha, grama forquilha e grama batatais. A vegetação irá proteger as encostas.
- Em morros e encostas não plantar mamão, fruta-pão, jambo, coco, banana, jaca e árvores grandes, pois acumulam água no solo e provocam quedas de barreiras.

14 ÁREAS DE RISCO, GEOLOGIA E URBANISMO

Os graves e recorrentes problemas de ordem geológico-geotécnica que têm vitimado milhares de brasileiros, como processos de erosão/assoreamento/enchentes, acidentes associados a deslizamentos de taludes e encostas, produção maciça de áreas de risco, têm tido sua principal origem na incompatibilidade entre as técnicas de ocupação urbana e as características geológicas e geotécnicas dos terrenos onde são implantadas.

Ou são ocupados terrenos que por sua alta instabilidade geológica natural não deveriam nunca ser ocupados, ou são inadequadamente ocupadas áreas de até baixo risco natural, perfeitamente passíveis de receber a ocupação urbana, com o que, mesmo nessas condições naturais mais favoráveis, são geradas situações de alto risco geotécnico.

O fato é que não possuímos no país uma cultura técnica arquitetônica e urbanística especialmente adequada à ocupação de terrenos com acentuada declividade. Isso se verifica tanto nas formas espontâneas utilizadas pela própria população de baixa renda na autoconstrução de suas moradias, como também em projetos privados ou públicos de maior porte que contam com o suporte técnico de arquitetos e urbanistas e têm, apesar do erro básico e grave de concepção, sua implantação autorizada pelos órgãos municipais responsáveis para tanto.

Em ambos os casos, ou seja, no empirismo popular e nos projetos mais elaborados, prevalece infelizmente a cultura técnica da área plana. Isto é, através de cortes e aterros obtidos por operações de terraplenagem obsessivamente se produzem os platôs planos sobre os quais irá ser edificado o empreendimento. Esse tem sido o cacoete técnico que está invariavelmente presente na maciça produção de áreas de risco nas cidades brasileiras que, de alguma forma, crescem sobre relevos mais acidentados.

É imperiosa a necessidade de o urbanismo brasileiro incorporar em sua teoria e sua prática os cuidados com as características geológicas dos terrenos afetados. Essa nova cultura automaticamente levaria a uma mais estreita colaboração entre Arquitetura, Geologia e Geotecnia. Como concisa diretriz, podemos entender que está colocado o seguinte desafio à arquitetura e ao urbanismo brasileiros: usar a ousadia e a criatividade

para adequar seus projetos à Natureza, ao invés de, burocraticamente e comodamente, pretender adequar a Natureza a seus projetos.

Sobre o limite máximo de declividade compatível com a ocupação urbana, podemos assumir uma extensão legal da Lei Lehmann. Essa lei, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano no território nacional, em seu Artigo 3º, item III, proíbe a ocupação urbana de encostas com declividade igual ou superior a 30% (~16,5º), abrindo exceção para situações onde são atendidas exigências específicas das autoridades competentes. Poderíamos imaginar um aperfeiçoamento dessa legislação, retirando a estranha exceção e estendendo o limite superior da declividade permitida para 35% (~20º), uma vez atendidos obrigatoriamente certos conceitos básicos de arranjo urbanístico e técnicas construtivas.

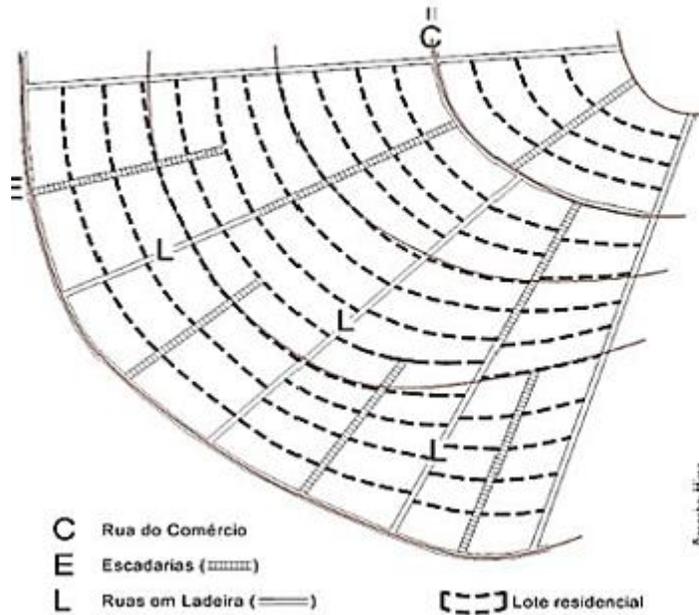
Podemos assim entender os conceitos básicos que devem reger a ocupação urbana de encostas com declividade até 35%:

- prescindir de cortes e aterros superiores a 1 (um) metro de altura;
- lotes com a maior extensão paralela às curvas de nível;
- evitar ruas a nível e privilegiar ruas em ladeira;
- proibição de fossas de infiltração;
- execução do sistema de drenagem superficial, da pavimentação urbana e das proteções contra a erosão concomitantemente à implantação do loteamento.

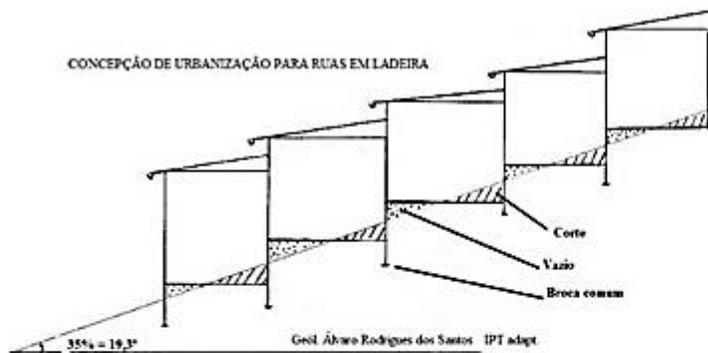
A seguir são reproduzidos alguns modelos de concepções urbanísticas e técnicas construtivas aderentes a esses conceitos básicos, os quais deveriam ser adotados pelos municípios como referências para a aprovação da ocupação urbana de suas áreas com declividade até 35%.

DETALHE DO SETOR RESIDENCIAL

Geol. Álvaro Rodrigues dos Santos



Fonte: forumdaconstrucao.com.br



Casas justapostas em rua em ladeira com minimização do corte necessário. Lotes com maior dimensão paralela às curvas de nível.



Laje de piso lançada sobre pilotis como expediente para se evitar cortes e aterros (Manual de Ocupação de Encostas do IPT)



Rua em ladeira a 30% de declividade corretamente ocupada no bairro do Tucuruvi, em São Paulo

Fonte: forumdaconstrucao.com.br

15 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é um processo natural que mantém a água em constante transição entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionada, principalmente, pela gravidade, radiação solar e a inclinação do planeta Terra.

Estudos já revelaram que a quantidade de água no planeta terra é constante, porém é importante ressaltar que a afirmação é verdadeira quando se fala a nível global, na qual o ciclo da água é considerado fechado.

Quando se fala em ciclo da água a nível regional ou local, este já pode ser alterado tanto quantitativamente ou em seus processos, o que vem acontecendo com uma frequência acelerada, sendo as atividades antrópicas as grandes responsáveis por essa alteração, com exemplo nas áreas urbanas, o aumento das áreas impermeáveis o que resulta na diminuição da infiltração da água da chuva no solo, aumentando o escoamento superficial e conseqüentemente na ocorrência de enchentes e inundações nessas áreas.

Segue abaixo uma breve descrição dos principais componentes para o funcionamento do ciclo hidrológico:

Evaporação: é o processo na qual a água em estado líquido é alterada para o estado gasoso impulsionado pela radiação solar.

Condensação: é o fenômeno que ocorre para a mudança do estado físico gasoso para o líquido.

Precipitação: Impulsionada pela gravidade conjugada com a condensação a água presente na atmosfera em seu estado gasoso é precipitada para a superfície terrestre.

Escoamento Superficial: é o deslocamento d'água que está em excesso na superfície do solo, naturalmente impulsionada pela declividade e gravidade.

Escoamento subterrâneo: é o deslocamento d'água que está sub superfície terrestre.

Evapotranspiração: é o processo da conjugação da evaporação das águas que se acumulam nas copas das árvores em florestas com a transpiração da água que ocorre nos vegetais.

Interceptação: são as águas que ficam armazenadas nas copas das árvores nas florestas e assim retornam para a atmosfera pela evaporação.

Infiltração: é o deslocamento da água verticalmente no solo, deslocando-se para o seu interior formando os aquíferos.⁹

⁹ Extraído de: <http://www.logicambiental.com.br/o-ciclo-hidrologico/>

Figura – O Ciclo Hidrológico



Fonte: USGS (United States Geological Survey)

O ciclo se inicia a partir da radiação solar somado com o processo que ocorre no metabolismo dos seres vivos (evapotranspiração), os quais fornecem energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação). Agregado a este processo, à força da gravidade, a água condensada nas nuvens se precipita (precipitação). Uma vez na superfície terrestre a água perpassa ou não pela vegetação (interceptação) e o solo e circula através de linhas de água que se reúnem em córregos e rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltra no solo (infiltração) e nas rochas entre os poros, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo).

O conhecimento do ciclo da água é de fundamental importância para os projetos ambientais, principalmente quando se trata a nível regional ou local, pois com dados de alguns componentes é possível fazer algumas previsões importantes, como exemplo, conhecer sobre as melhores áreas e os melhores períodos para se plantar ou colher uma determinada cultura vegetal ou ainda para saber se determinada quantidade de chuva irá causar impacto negativo em novo empreendimento a ser instalado, assim como se pode

citar também sobre sua importância nas tomadas de decisões para o planejamento estratégico urbano, gestão e monitoramento ambiental, além de outros mecanismos que se pode relacionar com o ciclo hidrológico.

O fato é que o desenvolvimento deve sempre continuar, no entanto, com responsabilidade ambiental.

16 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, O QUE SÃO?

16.1 Águas Subterrâneas

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada.

Após a precipitação, parte das águas que atinge o solo se infiltra e percola no interior do subsolo, durante períodos de tempo extremamente variáveis, decorrentes de muitos fatores:¹⁰

- porosidade do subsolo: a presença de argila no solo diminui sua permeabilidade, não permitindo uma grande infiltração;
- cobertura vegetal: um solo coberto por vegetação é mais permeável do que um solo desmatado;
- inclinação do terreno: em declividades acentuadas a água corre mais rapidamente, diminuindo a possibilidade de infiltração;
- tipo de chuva: chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

¹⁰ Extraído de: <http://www.abas.org/educacao.php>

Durante a infiltração, uma parcela da água sob a ação da força de adesão ou de capilaridade fica retida nas regiões mais próximas da superfície do solo, constituindo a zona não saturada. Outra parcela, sob a ação da gravidade, atinge as zonas mais profundas do subsolo, constituindo a zona saturada (figura 2.1).

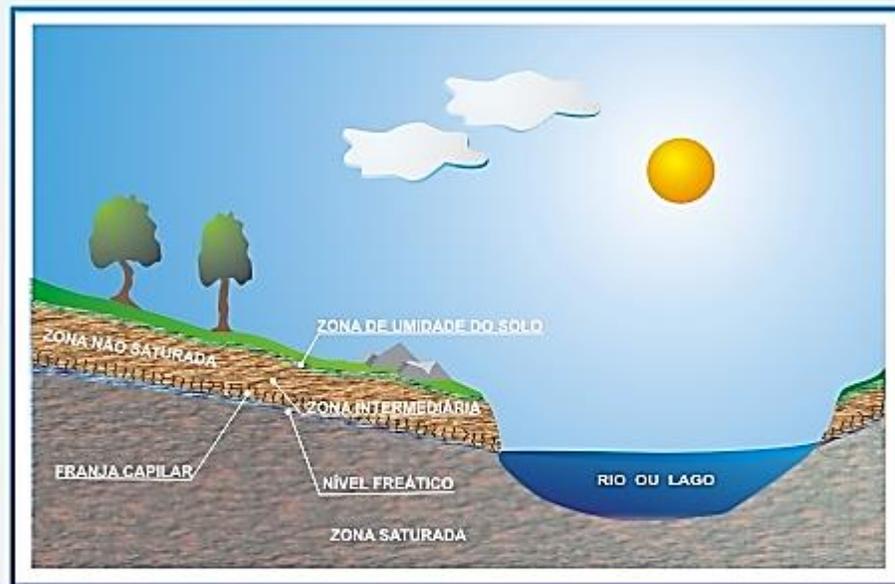


FIGURA 2.1

FONTE: BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004)

FIGURA 2.1 - CARACTERIZAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS ZONAS NÃO SATURADA E SATURADA NO SUBSOLO

Zona não saturada: também chamada de zona de aeração ou vadosa, é a parte do solo que está parcialmente preenchida por água. Nesta zona, pequenas quantidades de água distribuem-se uniformemente, sendo que as suas moléculas se aderem às superfícies dos grãos do solo. Nesta zona ocorre o fenômeno da transpiração pelas raízes das plantas, de filtração e de autodepuração da água. Dentro desta zona encontra-se:

- Zona de umidade do solo: é a parte mais superficial, onde a perda de água de adesão para a atmosfera é intensa. Em alguns casos é muito grande a quantidade de sais que se precipitam na superfície do solo após a evaporação dessa água, dando origem a solos salinizados ou a crostas ferruginosas (lateríticas). Esta zona serve de

suporte fundamental da biomassa vegetal natural ou cultivada da Terra e da interface atmosfera / litosfera.

- Zona intermediária: região compreendida entre a zona de umidade do solo e da franja capilar, com umidade menor do que nesta última e maior do que a da zona superficial do solo. Em áreas onde o nível freático está próximo da superfície, a zona intermediária pode não existir, pois a franja capilar atinge a superfície do solo. São brejos e alagadiços, onde há uma intensa evaporação da água subterrânea.

- Franja de capilaridade: é a região mais próxima ao nível d'água do lençol freático, onde a umidade é maior devido à presença da zona saturada logo abaixo.

Zona saturada: é a região abaixo da zona não saturada onde os poros ou fraturas da rocha estão totalmente preenchidos por água. As águas atingem esta zona por gravidade, através dos poros ou fraturas até alcançar uma profundidade limite, onde as rochas estão tão saturadas que a água não pode penetrar mais. Para que haja infiltração até a zona saturada, é necessário primeiro satisfazer as necessidades da força de adesão na zona não saturada. Nesta zona, a água corresponde ao excedente de água da zona não saturada que se move em velocidades muito lentas (em/dia), formando o manancial subterrâneo propriamente dito. Uma parcela dessa água irá desaguar na superfície dos terrenos, formando as fontes, olhos de água. A outra parcela desse fluxo subterrâneo forma o caudal basal que deságua nos rios, perenizando-os durante os períodos de estiagem, com uma contribuição multianual média da ordem de 13.000 km³/ano (PEIXOTO e OORT, 1990, citado por REBOUÇAS, 1996), ou desagua diretamente nos lagos e oceanos.

A superfície que separa a zona saturada da zona de aeração é chamada de nível freático, ou seja, este nível corresponde ao topo da zona saturada (IGM, 2001). Dependendo das características climatológicas da região ou do volume de precipitação e escoamento da água, esse nível pode permanecer permanentemente a grandes profundidades, ou se aproximar da superfície horizontal do terreno, originando as zonas encharcadas ou pantanosas, ou convertendo-se em mananciais (nascentes) quando se aproxima da superfície através de um corte no terreno.

16.2 Ocorrência e Volume das Águas Subterrâneas

Assim como a distribuição das águas superficiais é muito variável, a das águas subterrâneas também é, uma vez que elas se inter-relacionam no ciclo hidrológico e dependem das condições climatológicas. Entretanto, as águas subterrâneas (10.360.230 km³) são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos (92.168 km³). Embora elas encontrem-se armazenadas nos poros e fissuras milimétricas das rochas, estas ocorrem em grandes extensões, gerando grandes volumes de águas subterrâneas na ordem de, aproximadamente, 23.400 km³, distribuídas em uma área aproximada de 134,8 milhões de km² (SHIKWMANOV, 1998), constituindo-se em importantes reservas de água doce.

Alguns especialistas indicam que a quantidade de água subterrânea pode chegar até 60 milhões de km³, mas a sua ocorrência em grandes profundidades pode impossibilitar seu uso. Por essa razão, a quantidade passível de ser captada estaria a menos de 4.000 metros de profundidade, compreendendo cerca de 8 e 10 milhões de km³ (CEPIS, 2000), que, segundo Rebouças et al. (2002), estaria assim distribuída: 65.000 km³ constituindo a umidade do solo; 4,2 milhões de km³ desde a zona não-saturada até 750 m de profundidade, e 5,3 milhões de km³ de 750 m até 4.000 m de profundidade, constituindo o manancial subterrâneo.

Além disso, a quantidade de água capaz de ser armazenada pelas rochas e pelos materiais não consolidados em geral depende da porosidade dessas rochas, que pode ser de até 45% (IGM, 2001), da comunicação desses poros entre si ou da quantidade e tamanho das aberturas de fraturas existentes.

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km³ (112 trilhões de m³) e a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 2.400 km³ /ano (REBOUÇAS, 1988 citado em MMA, 2003). Nem todas as formações geológicas possuem características hidrodinâmicas que possibilitem a extração econômica de água subterrânea para atendimento de médias e grandes vazões pontuais. As vazões já obtidas por poços variam, no Brasil, desde menos de 1 m³/h até mais de 1.000 m³/h (FUNDAJ, 2003).

Na Argentina, a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 128 km³/ano, no Paraguai, de 41 km³/ano e no Uruguai, de 23 km³/ano (FAO,2000).

16.3 Qualidade das Águas Subterrâneas

Durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração da mesma através de uma série de processos físico-químicos (troca iônica, decaimento radioativo, remoção de sólidos em suspensão, neutralização de pH em meio poroso, entre outros) e bacteriológicos (eliminação de micro-organismos devido à ausência de nutrientes e oxigênio que os viabilizem) que agindo sobre a água, modificam as suas características adquiridas anteriormente, tornando-a particularmente mais adequada ao consumo humano (SILVA, 2003).

Sendo assim, a composição química da água subterrânea é o resultado combinado da composição da água que adentra o solo e da evolução química influenciada diretamente pelas litologias atravessadas, sendo que o teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue no seu movimento (SMA, 2003).

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios: são filtradas e purificadas naturalmente através da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios; não ocupam espaço em superfície; sofrem menor influência nas variações climáticas; são passíveis de extração perto do local de uso; possuem temperatura constante; têm maior quantidade de reservas; necessitam de custos menores como fonte de água; as suas reservas e captações não ocupam área superficial; apresentam grande proteção contra agentes poluidores; o uso do recurso aumenta a reserva e melhora a qualidade; possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade (WREGGE,1997).

16.4 Uso das Águas Subterrâneas

Segundo Leal (1999), a exploração de água subterrânea está condicionada a fatores quantitativos, qualitativos e econômicos:

- Quantidade: intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento dos terrenos. Os aquíferos têm diferentes taxas de recarga, alguns deles se recuperam lentamente e em outros a recuperação é mais regular;
- Qualidade: influenciada pela composição das rochas e condições climáticas e de renovação das águas;
- Econômico: depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento.

Contudo, o aproveitamento das águas subterrâneas data de tempos antigos e sua evolução tem acompanhado a própria evolução da humanidade, sendo que o seu crescente uso se deve ao melhoramento das técnicas de construção de poços e dos métodos de bombeamento, permitindo a extração de água em volumes e profundidades cada vez maiores e possibilitando o suprimento de água a cidades, indústrias, projetos de irrigação, etc.

A relação, em termos de demanda quanto ao uso, varia entre os países, e nestes, de região para região, constituindo o abastecimento público, de modo geral, a maior demanda individual (PROASNE, 2003).

Segundo Leal (1999), praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades. Países como a Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia e Suíça atendem de 70 a 90% da demanda para o abastecimento público (OECD, 1989 citado por REBOUÇAS et al., 2002). Outros utilizam a água subterrânea no atendimento total (Dinamarca, Arábia Saudita, Malta) ou apenas como suplementação do abastecimento público e de atividades como irrigação, produção de energia, turismo, indústria, etc. (PIMENTEL, 1999). Na Austrália, 60% do país depende totalmente do manancial subterrâneo e em mais de 20% o seu uso é preponderante (HARBERMEHL, 1985 citado por REBOUÇAS et al., 2002). A cidade do México atende cerca de 80% da demanda dos quase 20 milhões de habitantes (GARDUÑO e ARREGUIN-CORTES, 1994 citado por REBOUÇAS et al., 2002).

A UNESCO estimava, em 1992, que mais de 50% da população mundial poderia estar sendo abastecida pelo manancial subterrâneo (REBOUÇAS et al., 2002).

Regiões áridas e semiáridas (Nordeste do Brasil e a Austrália), e certas ilhas, têm a água subterrânea como o único recurso hídrico disponível para uso humano. Até regiões desérticas, como a Líbia, têm a demanda de água em cidades e na irrigação atendida por poços tubulares perfurados em pleno deserto do Saara.

Estima-se em 300 milhões o número de poços perfurados no mundo nas três últimas décadas (UNESCO, 1992 citado por REBOUÇAS et al., 2002), 100 milhões dos quais nos Estados Unidos, onde são perfurados cerca de 400 mil poços por ano, com uma extração de mais de 120 bilhões de m³/ano, atendendo mais de 70% do abastecimento público e das indústrias.

Na África do Norte, China, Índia, Estados Unidos e Arábia Saudita, cerca de 160 bilhões de toneladas de água são retirados por ano e não se renovam. Essa água daria para produzir comida suficiente para 480 milhões de pessoas por ano (RODRIGUES, 2000).

A expansão das terras agrícolas vem provocando também o uso intensivo das águas subterrâneas, além do uso habitual das fontes superficiais. Existem diversos exemplos no mundo de esgotamento de aquíferos por sobre exploração para uso em irrigação (CEPIS, 2000). Avalia-se que existam no mundo 270 milhões de hectares irrigados com água subterrânea, 13 milhões desses nos Estados Unidos e 31 milhões na Índia (PROASNE, 2003).

Vários núcleos urbanos no Brasil abastecem-se de água subterrânea de forma exclusiva ou complementar, constituindo o recurso mais importante de água doce. Indústrias, propriedades rurais, escolas, hospitais e outros estabelecimentos utilizam, com frequência, água de poços profundos. O maior volume de água ainda é, todavia, destinado ao abastecimento público. Importantes cidades do país dependem integral ou parcialmente da água subterrânea para abastecimento, como, por exemplo: Ribeirão Preto (SP), Mossoró e Natal (RN), Maceió (AL), Região Metropolitana de Recife (PE) e Barreiras (BA). No Maranhão, mais de 70% das cidades são abastecidas por águas subterrâneas, e em São Paulo e no Piauí esse percentual alcança 80%. As águas subterrâneas termais estimulam o turismo em cidades como Caldas Novas em Goiás,

Araxá e Poços de Caldas em Minas Gerais. Além disso, atualmente, a água mineral é amplamente usada pelas populações dos centros urbanos, por sua qualidade (MMA, 2003). Mesmo em casos de elevado teor salino, como nas áreas de ocorrência dos sistemas aquíferos fissurados do semiárido nordestino, as águas subterrâneas constituem, não raro, a única fonte de suprimento permanente (LEAL, 1999).

Segundo o Censo de 2000 (IBGE, 2003), aproximadamente 61 % da população brasileira é abastecida, para fins domésticos, com água subterrânea, sendo que 6% se auto abastece das águas de poços rasos, 12% de nascentes ou fontes e 43% de poços profundos. Portanto, o número de poços tubulares em operação no Brasil está estimado em cerca de 300.000, com um número anual de perfurações de aproximadamente 10.000, o que pode ser considerado irrisório diante das necessidades de água potável das populações e se comparado com outros países (MMA, 2003). Os estados com maior número de poços perfurados são: São Paulo (40.000), Bahia, Rio Grande do Sul, Ceará e Piauí (LEAL, 1999).

17 AQUÍFEROS

Aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas. Outro conceito refere-se a aquífero como sendo, somente, o material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor da água aí armazenada. Assim, uma litologia só será aquífera se, além de ter seus poros saturados (cheios) de água, permitir a fácil transmissão da água armazenada.

Um aquífero pode ter extensão de poucos quilômetros quadrados a milhares de quilômetros quadrados, ou pode, também, apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros (REBOUÇAS et al., 2002). Etimologicamente, aquífero significa: aqui = água; fero = transfere; ou do grego, suporte de água (HEINEN et al., 2003).

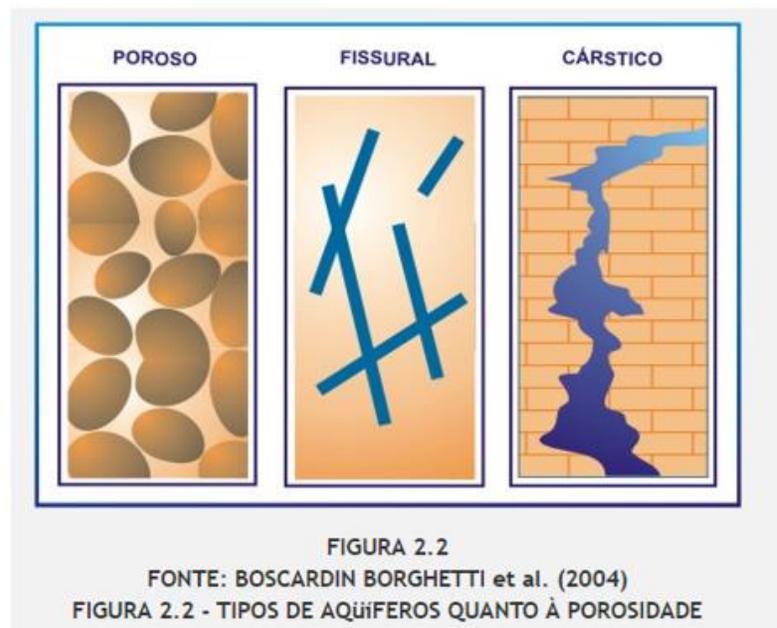
Os aquíferos mais importantes do mundo, seja por extensão ou pela transnacionalidade, são: o Guarani - Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai (1,2 milhões de km²); o Arenito Núbia Líbia, Egito, Chade, Sudão (2 milhões de km²); o KalaharijKaroo -Namíbia,

Bostwana, África do Sul (135 mil km²); o Digitalwaterway vechte - Alemanha, Holanda (7,5 mil km²); o SlovakKarst-Aggtelek -República Eslováquia e Hungria); o Praded - República Checa e Polônia (3,3 mil km²) (UNESCO, 2001); a Grande Bacia Artesiana (1,7 milhões km²) e a Bacia Murray (297 mil km²), ambos na Austrália. Em um recente levantamento, a UNECE da Europa constatou que existem mais de 100 aquíferos transnacionais naquele continente (ALMASSY e BUZAS, 1999 citado em UNESCO, 2001).

17.1 Tipos de Aquíferos

A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Essa litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcárias), determinando os diferentes tipos de aquíferos.

Quanto à porosidade, existem três tipos aquíferos (figura 2.2):

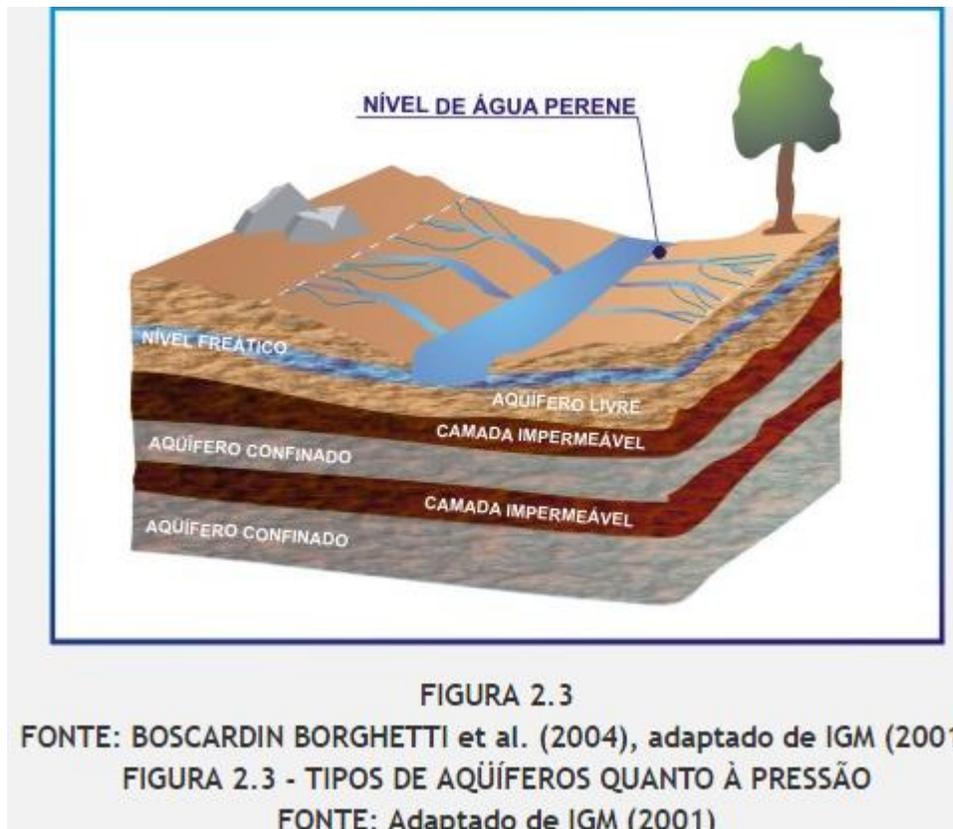


- **Aquífero poroso ou sedimentar** - é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia.

- **Aquífero fraturado ou fissural** - formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. Ex.: basalto, granitos, gabros, filões de quartzo, etc. (SMA, 2003). A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houverem fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras.

- **Aquífero cárstico (Karst)** - formado em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diaclasses) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore.

Quanto à superfície superior (segundo a pressão da água), os aquíferos podem ser de dois tipos (figura 2.3):



- **Aquífero livre ou freático** - é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta. Em aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação.

- **Aquífero confinado ou artesianos** - é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas. Os aquíferos

confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares).

O aquífero semi-confinado que é aquele que se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si. O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semi-confinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes. Em certas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semi-confinado subjacentes, ou vice-versa. Zonas de fraturas ou falhas geológicas poderão, também, constituir-se em pontos de fuga ou recarga da água da camada confinada.

Em uma perfuração de um aquífero confinado, a água subirá acima do teto do aquífero, devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A altura a que a água sobe chama-se nível potenciométrico e o furo é artesiano. Numa perfuração de um aquífero livre, o nível da água não varia porque corresponde ao nível da água no aquífero, isto é, a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água é designado então de nível freático (figura 2.4.).



17.2 Áreas de Recarga e Descarga do Aquífero

Um aquífero apresenta uma reserva permanente de água e uma reserva ativa ou reguladora que são continuamente abastecidas através da infiltração da chuva e de outras fontes subterrâneas. As reservas reguladoras ou ativas correspondem ao escoamento de base dos rios.

A área por onde ocorre o abastecimento do aquífero é chamada zona de recarga, que pode ser direta ou indireta. O escoamento de parte da água do aquífero ocorre na zona de descarga (ANA, 2001).

Zona de recarga direta: é aquela onde as águas da chuva se infiltram diretamente no aquífero, através de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas sobrejacentes. Sendo assim, a recarga sempre é direta nos aquíferos livres, ocorrendo em toda a superfície acima do lençol freático. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre preferencialmente nos locais onde a formação portadora de água aflora à superfície.

Zona de recarga indireta: são aquelas onde o reabastecimento do aquífero se dá a partir da drenagem (filtração vertical) superficial das águas e do fluxo subterrâneo indireto, ao longo do pacote confinante sobrejacente, nas áreas onde a carga potencio métrica favorece os fluxos descendentes.

Zona de descarga: é aquela por onde as águas emergem do sistema, alimentando rios e jorrando com pressão por poços artesianos.

As maiores taxas de recarga ocorrem nas regiões planas, bem arborizadas, e nos aquíferos livres. Nas regiões de relevo acidentado, sem cobertura vegetal, sujeitas a práticas de uso e ocupação que favorecem as enxurradas, a recarga ocorre mais lentamente e de maneira limitada (REBOUÇAS et al., 2002).

Sob condições naturais, apenas uma parcela dessas reservas reguladoras é passível de exploração, constituindo o potencial ou reserva explorável. Em geral, esta parcela é calculada entre 25% e 50% das reservas reguladoras (REBOUÇAS, 1992 citado em ANA, 2001). Esse volume de exploração pode aumentar em função das condições de ocorrência e recarga, bem como dos meios técnicos e financeiros disponíveis, considerando que a soma das extrações com as descargas naturais do aquífero para rios e oceano, não pode ser superior à recarga natural do aquífero.

18 FUNÇÕES DOS AQUÍFEROS

Além de suprir água suficiente para manter os cursos de águas superficiais estáveis (função de produção), os aquíferos também ajudam a evitar seu transbordamento, absorvendo o excesso da água da chuva intensa (função de regularização). Na Ásia tropical, onde a estação quente pode durar até 9 meses e onde as chuvas de monção podem ser bastante intensas, esse duplo serviço hidrológico é crucial (SAMPAT,2001).

Segundo o mesmo autor, os aquíferos também proporcionam uma forma de armazenar água doce sem muita perda pela evaporação - outro serviço particularmente valioso em regiões quentes, propensas à seca, onde essas perdas podem ser extremamente altas. Na África, por exemplo, em média, um terço da água extraída de reservatórios todo ano perde-se pela evaporação. Os pântanos, habitats importantes para as aves, peixes e outras formas de vida silvestre, nutrem-se, normalmente, de água subterrânea, onde o lençol freático aflora à superfície em ritmo constante. Onde há muita exaustão de água subterrânea, o resultado é, frequentemente, leitos secos de rios e pântanos ressecados.

Portanto, os aquíferos podem cumprir as seguintes funções (REBOUÇAS et al., 2002):

- Função de produção: corresponde à sua função mais tradicional de produção de água para o consumo humano, industrial ou irrigação.

- Função de estocagem e regularização: utilização do aquífero para estocar excedentes de água que ocorrem durante as enchentes dos rios, correspondentes à capacidade máxima das estações de tratamento durante os períodos de demanda baixa, ou referentes ao reuso de efluentes domésticos e/ ou industriais.

- Função de filtro: corresponde à utilização da capacidade filtrante e de depuração biogeoquímica do maciço natural permeável. Para isso, são implantados poços a distâncias adequadas de rios perenes, lagoas, lagos ou reservatórios, para extrair água naturalmente clarificada e purificada, reduzindo substancialmente os custos dos processos convencionais de tratamento.

- Função ambiental: a hidrogeologia evoluiu de enfoque naturalista tradicional (década de 40) para hidráulico quantitativo até a década de 60. A partir daí, desenvolveu-se a hidro química, em razão da utilização intensa de insumos químicos nas áreas urbanas, indústrias e nas atividades agrícolas. Na década de 80 surgiu a necessidade de uma abordagem multidisciplinar integrada da geohidrologia ambiental.

- Função transporte: o aquífero é utilizado como um sistema de transporte de água entre zonas de recarga artificial ou natural e áreas de extração excessiva.

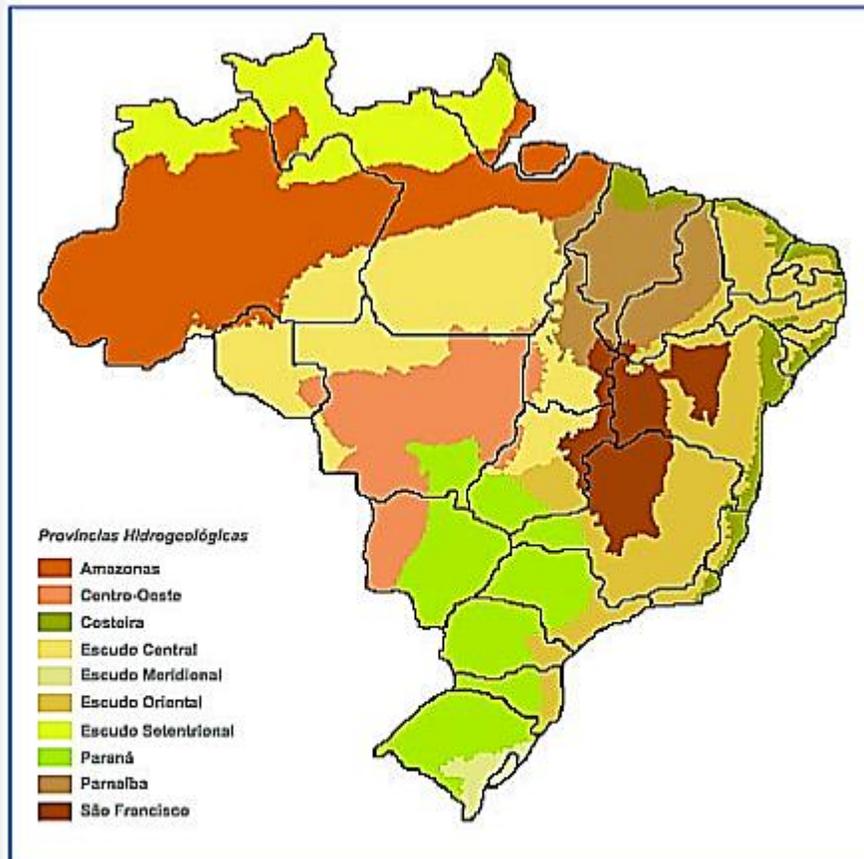
- Função estratégica: a água contida em um aquífero foi acumulada durante muitos anos ou até séculos e é uma reserva estratégica para épocas de pouca ou nenhuma chuva. O gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, inclusive mediante práticas de recarga artificial com excedentes da capacidade das estações de tratamento, os quais ocorrem durante os períodos de menor consumo, com infiltração de águas pluviais e esgotos tratados, originam grandes volumes hídricos. Esses poderão ser bombeados para atender o consumo essencial nos picos sazonais de demanda, nos períodos de escassez relativa e em situações de emergência resultantes de acidentes naturais, como avalanches, enchentes e outros tipos de acidentes que reduzem a capacidade do sistema básico de água da metrópole em questão.

- Função energética: utilização de água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal como fonte de energia elétrica ou termal.

- Função mantenedora: mantém o fluxo de base dos rios (WREGE,1997).

18.1 Ocorrências no Brasil

A combinação das estruturas geológicas com fatores geomorfológicos e climáticos do Brasil resultou na configuração de 10 províncias hidrogeológicas (mapa 2.1), que são regiões com sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água (MMA, 2003). Essas províncias podem estar divididas em subprovíncias.



MAPA 2.1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS DO BRASIL
FONTE: Adaptado de ONPMICPRM, 1983, citado em MMA, 2003

FONTE: BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004), adaptado de MMA(2003)
MAPA 2.1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS
DO BRASIL

FONTE: Adaptado de ONPMICPRM (1983), citado em MMA (2003)

Sendo assim, as águas subterrâneas no Brasil ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino (escudo) até os depósitos sedimentares cenozóicos (bacias sedimentares), reunindo-se em três sistemas aquíferos: porosos, fissurados e cársticos de acordo com a tabela 2.1 (LEAL, 1999). Os escudos são formados por rochas magmáticas e metamórficas e correspondem aos primeiros núcleos de rochas emersas que afloraram desde o início da formação da crosta

terrestre. As bacias sedimentares são depressões preenchidas, ao longo do tempo, por detritos ou sedimentos provenientes de áreas próximas ou distantes que normalmente estão dispostas de forma horizontal (COELHO, 1996).

TABELA 2.1 - PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS E SEUS RESPECTIVOS SISTEMAS AOUÍFEROS

PROVÍNCIA HIDROGEOLÓGICA	DOMÍNIO AOUÍFERO	SISTEMA AOUÍFERO PRINCIPAL	ÁREA (km²)	VOLUME DE ÁGUA (km³)	TOTAL (%)
Escudo Oriental	Substrato Aflorante	Zonas fraturadas	600.000	80	0,07
Escudos Selenitrionai, Central e Meridional	Substrato Aflorante	Matas rochas alteradas e/ou fraturas	4.000.000	10.000	8,90
Amazonas	Bacia Sedimentar Amazonas	Arenitos Barreiras e Alter do Chão	1.300.000	32.500	28,94
Parnaíba	Bacia Sedimentar São Luis - Barreirinhas	Arenitos São Luis e Itapocuru	50.000	250	0,22
Parnaíba	Bacia Sedimentar Maranhão	Arenitos Itapocuru, Cordus-Graça, Mótaca, Poti-Poti, Cabeças, Serra Grande	700.000	17.500	15,58
Costeira	Bacia Sedimentar Potiguar - Recife	Arenitos Barreiras e Agu-Beberibe, Calcário Jandaíra	23.000	230	0,20
Costeira	Bacia Sedimentar Alagoas-Sergipe	Arenitos Barreiras e Marituba	10.000	100	0,09
Costeira	Bacia Sedimentar Jatobá-Tucano-Recôncavo	Arenitos Marizal, Tocaraçu, São Sebastião	56.000	840	0,75
Paraná	Bacia Sedimentar Paraná	Arenitos Bauré-Caiuá, Furnas/Aquidauana, Gaspar, Ricóbranco e Basaltos Serra Geral	1.000.000	50.400	44,88
	Depósitos Diversos	Arenites, duros	773.000	411	0,37
TOTAL			8.512.000	112.311	100

TABELA 2.1

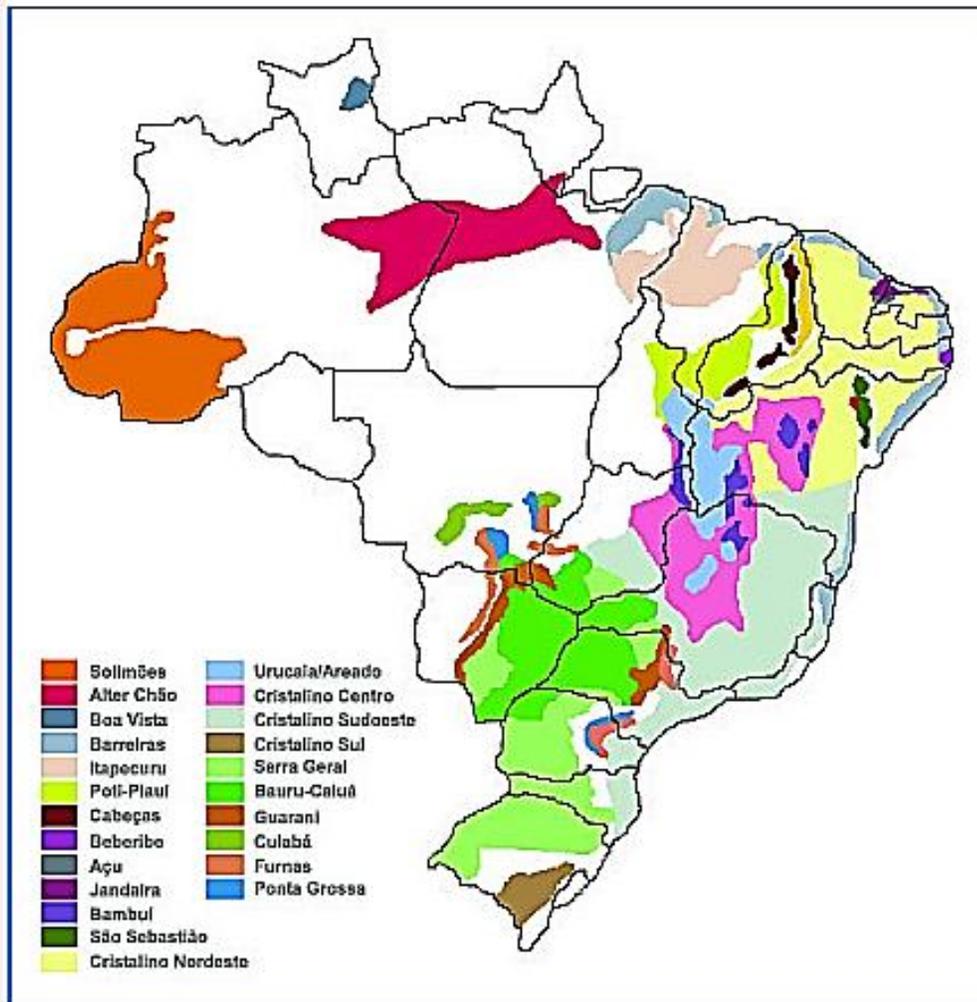
FONTE: BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004), adaptado de MMA, 2003

FONTE: Adaptado de Rebouças (1996) e de Zoby e Matos (2002) citado em MMA (2003)

Os sistemas aquíferos brasileiros (mapa 2.2) armazenam os importantes excedentes hídricos, que alimentam uma das mais extensas redes de rios perenes do mundo, com exceção dos rios temporários, que nascem nos domínios das rochas do embasamento geológico subaflorante do semiárido da região Nordeste (REBOUÇAS et al., 2002), e desempenham, ainda, importante papel socioeconômico, devido à sua potencialidade hídrica (MMA,2003).

Sistemas porosos: formados por rochas sedimentares que ocupam 42% (3,6 milhões de km²) da área total do país e compreendem cinco províncias hidrogeológicas (bacias sedimentares): Amazonas, Paraná, Parnaíba-Maranhão, Centro-Oeste e Costeira. A estruturação geológica, com alternância de camadas permeáveis e impermeáveis, assegura lhes condição de artesianismo. As Bacias do Paraná,

Amazonas, Parnaíba e a Subprovincia Potiguar-Recife destacam-se pela extensão e potencialidade (ABAS, 2003).



MAPA 2.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS AQUÍFEROS BRASILEIROS
 FONTE: MMA, 2003

MAPA 2.2

FONTE: BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004), adaptado de MMA(2003)

MAPA 2.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PRINCIPAIS AQUÍFEROS
 BRASILEIROS

Fonte: Adaptado de MMA (2003)

- As Províncias Amazonas e Parnaíba posicionam-se como a segunda e terceira do Brasil, respectivamente, em volume de água armazenado. A pouca evaporação da Província Amazonas, motivada pela elevada umidade do ar e a cobertura florestal, contribui também para uma maior absorção das águas superficiais pelas suas rochas.

- A Província Centro-Oeste compreende as Subprovíncias Ilha do Bananal, Alto Xingu, Chapada dos Parecis e Alto Paraguai, localizadas na região Centro-Oeste do país, cujos principais aquíferos são o Aquidauana, Parecis e Botucatu.

- A Província Costeira abrange praticamente toda zona costeira do Brasil, excetuando-se as porções dos Estados do Paraná, São Paulo, sul do Rio de Janeiro, norte do Pará, Ilha de Marajó e sudeste do Amapá. Essa província apresenta-se bastante diversificada, por abranger várias bacias sedimentares costeiras, de diferentes constituições e idades geológicas. As suas subprovíncias são: Alagoas/Sergipe; Amapá; Barreirinhas; Ceará/Piauí; Pernambuco; Potiguar; Recôncavo; Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. Os aquíferos mais importantes são os arenitos cretáceos e terciários nas Bacias Potiguar, Alagoas e Sergipe. Os sistemas aquíferos Dunas e Barreiras são utilizados para abastecimento humano nos Estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. O Aquífero Açú é intensamente explorado para atender ao abastecimento público, industrial e em projetos de irrigação (fruticultura), na região de Mossoró (RN). O Aquífero Beberibe é explorado na Região Metropolitana do Recife, por meio de 2.000 poços que atendem condomínios residenciais, hospitais e escolas.

- A Província São Francisco participa desse sistema com a parte granular-arenítica das Formações Urucuia-Areado.

- A Bacia Sedimentar do Paraná [1] constitui, sem dúvida, a mais importante província hidrogeológica do Brasil, com cerca de 45% das reservas de água subterrânea do território nacional, em função da sua aptidão em armazenar e liberar grandes quantidades de água e pelo fato de se encontrar nas proximidades das regiões relativamente mais povoadas e economicamente mais desenvolvidas do país, além de possuir o maior volume de água doce em subsuperfície, com reserva estimada de 50.400 km³ de água (mapa 2.3).

- Localizada no centro-leste da América do Sul, com uma superfície total de aproximadamente 1.600.000 km² é considerada também a segunda bacia mais

importante da América do Sul, constituindo-se em uma fossa muito profunda, que alcança de 6.000 a 7.000 m, ao longo do seu eixo central que se encontra abaixo do Rio Paraná. Está composta por uma impressionante sequência de rochas sedimentares, que vão desde o Paleozóico até o Cenozóico (triássicas-jurássicas-cretáceas) (DELGADO e ANTÓN, 2002). A porção que se encontra em território brasileiro perfaz 1.000.000 km² e tem uma espessura máxima de 6.000 m. As formações paleozóicas apresentam baixa permeabilidade e representam sistemas aquíferos pouco produtivos, não sendo muito satisfatórios com respeito à qualidade de suas águas. Entre os aquíferos paleozóicos mais importantes encontram-se os arenitos Furnas, Aquiduaana Itararé e Rio Bonito. Muito mais importantes são as formações triássicas-jurássicas que se encontram separadas por um pacote basáltico de grande extensão lateral, formando um aquífero de dimensões continentais, o Guarani, composto pelas Formações Botucatu e Piramboia, e que constitui um dos principais sistemas aquíferos da mesma.

- A cobertura de basaltos constitui-se num aquífero fraturado - Formação Serra Geral (com mais de 1.500 m de espessura) - que cobre o Aquífero Guarani, de forma a reduzir sua área de exposição a apenas 10% da área total de distribuição geográfica subsuperficial. A sua extensão original estimada em 4.000.000 km² acha-se reduzida a 1.000.000 km², aflorando de forma praticamente contínua, sobre cerca de 56% dessa área, e, no restante, sendo recoberta pelos sedimentos dos Grupos Bauru/Caiuá (o primeiro localizado no Estado de São Paulo e o segundo, no Estado do Paraná). A grande importância econômica dos basaltos advém da reconhecida fertilidade dos solos, base de intensa exploração agropecuária característica da região e dos condicionamentos favoráveis (topográficos e geotécnicos) a implantação de hidrelétricas. A sua importância hidrogeológica decorre da relativa explorabilidade das suas zonas aquíferas pelos meios técnicos e financeiros disponíveis. Em termos de potabilidade, as águas dos basaltos revelam uma forte tendência alcalina (pH = 5.5 e 6.5) e mineralização total inferior a 300 mg/L.

- Os Grupos Bauru/ Caiuá, arenitos que cobrem cerca de 315.000 km² da Formação Serra Geral, apresentam uma espessura média de 100 m, que contêm água geralmente de boa qualidade. Devido ao baixo custo de captação, esses dois aquíferos são intensamente explorados. Em 1999 já existiam mais de 16.000 poços tubulares, 2/3

dos quais captando o Aquífero Bauru (LEAL, 1999), de modo a garantir o abastecimento doméstico e parte das demandas de pequenas indústrias da região. Essa condição advém do fato de ser um sistema livre, local e ocasionalmente freático e é submetido a uma abundante recarga. Contudo, essa condição faz com que esse manancial seja potencialmente muito vulnerável aos agentes poluidores provenientes das atividades agroindustriais, principalmente. As sequências arenosas e argilosas alternadas do Grupo Bauru no Brasil, depositadas sobre o pacote de rochas vulcânicas (basaltos) durante o cretáceo superior correspondem às Formações Quebrada Monardes na Argentina; Acaray no Paraguai e Mercedes-Ascencio no Uruguai, (ARAÚJO et al., 1999 citado por REBOUÇAS et al., 2002a).

- Outros importantes aquíferos da Província do Paraná são: Marizal, São Sebastião (com espessura de mais de 3.000 m) e Ilhas (2.500 m).

Sistemas fraturados ou fissurados: ocupam uma área de cerca de 4,6 milhões de km², correspondente a 53,8% do território nacional. Compreendem as Províncias Hidrogeológicas dos Escudos Setentrional, Central, Oriental e Meridional. As duas primeiras províncias com rochas fraturadas do embasamento apresentam razoáveis possibilidades hídricas, devido aos altos índices pluviométricos da área. A Província Oriental está dividida em duas subprovíncias (Nordeste e Sudeste). A Província Meridional, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul é de substrato alterado. Os altos índices pluviométricos da região asseguram a perenização dos rios e contribuem para a recarga dos aquíferos, cujas reservas são, em parte, restituídas à rede hidrográfica (MMA,2003).

Esse sistema apresenta reservas de águas subterrâneas da ordem de 10.080 km³ (REBOUÇAS, 1988 citado por LEAL, 1999). As águas são de boa qualidade química, podendo ocorrer localmente teores de ferro acima do permitido. No domínio do embasamento cristalino subaflorante, como na Província Hidrogeológica Escudo Oriental do Nordeste onde está localizada a região semiárida - há pequena disponibilidade hídrica, devido à formação de rochas cristalinas. É frequente observar teor elevado de sais nas águas dessa região, o que restringe ou impossibilita seu uso (MMA, 2003). Nesse domínio subaflorante é que nascem os rios temporários.

18.2 Impactos Ambientais sobre os Aquíferos

O manancial subterrâneo acha-se relativamente melhor protegido dos agentes de contaminação que afetam rapidamente a qualidade das águas dos rios, na medida em que ocorre sob uma zona não saturada (aquífero livre), ou está protegido por uma camada relativamente pouco permeável (aquífero confinado) (REBOUÇAS, 1996). Mesmo assim, está sujeito a impactos ambientais (CPRM, 2002), tais como:

- Contaminação: a vulnerabilidade de um aquífero refere-se ao seu grau de proteção natural às possíveis ameaças de contaminação potencial, e depende das características litológicas e hidrogeológicas dos estratos que o separam da fonte de contaminação (geralmente superficial), e dos gradientes hidráulicos que determinam os fluxos e o transporte das substâncias contaminantes através dos sucessivos estratos e dentro do aquífero (CALCAGNO, 2001). A contaminação ocorre pela ocupação inadequada de uma área que não considera a sua vulnerabilidade, ou seja, a capacidade do solo em degradar as substâncias tóxicas introduzidas no ambiente, principalmente na zona de recarga dos aquíferos. A contaminação pode se dar por fossas sépticas e negras; infiltração de efluentes industriais; fugas da rede de esgoto e galerias de águas pluviais; vazamentos de postos de serviços; por aterros sanitários e lixões; uso indevido de fertilizantes nitrogenados; depósitos de lixo próximos dos poços mal construídos ou abandonados. Entretanto, a mais perigosa, é a contaminação provocada por produtos químicos, que acarretam danos muitas vezes irreversíveis, causando enormes prejuízos, à medida que impossibilita o uso das águas subterrâneas em grandes áreas (MUSEU DO UNA, 2003).

- Superexploração ou superexploração (sobreexploração ou sobreexploração) de aquíferos: é a extração de água subterrânea que ultrapassa os limites de produção das reservas reguladoras ou ativas do aquífero, iniciando um processo de rebaixamento do nível potenciométrico que irá provocar danos ao meio ambiente ou para o próprio recurso. Portanto, a água subterrânea pode ser retirada de forma permanente e em volumes constantes, por muitos anos, desde que esteja condicionada a estudos prévios do volume armazenado no subsolo e das condições climáticas e geológicas de reposição (DRM, 2003).

Além da exaustão do aquífero, a superexploração pode provocar:

- indução de água contaminada causada pelo deslocamento da pluma de poluição para locais do aquífero;

- subsidência de solos, definida como "movimento para baixo ou afundamento do solo causado pela perda de suporte subjacente", provocando uma compactação diferenciada do terreno que leva ao colapso das construções civis;

- avanço da cunha salina definida como o avanço da água do mar em subsuperfície sobre a água doce, salinizando o aquífero, em áreas litorâneas (MELO et al., 1996, citado em CPRM, 2002). Sem dúvida, a maioria dos aquíferos costeiros são suscetíveis à intrusão salina, que geralmente resulta da sobreexploração em poços muito próximos do mar. Algumas das cidades que tiveram problemas de salinização de seus poços são, entre outras: Lima (Peru); Santa Marta (Colombia); Coro (Venezuela); Rio Grande e Natal (Brasil) e Mar del Plata (Argentina). No caso de Buenos Aires-La Plata, o problema de salinização se deve ao conteúdo de sais de uma formação costeira (DELGADO e ANTÓN, 2002). O crescimento desordenado do número de poços tem provocado significativos rebaixamentos do nível de água e problemas de intrusão salina em Boa Viagem, no Recife (MMA,2003).

O desenvolvimento de poderosas bombas elétricas e a diesel permitiu a capacidade de extrair água dos aquíferos com maior rapidez do que é substituída pela chuva, sem considerar, ainda, que os aquíferos têm diferentes taxas de recarga, alguns com recuperação mais lenta que outros (CEPIS, 2000).

Calcula-se que a extração anual dos aquíferos é de 160 bilhões de metros cúbicos (160 trilhões de litros) no mundo (POSTEL, 1999 citado por BROWN, 2003).

Em quase todos os continentes, muitos dos principais aquíferos estão sendo esauridos com uma rapidez maior do que sua taxa natural de recarga. A mais severa exaustão de água subterrânea ocorre na Índia, China, Estados Unidos, Norte da África e Oriente Médio, causando um déficit hídrico mundial de cerca de 200 bilhões de metros cúbicos por ano (SAMPAT,2001).

Existem diversos exemplos no mundo de esgotamento de aquíferos por superexploração para uso em irrigação. O esgotamento das águas subterrâneas já

provocou o afundamento dos solos situados sobre os aquíferos na cidade do México e na Califórnia, Estados Unidos, assim como em outros países (CEPIS, 2000).

No Brasil, como não há legislação específica que discipline o uso das águas subterrâneas e coíba a abertura de novos poços, essa franquia de ordem legal tem contribuído para problemas de superexploração (BROWN, 2003). Outro fator que está provocando o comprometimento da qualidade e disponibilidade hídrica dos aquíferos reside na ocupação inadequada de suas áreas de recarga (CAVALCANTE e SABADIA, 1992, citado em CPRM, 2002).

Nos Estados Unidos, segundo um estudo da BBC Mundo (2003), verificou-se que o maior aquífero desse país, o Ogallala, está empobrecendo a uma taxa de 12 bilhões de m³ ao ano. A redução total chega a uns 325 bilhões de m³, um volume que iguala o fluxo anual dos 18 rios do estado do Colorado. O Ogallala se estende do Texas a Dakota do Sul e suas águas alimentam um quinto das terras irrigadas dos Estados Unidos. Muitos fazendeiros nas pradarias altas estão abandonando a agricultura irrigada ao se conscientizarem das consequências de um bombeamento excessivo e de que a água não é um recurso inesgotável.

A utilização de poços, fontes e vertentes deve ter a orientação de um profissional habilitado nessa área, de modo que o seu uso não comprometa o uso futuro desses recursos (seja por uma possível contaminação ou a exploração de uma vazão superior à admissível), e nem exponha a saúde da população abastecida a possíveis doenças de origem ou veiculação hídrica, devido à utilização de mananciais inadequados ou contaminados. Em suma, a compatibilização do uso dessa importante alternativa estratégica de abastecimento com as leis naturais que governam a sua ocorrência e reposição, além de proteger as áreas de recarga de possíveis contaminações poderá garantir a sua preservação e uso potencial pelas gerações futuras (SILVA, 2003). Além disso, conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial ao estabelecimento de política de gestão das águas subterrâneas (LEAL, 1999)

19 RELAÇÃO DO HOMEM X NATUREZA

O homem e o meio ambiente são duas palavras que vêm sendo utilizadas de forma separadas e até mesmo em alguns casos, opostas. Muitos autores relatam a utilização dos recursos naturais pelo homem como meio para o crescimento econômico. No entanto, atualmente, sabemos que crescimento econômico não é sinônimo de desenvolvimento.

Nos primórdios da humanidade, o ser humano, ainda nômade, utilizava os recursos naturais de um determinado local conforme suas necessidades diárias. Quando os alimentos se esgotavam naquele lugar, ele se mudava. Não possuía território fixo, mudava diversas vezes de lugar, utilizando os recursos disponíveis em um local e quando estes acabavam, ele escolhia um novo local para permanecer por mais um período de tempo.

Aquele espaço, para o ser humano, era apenas um local no qual se consumiam os recursos naturais existentes até que os mesmos se esgotassem. Este local não era ainda considerado como um “lugar” vivido e sentido, não havia, portanto, ainda, uma relação e sentimento com o local onde o ser humano habitava. Conforme disposto por ALBAGLI (1998, p.3), lugar “não pode ser apenas um espaço onde se realizam as práticas diárias, mas também aquele no qual se situam as transformações, a reprodução das relações sociais de longo prazo”. ¹¹

¹¹ Extraído de: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/relacao-do-homem-x-natureza/19309>



Fonte: demonstre.com

Autores como AGNEW E DUCAN (1989) definem lugar em três dimensões: ótica econômica; perspectiva micro sociológica e ponto de vista antropológico e cultural. A ótica econômica seria a localização onde ocorrem as práticas econômicas e sociais. A perspectiva micro sociológica define o lugar como sendo o espaço das interações cotidianas; por último, o ponto de vista antropológico cultural que define o lugar através da identificação do sujeito com o espaço habitado seria o “sentido do lugar”.

Ao se analisar mais profundamente o sentido da palavra “lugar”, pode-se classificá-la como sendo “o produto das relações humanas, entre homem e natureza, tecido por relações sociais produzindo a identidade, é o mundo do vivido, onde se formulam os problemas”. (CARLOS, 1996, p.26).

Neste aspecto, observamos que no começo da história humana o “lugar” ainda não havia sido construído, as relações sociais eram as mais básicas e primitivas possíveis. Portanto, o homem não possuía sentimento pelo lugar, não havia construído o seu espaço, não tinha um lugar próprio.

Com o surgimento da agricultura a mais de 10.000 anos atrás, o ser humano foi aprendendo a entender os ciclos da natureza e a conviver em comunidade, começando a se prevenir dos períodos de frio, de seca e de escassez de alimentos. Não se extraía

apenas o que seria utilizado imediatamente, aprendia-se a estocar e armazenar, de planejando e prevenindo para o futuro.

O ser humano, no decorrer da sua evolução, adquiriu a capacidade de analisar situações atuais, imaginar aquilo que ainda não foi vivido para manipular a realidade e, até mesmo, em alguns casos, simular o futuro.

As pessoas e famílias começaram a se organizar em grupos tornando-se comunidades, civilizações, povos e nações, formaram-se redes de relações humanas, construindo aos poucos sua própria identidade. Finalmente, adquirindo o seu próprio lugar e permanecendo nele. Este lugar tornou-se algo repleto de sentimento e emoção.

No decorrer da evolução humana, quando o homem diz ter se tornado civilizado, ocorreu o seu desprendimento com o lugar e formularam-se ideias das quais os recursos naturais eram bens infinitos. A utilização indiscriminada dos recursos naturais tornou o ser humano causador de grandes impactos ambientais, gerando o desequilíbrio na cadeia da vida, conseqüentemente, causando o colapso e a quebra do sistema.

O desequilíbrio ambiental causado pelo homem ocasionou a eliminação de espécies e até mesmo a dizimação de populações. Segundo CÂMARA (2000 p.178), este desequilíbrio ambiental pode ser classificado através de seis modalidades:

- Destruição de habitat;
- caça, pesca ou matança deliberada em larga escala;
- introdução de predadores ou competidores;
- introdução de elementos patogênicos;
- poluição;
- extermínio decorrente de extinções anteriores ou extinção em cascata.

Devido a estas degradações ambientais a biodiversidade planetária vem sendo colocada em risco. Quatro macros ameaças à sobrevivência de várias espécies podem ser destacadas:

- destruição, fragmentação, e degradação de habitat;

- exploração predatória;
- introdução de espécies exóticas e
- aumento de pragas e doenças (PRIMACK, 1995, p.66).

Dentre estas ameaças, destaca-se a fragmentação, que para DOBSON (1995) não é um processo único, consiste em um número de diferentes mecanismos no qual o mais importante é a perda de área total do habitat e sua fragmentação dentro de ecossistemas menores. As consequências da fragmentação são um grande problema, pois não se sabe até que ponto isto pode alterar o funcionamento dos ecossistemas (já que os efeitos só podem ser observados depois de décadas).

A implantação de unidade de conservação surge na tentativa de preservar diversos tipos de fragmentos ambientais que ainda restavam, aumentando a conectividade entre as espécies, possibilitando o aumento no fluxo genético e manutenção das espécies.

Embora as unidades de conservação, em sua maioria, fossem de pequeno porte, mostrando-se insuficientes para abrigar algumas espécies e existissem problemas na fiscalização, estas áreas protegidas constituíam a última trincheira para a manutenção de um grande número de espécies.

Junto a esta concepção da proteção de fragmentos ambientais, observa-se a valorização da natureza através de uma visão socioambiental. A valorização da natureza pode ser classificada em vários tipos de valores, como o valor existencial, que abrange os valores intangíveis e intrínsecos da natureza, onde a sua existência é a razão do seu valor e sua importância, devendo ser protegido para estas e gerações futuras e o valor de opção, que seria aquele que visa à conservação da biodiversidade e sua importância para o futuro, onde o homem é aquele que define o seu valor para o amanhã. Estes dois valores expressam os objetivos principais da importância das unidades de conservação, ou seja, a UC valorizada pela sua própria existência e sua importância para a conservação da biodiversidade.

Putney (2000:141) afirma:

estar na hora de se adotar uma visão holística das unidades de conservação, que vá além do enfoque exclusivo da biodiversidade. É necessário prestar atenção

nos objetivos materiais e não materiais que são importantes para vários setores da sociedade, pois, somente assim, as UC's irão sobreviver neste mundo de competitividade, onde o uso dos recursos naturais está cada vez mais disputado.

Outros autores analisam a questão ambiental e humana, através do comportamento do homem rural e suas atitudes para com a natureza. Mcdowell e Sparks (1989) definem a variável “comportamento de conservação” como ação positiva tomada em relação a ecossistemas naturais.

Para atribuir valores numéricos a essa variável, eles consideram a extensão de habitat natural mantido com o intuito de conservação do ecossistema, o sacrifício de negócios alternativos rentáveis em função da conservação dos recursos naturais e o grau de manejo científico dos ecossistemas, para assegurar a perpetuação dos elementos naturais.

Atualmente, o ser humano, segundo MARTIN (2002, p.177), “está vivenciando a “redescoberta do lugar”, que revela a totalidade sistêmica entre a sociedade humana e a natureza, estando associado à busca de estratégias e meios sustentáveis de atender às necessidades das pessoas ou do próprio capital”. Esta redescoberta se deu em grande parte pela perda dos sentimentos com o lugar e sua relação entre homem e natureza.

A exploração dos recursos de forma acelerada causa a perda da biodiversidade e, conseqüentemente, em longo prazo, perda na qualidade de vida. Através de uma perspectiva humanística de valorização da pessoa humana, onde o sujeito é responsável pelo seu próprio destino, surge o conceito de Desenvolvimento Local.

MARTINS (2002, p.4) afirma que o desenvolvimento local visa à promoção da vida e satisfação plena das necessidades fundamentais da comunidade. Para que haja efetiva qualidade de vida e manutenção da mesma, deve haver equilíbrio na utilização dos recursos, principalmente os naturais, para que a cadeia não se rompa e seja mantido o seu fluxo contínuo e sustentável.

A contínua e crescente pressão exercida pelo homem sobre os recursos naturais, segundo GODOI (1992), “visa apenas os benefícios imediatos de suas ações, privilegiando o crescimento econômico a qualquer custo e relegando, a um segundo plano, a capacidade de recuperação dos ecossistemas”. Com isto, observa-se que o

crescimento econômico desacertado, além de causar danos ao meio ambiente, não promoverá o desenvolvimento, pois ao se analisar o aspecto global, conclui-se que os recursos necessários para a recuperação do ecossistema tornarão este crescimento econômico inviável.

Na tentativa de aliar crescimento econômico e a proteção ambiental, surge na década de 1950/1960 a economia ambiental, que estabeleceu uma ponte entre a economia e a ecologia. Mais tarde surgiu a teoria econômica do desenvolvimento e o meio ambiente, que receberia o nome de Desenvolvimento Sustentável.

Em 1987, as Nações Unidas definiram o conceito de desenvolvimento sustentável, no documento “Nosso Futuro Comum”, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Segundo este documento, o desenvolvimento deve ser suportável, viável e durável, portanto, um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras.

Sustentabilidade e Desenvolvimento são dois conceitos atualmente considerados característicos da problemática contemporânea, sendo que não há como considerá-los separadamente, pois não existe desenvolvimento sem que haja sustentabilidade.

20 MORFOLOGIA DO SOLO

20.1 O perfil do solo

O perfil do solo (Figura 1) corresponde a uma seção formada por camadas sucessivas mais ou menos paralelas à superfície (Horizontes) as quais se diferenciam uma das outras por atuação de forma diferenciada dos fatores de formação do solo. Desta forma, o perfil do solo expressa a ação conjunta de processo físicos, químicos e biológicos (intemperismo) formando corpos complexos e de natureza diferenciada de seu material de origem.

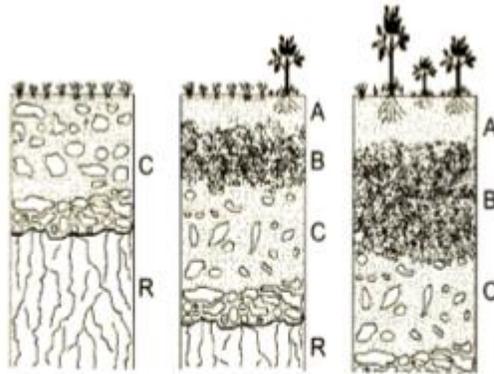


Figura 1. Etapas sucessivas na formação dos horizontes A, B e C pelo processo de intemperismo do material de origem. Fonte: Amaro Filho et al. (2008).

A observação de um determinado volume de solo mostra que o mesmo é constituído de partículas sólidas, em íntimo contato entre si, e de espaços entre estas partículas. Estes espaços, denominados poros ou vazios, permitem a constatação de que o solo é um corpo poroso constituído de material sólido e de poros com dimensões variadas.

Um solo agrícola ideal, na sua camada arável, deve ser constituído de 50% de material sólido e 50% de poros. O material sólido deve ser constituído de 45% de material mineral e 5% de matéria orgânica e os poros devem ser constituídos de 25% para armazenamento de água e 25% para aeração. Nos diferentes solos a distribuição dos sólidos e poros varia; da mesma forma esta distribuição também varia em um mesmo solo, em função da profundidade, práticas agrícolas, processos de formação, etc (Figura 3).¹²

¹² Extraído de: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/formacao-dos-solos.htm>

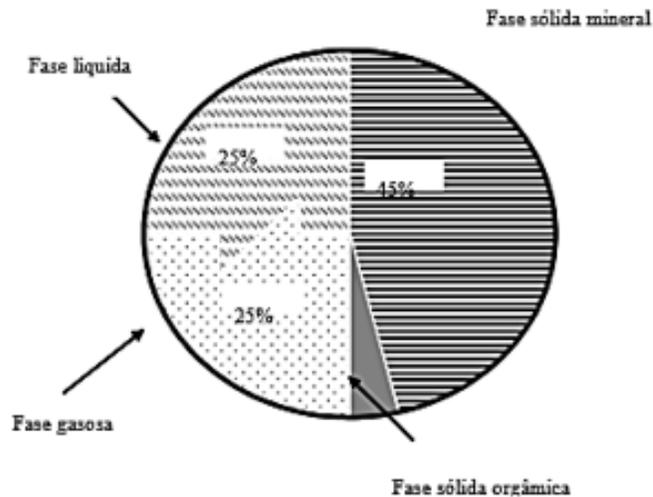


Figura 2. Composição geral do solo mostrando proporções entre suas três fases considerando uma situação ideal.

Os componentes sólidos do solo representados pela Matéria Mineral e pela Matéria orgânica.

A matéria mineral do solo é representada pelos minerais constituintes do material de origem do solo, e pelos minerais formados como resultado do seu intemperismo. Tais minerais possuem dimensões variadas, sendo classificados em função desse tamanho. Os minerais que constituíam o material de origem e que passam para o solo sem sofrer alterações são denominados minerais primários, enquanto que os minerais neoformados, produtos do intemperismo, são denominados minerais secundários. Dentre os minerais secundários destacam-se os minerais de argila, os quais, por apresentarem cargas elétricas na superfície, assumem uma importância muito grande no que se refere ao armazenamento de cátions e anions nutrientes das plantas. Estes minerais não estão dispostos no solo uns sobre os outros, mas encontram-se agregados por agentes cimentantes, gerando, desta forma, volume bastante grande de poros.

A matéria orgânica é representada pelos restos animais (excrementos e carcaças) e restos vegetais (folhas, galhos, raízes mortas e restos de cultura) em todo seus estágios de decomposição, sendo que os restos vegetais têm um significado muito maior como fonte de matéria orgânica para o solo. A matéria orgânica encontra-se principalmente na

camada superficial do solo, e seu teor pode sofrer um acréscimo em função da adição feita pelo homem. A matéria orgânica decompõe-se até constituir o húmus, que é a matéria orgânica na forma coloidal, com características benéficas e atribui ao solo uma coloração mais escura. No clima tropical, como é o nosso caso, a matéria orgânica decompõe-se rapidamente, porém, de uma maneira geral, seu teor não sofre muita alteração, uma vez que, enquanto ela sofre decomposição, mais matéria orgânica é adicionada ao solo. Em solos agrícolas o teor de matéria orgânica varia de 2 a 3% em peso, porém quando os valores são muito altos (acima de 30%), o solo é considerado solo orgânico. A matéria orgânica coloidal (húmus) possui propriedades físicas e químicas próprias e propiciam ao solo uma melhoria em suas propriedades físicas (estruturação, porosidade, retenção de água, etc.) e química (aumenta a retenção de nutrientes, fornece nutrientes ao solo, etc.).

O componente líquido do solo vem a ser a água do solo, porém na realidade trata-se de uma solução, uma vez que a água contém minerais (cátions e ânions) dissolvidos, e essa água e esses minerais serão absorvidos pelas plantas. A água do solo fica retida nos micrósporos e é drenada para as camadas mais profundas do solo, pela ação da gravidade, quando está nos macroporos, os quais são responsáveis pela aeração do solo. A água do solo está retida a tensões variáveis, porém, quando os valores de tensão são muito elevados, mesmo existindo água no solo a mesma não pode ser absorvida pelas plantas, que murcham, às vezes de maneira irreversível.

O componente gasoso vem a ser o ar do solo, que possui a mesma composição qualitativa do ar atmosférico (possui os mesmos componentes), porém difere quantitativamente, possuindo teores mais elevados de dióxido de carbono (CO_2) e teores mais baixos de oxigênio (O_2), visto que os organismos do solo respiram, consumindo oxigênio e liberando dióxido de carbono. Processos naturais, como variações na pressão barométrica e de temperatura, chuvas, etc., promovem a renovação do ar do solo, propiciando sempre um bom suprimento de oxigênio para as raízes das plantas.

21 BIBLIOGRAFIA BÁSICA

MONROE, J. S; WICANDER, R. **Fundamentos de geologia**. São Paulo: CENGAGE, 2009.

POPP, José Henrique. **Geologia geral**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

TEIXEIRA (Org.). Wilson. **Decifrando a Terra**. Salvador: IBEP Nacional, 2008.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. São Paulo: Atual, 2011.

CUNHA, Sandra Batista da e GUERRA, Antônio José T. **Geomorfologia do Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos. Canoas, 2008.

FLEURY, José Maria. **Curso básico de geologia**. Goiânia: UFG, 1995.

GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1997.