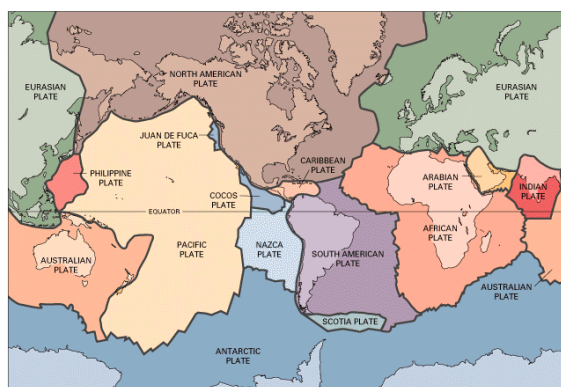


### 1- Parque nacional de Aparados da Serra (RS e SC Brasil)

Nesta edição do Fala da Terra, faremos uma viagem por todo o globo terrestre na seção Geodinâmica, onde visitamos as grandes feições geotectônicas e alguns exemplos de sua atividade. Em Recursos resume-se a história de exploração do petróleo no Brasil. Geohistória apresenta como era feita a datação relativa através de fósseis, antes da datação radiométrica apresentada na edição de janeiro. Neste mesmo segmento serão apresentadas as origens dos nomes dos períodos geológicos, os locais onde foram definidos e a referência aos estudiosos que ajudaram a contar a história do planeta. Lendo a Terra explica o magnetismo terrestre e suas variações ao longo do tempo. Finalmente, Arte da Terra apresenta o Parque Nacional de Aparados da Serra na região sul brasileira.

Luiz Alberto Santos

### GEODINÂMICA: A Terra



Subdivisão das grandes placas tectônicas

A Terra se comporta como um organismo vivo, animado e em contínua evolução. Esta evolução consiste em equalizar o seu calor e se diferenciar. A equalização do calor (energia térmica) se traduz na perda, ou transferência, de sua energia interna para a superfície, e a diferenciação é expressa pela contínua divisão do planeta em camadas (núcleo, manto e crosta). Assim, os elementos mais pesados tendem a ficar nas porções mais internas e os mais leves migram para as camadas superiores, a crosta terrestre. A tectônica de placas é uma das conseqüências desta evolução termodinâmica do planeta Terra.

O calor emanado a partir do interior da Terra é transferido para as camadas superiores. Dentre as formas de transmissão de calor (radiação, condução e convecção), a convectiva é mais efetiva em péssimos condutores como as rochas. A astenosfera, uma parcela parcialmente fundida do manto se comporta como um fluido viscoso e transmite o calor por convecção. O calor oriundo das profundezas do manto é transmitido para a base da astenosfera. Esta última é aquecida, diminui sua densidade e ascende. Ao ascender a astenosfera transfere o calor para litosfera sobrejacente, se torna mais fria e densa e torna a descer. Este processo se repete criando gigantescas células convectivas. Você pode visualizar este processo ao colocar uma chaleira transparente com água sob o fogo em seu fogão. A água, que também é um péssimo condutor de calor, transfere melhor a energia térmica através da convecção. Uma ou mais células de convecção se formam na chaleira com água.

A litosfera é composta por uma parte sólida do manto e pela crosta. Ela, a litosfera, não é contínua em torno de todo o globo terrestre e se divide em diversos segmentos com diferentes dimensões caracterizando as placas litosféricas ou tectônicas que deslizam sobre a astenosfera mais fluida.

Nos limites de placas ocorre grande parte dos eventos sísmicos e vulcanismo. Na costa oeste norte-americana a sismicidade e os vulcões relacionam-se ao limite da placa norte-americana e a placa do Pacífico além das placas menores de Juan de Fuca e Cocos.

Na América Central os complexos limites entre a pequena placa Caribenha e as placas Cocos, de Nazca, norte-americana e sul-americana são fonte de intensos terremotos, destaque para o ocorrido no Haiti em 2010 (12/01/2010) e na Costa Rica em



## Fala da Terra

2012, ambos superiores a 7 na escala Richter; e vulcanismo.

Toda a costa oeste sul-americana é uma área sujeita a forte sismicidade e vulcanismo. Relembro ao leitor, a erupção do Nevado Del Ruiz na Colômbia em 1985 ceifando mais de 23 mil vidas e o recente terremoto no Chile em março de 2012 que causou severas destruições na capital Santiago e circunvizinhanças. Toda a costa oeste das Américas compõe a parcela ocidental do Cinturão do Fogo, uma área tectonicamente ativa (sujeita a vulcanismo e terremotos) nos limites do Oceano Pacífico. No outro lado do Pacífico há o limite da Placa do Pacífico com as Placas das Filipinas, a Australiana e mesmo a Norte-Americana que tem geometria curva e tem um dos limites na Ásia. O Japão teve sua origem em um antigo arco magmático, feição característica de um limite convergente de placas tectônicas oceânicas. Por sua natureza, o Japão inteiro está sujeito a atividades vulcânicas e terremotos.

O limite da placa Australiana com o placa Eurasiana tem mostrado intensa atividade sísmica nos últimos anos. No Oceano Índico, a oeste de Sumatra, o movimento relativo entre as placas Eurasiana e Australiana causou brusco soerguimento do assoalho oceânico. Como consequência, além do forte sismo, superando magnitude 9 na escala Richter, uma enorme vaga (tsunami) varreu todas as cidades costeiras no entorno do Oceano Índico causando mais de 200 mil mortes.

A colisão da placa da Índia com a placa Eurasiana, duas placas continentais, proporcionou a formação da cadeia de montanhas do Himalaia. Este limite de placas está sísmicamente ativo. Cita-se o terremoto de magnitude 7,6 ocorrido em agosto de 2005 no Paquistão causando mais de 86 mil mortes e pelo menos 69 mil feridos.

O limite da placa Eurasiana e Africana corta o Mar Mediterrâneo na direção leste-oeste. Vale citar que o Mediterrâneo é o que restou de um grande mar que existiu a 200 milhões de anos, o Mar de Thetys. Assim todos os países europeus, sobretudo os que circunscvem o Mediterrâneo são sísmicamente ativos e possuem vulcões ativos. O mesmo ocorre com os países norte-africanos. Citam-se as erupções do Vesúvio, Itália; e o terremoto de magnitude 6,9 que destruiu um sem número de monumentos históricos da cidade medieval L'Aquila, Itália, em 06 de abril de 2009.

A maioria dos sismos e vulcões citados até agora situam-se em limites convergentes de placas tectônicas. A Islândia situa-se exatamente no limite divergente das placas Norte-Americana e Eurasiana. Destaca-se neste contexto a erupção do vulcão de nome impronunciável Eyjafjallajökull que ocorreu entre abril e outubro de 2010 prejudicando o tráfego aéreo em função do grande volume de material expelido.

Apresentamos um breve resumo dos limites de placas tectônicas ao redor do globo terrestre assim como exemplos de vulcanismo e terremotos recentes nas bordas tectonicamente ativas. Analisando a figura que inicia esta seção, é possível entender porque o Brasil não sofre com terremotos de grande magnitude. Ele se situa no meio da placa Sul-Americana, portanto longe das áreas sismogênicas e vulcanogênicas de origem tectônica assim como a Austrália.

LAS

### **RECURSOS: Evolução da exploração do petróleo no Brasil**

Na edição anterior do Jornal Faladaterra apresentamos a evolução da exploração do petróleo no mundo. Fazemos agora um paralelo do que ocorreu no Brasil com a prospecção do ouro negro.

A história do petróleo no Brasil começa na Bacia de Camamu, Bahia. José de Barros Pimentel recebera uma concessão do Marquês de Olinda para extrair betume nas margens do rio Maraú, ao sul da Bahia de Todos os Santos, em 1858.

A primeira perfuração profunda voltada para exploração de petróleo ocorreu no município de Bofete (SP), Bacia do Paraná. O poço perfurado por Eugênio Ferreira de Camargo atingiu a profundidade de 488 metros e não encontrou óleo, mas água sulfurosa.

Na década de 1930 a Bahia entrou em foco novamente. Primeiramente o engenheiro agrônomo Manoel Inácio Bastos tentou chamar a atenção das autoridades para a existência de lama betuminosa na região de Lobato em Salvador. Em 1938 foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) que tinha como uma das atribuições analisar os pedidos de exploração e lavra de petróleo. Neste mesmo ano, sob jurisdição do CNP foi perfurado o poço DNPM-163



## Fala da Terra

na região de Lobato. O poço encontrou petróleo, mas a acumulação se mostrou subcomercial.

A primeira acumulação comercial descoberta com a perfuração de poço somente ocorreu em 1941 no município baiano de Candeias, homônimo da rocha geradora (aquela rica em matéria orgânica, a partir da qual o petróleo é gerado – <http://www.faladatterra.com/RECURSOS.html>) na Bacia do Recôncavo com aproximadamente 145 milhões de anos (período Cretáceo). Ao longo da década de 1940 todas as descobertas brasileiras se confinaram na Bacia do Recôncavo em localidades no entorno da Baía de Todos os Santos, entre elas os campos de Aratu, Itaparica e Dom João.



Getúlio Vargas e cia comemorando o Candeias 1.

Em 03 de outubro de 1953, sob o governo de Getúlio Vargas, foi criada a Petrobras. A partir de então é difícil desvincular a história do petróleo no Brasil das atividades da Petrobras que passou a deter o monopólio de atividades de exploração e produção de óleo e gás. Em 1954 foi descoberto o campo de Dom João Mar. Os trabalhos de campo indicavam que os reservatórios encontrados no campo de Dom João se estendiam para o subsolo da Baía de Todos os Santos. Em 1957 foi descoberto o campo de Jequiá em Alagoas, o primeiro fora do estado da Bahia e fora da Bacia do Recôncavo.

Seguidas descobertas foram feitas na Bacia do Recôncavo no final dos anos 1950's e início dos 1960's. Ainda na Bahia no início de 1960's foram feitas descobertas comerciais na Bacia do Tucano, a norte do Recôncavo. Os estados de Sergipe e Alagoas já nesta mesma década começaram a ser alvo de mais descobertas nas respectivas Bacias homônimas. Destaque se dá para o campo de Carmópolis, ainda

hoje em plena produção; e a primeira descoberta feita com poços perfurados no mar, o campo de Guaricema descoberto no litoral de Sergipe em 1968. Espírito Santo também entrou no cenário exploratório com o campo de São Mateus descoberto em 1969.



Plataforma de perfuração em Gauricema (SE).

Na década de 1970, para ser mais preciso em 1973, a produção nacional se restringia a meros 170 mil barris por dia (bpd) oriundos dos estados da Bahia, então o maior produtor, Sergipe e Espírito Santo. A maior parte do óleo produzido provinha de campos terrestres. Paralelamente às descobertas nas bacias produtoras, novas descobertas no mar começaram a compor um novo cenário. Assim pontuam-se as descobertas de campos na plataforma continental do Rio Grande do Norte (1973), Rio de Janeiro com o campo de Garoupa na Bacia de Campos (1974) e Ceará. Além dos ótimos resultados exploratórios que se somaram na plataforma continental, em 1978, os esforços prospectivos na região amazônica renderam boas notícias com a descoberta do campo de gás e condensado do Juruá na Bacia do Solimões, a primeira bacia Paleozóica. No final da década de 1970, o Brasil já apresentava 7 bacias produtoras de hidrocarbonetos, sendo que os maiores volumes agregados provinham do mar fluminense. Essa tendência foi ratificada na década seguinte.

Era chegada a vez dos grandes elefantes. Os campos de Albacora e Marlim descobertos respectivamente em 1984 e 1985 adicionaram expressivo volume às reservas petrolíferas nacionais e, definitivamente, anunciaram o sudeste brasileiro como maior polo produtor. A maior parte dos esforços exploratórios se voltou para as campanhas no mar, sempre com o auxílio da geofísica – sísmica – marinha que já tivera papel determinante nas descobertas de Guaricema e Garoupa. Como resultado, novas descobertas foram incorporadas na prolífica Bacia de Campos.





## Fala da Terra

No final dos anos 1980's e início dos 1990's a Bacia de Santos adicionou novas reservas ao portfólio de campos brasileiros nas águas rasas da região sul, entre eles Tubarão, Estrela do Mar, Coral e Caravelas.

Em 1996 o campo de Roncador, mais um elefante gigante, confirmou a vocação produtora da Bacia de Campos. Um ano depois, com a Lei 9478, houve a flexibilização do monopólio e a exploração e produção foi aberta para outras empresas nacionais e estrangeiras. A Petrobras não figuraria mais como o único agente. A atividade exploratória se intensificou e novas descobertas foram realizadas em bacias sedimentares ainda sem histórico de produção. Assim, após 1998 as Bacias do Amazonas, Camamu, Paraná, Parnaíba e Tucano Sul passaram a contribuir para o incremento das reservas de hidrocarbonetos.

Além da confirmação de novas fronteiras em termos de bacias, o maior destaque deve ser rendido à descoberta do campo de Lula (inicialmente nominado Tupi), no pré-sal da Bacia de Santos, em águas ultra-profundas em agosto de 2006. Através da busca de um novo modelo exploratório, uma bacia com produção modesta, passou a figurar como a maior reserva brasileira.

LAS

### GEOHISTÓRIA: Datação geológica II

Já sabemos como se efetua a datação absoluta, resumida na última edição do Jornal Fala da Terra. Mas houve um tempo, um longo tempo, que os historiadores naturais não dispunham de tecnologia para determinação da idade absoluta das rochas. Como faziam eles então? A resposta reside no estudo dos fósseis. Na verdade os fósseis além de contribuírem para estimativa da idade relativa das rochas sedimentares, permitem estimar o ambiente - terrestre, marinho, lagunar - as condições ambientais - pH, salinidade, etc. - assim como o clima. É sabido que Aristóteles, sábio filósofo grego (384-322 AC) estudara sistematicamente os fósseis e concluíra por analogia que fósseis de conchas encontrados em terra indicavam um pretérito ambiente marinho.

Os estudiosos do passado levaram longo tempo para concluírem que aqueles restos de organismos encontrados nas rochas eram remanescentes de seres vivos já extintos. Citam-se além de Aristóteles, Leonardo da Vinci, no século XV e Nicolau Steno no século XVII. Somente no século XVIII, depois de

estudos sistemáticos, catalogação e correlações, foi possível estabelecer a ciência da vida antiga, a Paleontologia.

Em 1793, William Smith, um agrimensor fascinado pelo estudo e coleção de fósseis no sul da Inglaterra reconheceu que estes poderiam ser empregados para fornecer a idade relativa das rochas sedimentares. Smith observou que diferentes camadas de rochas tinham diferentes tipos de fósseis. A partir disso ele foi capaz de posicionar cada camada a partir de outra de acordo com o conteúdo fóssilífero e assim estabelecer uma ordem geral para a seqüência de fósseis e estratos.

Durante os últimos séculos, geólogos vêm utilizando esta combinação de sucessão de fósseis e estratigrafia em todo o mundo culminando com a escala do tempo geológico na Terra.

EON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	T (MA)
F A N E R O Z Ó I C O	Cenozóico	Quaternário	Holoceno	0.01
			Pleistoceno	1.6
		Terciário	Plioceno	5.3
			Mioceno	23.7
			Oligoceno	36.6
			Eoceno	57.8
	Mesozóico	Cretáceo	Paleoceno	66.4
				144
			Jurássico	208
			Triássico	245
Paleozóico		Permiano	286	
		Carbonífero	360	
		Devoniano	408	
		Siluriano	438	
		Ordoviciano	505	
		Cambriano	570	
Proterozóico	-	-	-	2500
Arqueano	-	-	-	3800
	Início			4500 (?)

Escala de tempo geológico

A maior parte do conteúdo fóssilífero terrestre se confina nos últimos 570 milhões de anos, a partir da Era Paleozóica. O primeiro período desta era é o Cambriano cujo nome, proposto pelo geólogo britânico Adam Sedgwick em 1835, deriva do sistema inferior de rochas no norte do País de Gales. O Ordoviciano foi também definido no País de Gales e seu nome foi dado em alusão à tribo dos Ordovices por Charles Lapworth em 1879. O período Siluriano foi proposto por Roderick Murchinson em 1835 para se referir aos terrenos fóssilíferos do País de Gales. O nome Silures se deve aos habitantes dessa parte das Ilhas Britânicas. Sedgwick e Murchinson delimitam rochas do Devoniano em 1839 no Condado de Devon



## Fala da Terra

(Devonshire) no sul da Inglaterra. O período Carbonífero foi denominado em 1882 por William Coneybaere e William Phillips para os terrenos do centro-norte da Inglaterra que continham camadas de carvão. Destaca-se a importância destas rochas no contexto da Revolução Industrial. Basta dizer que as máquinas a vapor foram pioneiramente empregadas em minas de carvão britânicas.

O período Permiano, o último da Era Paleozóica, foi também denominado por Murchinson em 1841 na Província de Perm nos Montes Urais, Rússia. É digno de nota que o término do Permiano, a transição para a Era Mesozóica, é marcada pela maciça extinção de diversos organismos em mar e em terra, foi a extinção Permiana (<http://www.faladaterra.com/GEOHISTORIA.html>), daí a existência de rico conteúdo fóssilífero em escala mundial.

O leitor notou que cada período foi definido em um local cujas rochas e afloramentos, até então, possuíam as melhores exposições capazes de caracterizar um dado tempo geológico. A este local costuma-se nomear localidade-tipo. A maioria das localidades-tipo para definição dos períodos do Paleozóico se localiza no Reino Unido.

A era Mesozóica teve início com o Período Triássico. Embora este período tenha diferentes e relevantes subdivisões, ele foi definido originalmente no sul da Alemanha por Friedrich von Alberti em 1834. O período seguinte, o Jurássico, foi proposto no mesmo ano e sua localidade tipo situa-se nos Montes Jura na fronteira da Suíça com a França. O Cretáceo foi proposto pelo geólogo belga Jean Baptiste J O d'Halloy em 1822 nos terrenos calcáreos da Bacia de Paris, norte da França e Bélgica.

A era Cenozóica (do grego kainos=recente e zoikos=vida) possui somente dois períodos, o Terciário e o Quaternário. Por ser a mais nova das eras, os registros geológicos estão, tomando licença poética, mais fresquinhos. Os fósseis guardam maiores semelhanças com os organismos vivos e alguns são de espécies ainda viventes, organismos que ainda não foram extintos. Devido a essa, digamos maior memória, a era Cenozóica é a mais curta das eras, com apenas 66,4 milhões de anos. Alguns autores preferem empregar a sua subdivisão não em períodos, mas em épocas. Estas épocas foram definidas em localidades tipo na Europa, entre elas na Bacia de Paris, onde Charles de Lyell em 1834 propôs o Eoceno, Mioceno e Plioceno e; sudeste da

Sicília onde este mesmo autor definiu o Pleistoceno em 1839. Mais tarde, ainda no século XIX foram definidas as demais épocas sempre em terrenos europeus e pesquisadores deste continente: o Oligoceno por August von Beyrich em 1854; o Paleoceno por Wilhelm Schimper em 1874. Hoje nos encontramos na época Holoceno, iniciado a meros 11 mil anos, da era Cenozóica.

Ao longo desta seção observamos que, até o advento da datação radiométrica absoluta, os cientistas datavam as rochas relativamente através dos fósseis e se referiam à idade através das eras, períodos e épocas. Esse hábito se perpetuou até os dias atuais onde a comunidade acadêmica (e até a não acadêmica) refere-se a um tempo do passado mencionando este ou aquele período. Um exemplo é o período Jurássico, o reinado dos dinossauros. Embora saibamos hoje que o Jurássico é um período compreendido entre 208 e 144 milhões de anos, raramente falamos “Há 144 milhões de anos ...”. Ainda fazendo uso do mencionado hábito, vale lembrar que a espécie humana existe a partir do Pleistoceno, também conhecido como a época das grandes glaciações.

LAS

### LENDO A TERRA: Magnetismo terrestre

O estudo das propriedades magnéticas da Terra constitui o ramo mais antigo da geofísica. Na Idade Média o explorador Marco Polo trouxe da China o conhecimento de que uma variedade ferromagnética da magnetita apontava para o norte. Sir William Gilbert (1540 - 1603) demonstrou que o campo magnético terrestre equivalia grosseiramente a um magneto alinhado na direção norte-sul, próximo ao eixo de rotação do planeta. Estudando o magnetismo entre 1830 e 1842, Karl Friederich Gauss provou matematicamente que o campo magnético observado na Terra é proveniente do interior do planeta. Gauss citou haver uma provável relação entre a rotação da Terra e o seu magnetismo, uma vez que o dipolo (norte-sul ou positivo-negativo) responsável pelo citado campo aproxima-se do eixo de rotação.

A Terra, portanto, é um grande ímã fraco. Atualmente sabe-se que os pólos magnéticos da Terra não coincidem exatamente com os pólos geográficos. A causa exata do magnetismo terrestre não é conhecida. Infere-se que sua origem se deva ao movimento convectivo do ferro fundido no núcleo



## Fala da Terra

externo produzindo correntes elétricas que, por conseguinte, induzem um campo magnético.

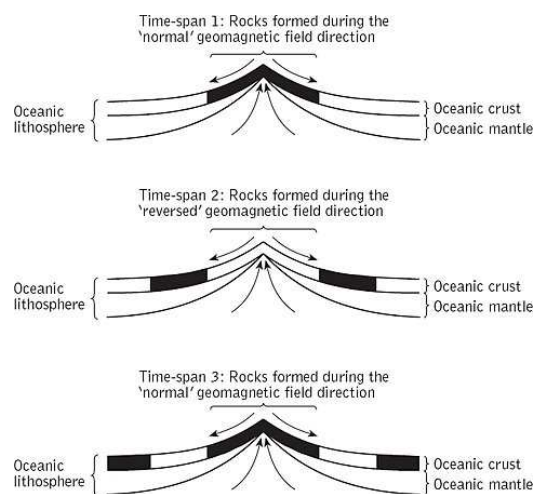
Devido ao fato do campo magnético ser gerado por movimento do fluido no núcleo da Terra, ele pode variar em intensidade devido a flutuações deste movimento. Ao longo de um século observou-se que a intensidade do campo pode variar bastante. Atualmente as medidas e observações indicam que o campo magnético está se tornando mais fraco. Estima-se que o campo magnético possa ir se reduzindo até ficar praticamente nulo. Quando o campo magnético é regenerado as correntes elétricas e mesmo os pólos podem se recompor de forma reversa, o norte magnético vira o sul e vice-versa. Como é que sabemos disso atualmente? A resposta, como tem sido exibido nestes textos do Fala da Terra, está escrita nas rochas.

Alguns minerais possuem uma propriedade chamada magnetismo termo-remanente, o exemplo mais comum é a magnetita. Abaixo de uma determinada temperatura, os minerais que possuem esta propriedade, 500° C no caso da magnetita, se tornam permanentemente magnetizados (ponto Curie). Um derrame de lavas se resfriando já forma cristais de magnetita a 700° C. Ao atingir o ponto Curie esse mineral se torna magnetizado e passa a sofrer a influência do campo magnético terrestre. Os cristais de magnetita são prismáticos, como pequenas agulhas nesta lava, e se orientam segundo o campo magnético da Terra. Ao se coletar um fragmento de rocha desta lava e testá-la, observamos que o campo devido aos cristais de magnetita pode ser distinto do atual. Assim, enquanto esses derrames existirem e não forem consumidos pela erosão eles irão carregar um registro do campo magnético terrestre no momento de sua formação.

Existe ainda um magnetismo remanente de origem deposicional observado em algumas rochas sedimentares. Na deposição de sedimentos clásticos (fragmentos de rochas e minerais) em meios aquáticos, lagos e oceanos, ou mesmo em meio subaéreo, muitas das partículas magnéticas presentes tenderão a se orientar segundo o campo magnético, paralelas às linhas de força. Esse tipo de magnetismo remanente de origem sedimentar também constitui um testemunho do campo magnético reinante na época da deposição.

Já sabemos que o campo magnético terrestre experimenta mudanças de polaridade ao longo do

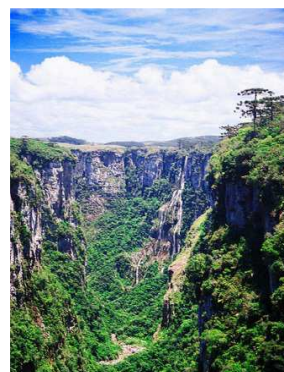
tempo geológico e que estes registros estão “escritos” nas rochas. Os estudos magnéticos de reversão de polaridade foram importantes suportes para a teoria das placas tectônicas. Eis que nas zonas divergentes (<http://www.faladaterra.com/GEODINAMICA.html>) os cientistas mostraram que as dorsais, centro da zona de divergência de placas tectônicas, são eixos de simetria das inversões de polaridade. Mais tarde, juntamente com outros dados geológicos foi possível inferir a velocidade das placas.



Perfil ilustrando a formação da crosta e a mudança de polaridade.

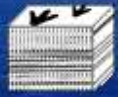
LAS

### ARTE DA TERRA: Parque Nacional de Aparados da Serra (RS e SC-Brasil)



Parque nacional de Aparados da Serra

Fundado em 1959, o Parque Nacional de Aparados da Serra fica no nordeste do Rio Grande do Sul. Situado na zona temperada, o parque é conhecido por seus



## Fala da Terra

desfiladeiros fantásticos, incluindo o maior do Brasil, o Itaimbezinho, cujas paredes têm cerca de 7 Km de extensão e 720 m de altura. A maior parte da água que se precipita desses penhascos se transforma em uma bruma antes de tocar o chão.

O relevo reinante no parque, com grandes desfiladeiros, é uma feição característica das rochas basálticas presentes na região, a chamada Formação Serra Geral. Esses derrames vulcânicos ocorreram no período Cretáceo, entre 137 e 127 milhões de anos e estão relacionados ao mesmo episódio que culminou com a formação do Oceano Atlântico e causou a separação dos continentes sul-americano e africano.

O parque é um dos últimos redutos de araucárias. Altitudes variáveis permitem a diversidade de fauna e flora. Existem cerca de 635 espécies de plantas, 143 de aves e 48 de mamíferos. Muitas são especializadas para a vida nas florestas de araucárias. Entre as principais espécies se destacam o papagaio-charão – um especialista em semente de araucária, o pinhão -, lobos-guará, onças pintadas e bugios. As araucárias chegam a viver 500 anos e a atingir 45 m de altura. Suas sementes são recolhidas desde tempos imemoriais pelos indígenas, que as fazem cair das árvores disparando dardos. As araucárias são “fósseis vivos” que desenvolveram folhas espinhosas para desencorajar os gigantes dinossauros herbívoros.

LAS