

A HISTÓRIA GEOLÓGICA DOS ANDES E OS TERREMOTOS DE ORIGEM PROFUNDA QUE OCORREM NO ACRE

Umberto Cordani – Instituto de Geociências da USP

Durante os anos 60 do século XX ocorreu a maior revolução científica das Geociências, com a emergência dos paradigmas da *Tectônica de Placas*, os quais produziram a integração de todos os aspectos da dinâmica da Terra em escala global. Pela primeira vez na história da Geologia foi elaborada uma teoria unificadora para o funcionamento do planeta, a qual produziu uma mudança completa na mentalidade dos geocientistas comparável com a revolução “*copernicana*” da Astronomia.

O começo de ideias mobilistas, as quais envolvem grandes translações de continentes na superfície do planeta, se deu por ocasião das grandes circum-navegações do século XVI, quando o Oceano Atlântico em sua plenitude começou a comparecer nos primeiros mapas geográficos. Francis Bacon, no século XVII, olhando para a forma de Brasil e África ocidental delineada nesses mapas, ficou intrigado com o seu bom encaixe aparente e sugeriu que tais similaridades dificilmente seriam acidentais. Entretanto, o grande criador da teoria da *deriva continental* foi o alemão Alfred Wegener, que no início do século XX escreveu um minucioso estudo comparativo dos continentes que ladeiam o Oceano Atlântico, descrevendo similaridades muito específicas em diversos aspectos geológicos, e sugerindo algumas ideias para os possíveis mecanismos da movimentação dos continentes. Entre outras coisas, imaginou a existência de uma grande e única massa continental há cerca de 300 milhões de anos, que denominou “*Pangea*”, formada por todos os continentes atuais.

Muitas evidências foram apresentadas por Wegener, como por exemplo (1), a similaridade notável existente entre as rochas e os fósseis das grandes bacias sedimentares que se encontram hoje na América do Sul e na África meridional, separadas por diversos milhares de quilômetros, e (2), as evidências de glaciação continental de latitude que afetou há cerca de 300 milhões de anos grandes regiões de África, América do Sul, Índia, Austrália e Antártica. Entretanto, suas ideias ficaram adormecidas na comunidade geocientífica internacional, visto que ele postulava o movimento das massas continentais deslizando sobre o seu substrato, o que foi considerado impossível pelos cientistas, em virtude da rigidez do material crustal. Por outro lado, o geólogo inglês Arthur Holmes, entre muitos outros legados que deixou para a geologia, foi fundamental para as teorias mobilistas, com sua sugestão de um mecanismo viável para a deriva dos continentes, propondo a existência de correntes de convecção no manto, originadas do calor produzido por radioatividade no interior da Terra. Esse modelo de correntes de convecção permanece essencialmente o mesmo que hoje é aceito pela comunidade geocientífica.

A partir dos anos 50, e na década seguinte, as evidências em favor da deriva continental foram se avolumando. Entre outras, podem ser mencionadas as seguintes: (1) - Os

levantamentos sistemáticos de reconhecimento da topografia dos fundos oceânicos, que mostraram claramente a existência de imensas cadeias de montanhas submersas, as “dorsais médio-oceânicas. (2) - Os resultados das investigações oriundas dos campos do paleomagnetismo e geocronologia, que permitiram verificar que as assim chamadas “*polar wandering curves*” (curvas de deriva polar) eram diferentes para cada continente. (3) - Os levantamentos geofísicos efetuados numa extensa região do Atlântico Norte, ao longo da dorsal médio-Atlântica, a SW da Islândia, decisivos para confirmar a hipótese do “*sea floor spreading*” (crescimento do fundo oceânico), de acordo com o modelo proposto por H. Hess. (4) – Finalmente o teste geocronológico que demonstrou a correlação existente entre regiões continentais hoje separadas pelo Atlântico, como o nordeste do Brasil e o noroeste da África, mas que estiveram adjacentes na reconstrução pré-deriva.

Com as evidências descritas acima a favor do mobilismo, e com muitos outros resultados obtidos pelo Programa do Manto Superior, deu-se o advento do novo paradigma da *Tectônica de Placas*. Ele determina que a dinâmica interna do planeta tem suas origens na mobilidade do material do manto, apesar de este ser quase que totalmente sólido. As correntes de convecção no manto se originam nas zonas mais quentes e profundas, de onde o material busca migrar para níveis superiores. Embora muito lentas, são o motor responsável pelo fluxo térmico observado na superfície e pelos movimentos das *placas tectônicas*, descritas a seguir. Ao mesmo tempo, para compensar essa ascensão, rochas mais frias descem para o interior da Terra e preenchem o espaço deixado pelo material que subiu, completando o ciclo das *células de convecção*.

A camada rígida mais externa do planeta Terra, a *litosfera*, é compartimentada em cerca de uma dúzia de placas tectônicas grandes e muitas placas menores, que se movimentam tangencialmente à superfície do planeta, deslizando sobre o substrato mais plástico, a *astenosfera*. Ao longo dos seus limites concentram-se praticamente todos os terremotos de grande intensidade e a grande maioria dos vulcões ativos do planeta. Estes limites podem ser convergentes, divergentes, ou conservativos. No caso dos limites divergentes, as aberturas na crosta ao longo de grandes sistemas de faturamento são preenchidas por magmas provenientes da astenosfera, caracterizando vulcanismo de fissura, como ocorre na Islândia, ou em muitos vulcões oceânicos submarinos. Nos limites convergentes ocorre a interação entre duas placas que se aproximam e se chocam. Nesse caso, se pelo menos uma delas é formada por litosfera oceânica, ela poderá mergulhar por debaixo da outra, ao longo de uma *zona de subducção*, e *arcos magmáticos* são formados, como ocorre presentemente na Cordilheira Andina. Vulcanismo é frequente, e a presença de sismos é comum, incluindo-se aí terremotos de magnitude muito alta, catastróficos para as comunidades afetadas.

O acima exposto mostra que se situa no manto o motor de todos os processos maiores que afetam a litosfera, e produzem as maiores modificações na fisiografia da superfície da Terra. O manto inteiro participa das grandes convulsões do planeta, e a dinâmica das placas litosféricas atuais é o melhor registro da atuação da astenosfera, camada com características plásticas e geradora de magmas.

Assim como a Pangea, que existiu há cerca de 300 milhões de anos, outros supercontinentes existiram na história da Terra. Há cerca de 600 milhões de anos foi formado o Gondwana, pela convergência de várias massas continentais pré-existentes. Nessa época a América do Sul se encontrava na extremidade ocidental do supercontinente. Desde então, a litosfera da enorme área oceânica existente ao seu lado, que corresponderia ao Oceano Pacífico de hoje, começou a mergulhar por baixo da litosfera continental sulamericana, em direção ao interior da Terra. Foi criada então uma extensa zona tectônica ocupada pela Cordilheira Andina. Hoje os Andes são uma cadeia de montanhas com mais de 8 mil quilômetros de extensão e com elevações de até 7000 metros sobre o nível do mar. São um laboratório natural para o estudo das interações existentes entre o processo de subducção de uma placa oceânica e suas consequências geodinâmicas.

O início da subducção da litosfera oceânica do Pacífico foi há cerca de 560 milhões de anos (Ma), na parte SW do Gondwana, e até o presente a convergência foi mantida numa taxa aproximada de alguns centímetros por ano. Magmatismo ocorreu durante todo o período, com períodos máximos por volta de 320 Ma, ocasião da assim chamada “*Orogênese Herciniana*”, e a partir de 100 Ma, na “*Orogênese Andina*”. Presentemente a *Placa de Nazca*, sempre com litosfera oceânica, mergulha em subducção por baixo do continente sulamericano, e este movimento condiciona tanto a existência da fisiografia da Cordilheira Andina como a sua dinâmica, a qual compreende a formação de quantidades enormes de rochas magmáticas, dobramentos e falhamentos em seu material rochoso, bem como importante produção de relevo e sedimentação em várias bacias sedimentares relacionadas. A subducção do Oceano Pacífico permaneceu durante todo o tempo, desde 560 Ma até os dias de hoje, e na evolução da zona tectônica andina houve pelo menos três períodos com formação de importantes bacias sedimentares. A primeira no Paleozóico (540-250 Ma), a segunda no Mesozóico (250-65 Ma) e a terceira no Cenozóico (até o presente), com o levantamento das montanhas andinas.

A dinâmica andina, atuando num limite convergente entre uma placa oceânica e outra continental, em que a convergência sempre foi unidirecional e voltada para leste como consequência da subducção da placa do Pacífico, produziu importantes flexuras sobre a região continental, onde foram formadas diversas *bacias sedimentares de ante-país*. Uma delas é a Bacia do Acre, que recebeu material detrítico proveniente do relevo andino, na medida em que este ia sendo continuamente formado e destruído. Ela cobre cerca de 150 mil km² e possui uma coluna sedimentar com até cerca de 8 km de espessura. Separada da enorme bacia intracratônica do Solimões por um *arco tectônico*, ela se correlaciona com as bacias subandinas congêneres do Marañon, do Peru, a norte, e de Madre de Dios e do Ucayali, da Bolívia, a sul. Apresenta em sua sedimentação vários ciclos deposicionais, interrompidos pela tectônica compressiva das orogêneses Herciniana e Andina.

A estratigrafia da Bacia do Acre inclui cerca de 2200 metros de folhelhos com níveis arenosos, de idade cenozoica, que correspondem à Formação Solimões, a qual cobre ambas as bacias do Solimões e do Acre. Estes depósitos se sobrepõem a 4000 metros de sedimentos clásticos do Grupo Jaquirana, do Mesozóico, que por sua vez recobrem cerca de 1500 metros de sedimentos continentais com algumas intercalações marinhas do Paleozóico. Presentemente, em seu espaço, estão situados os epicentros de terremotos que em muitas

ocasiões são claramente percebidos pela população, e os estudos sismológicos realizados na região indicam que se trata de terremotos de foco profundo, em que o hipocentro está situado a mais do que 400 quilômetros no interior da Terra. A razão desta situação peculiar é devida ao mergulho da placa oceânica, que desde o início da subducção manteve sempre a sua inclinação para leste durante todo o período da orogênese Andina. O limite entre as duas placas convergentes se encontra hoje ao largo da costa peruana, onde se encontra a fossa Peru-Chile, no Pacífico ocidental. No entanto a porção frontal da placa oceânica que voltou para o manto encontra-se agora a cerca de 800 km de distância, para leste, a uma profundidade de mais de 400 km. Nesta situação, justamente debaixo do Acre, este bloco remanescente da placa rígida, que iniciou a sua subducção há muitos milhões de anos, ainda continua com o seu mergulho em direção ao interior da Terra, e o atrito produzido pelos seus movimentos sistemáticos e frequentes é a causa dos terremotos observados na região.