

PLANETA TERRA: UM SISTEMA ABERTO DENTRO DO UNIVERSO

PLANET EARTH: AN OPEN SYSTEM IN THE UNIVERSE

Gilberto Athayde Albertão¹

O assunto aqui tratado foi objeto do curso "Aspectos de Geologia Global: Uma Abordagem Epistemológica", ministrado pelo Dr. Paulo Pereira Martins Jr.* e promovido pela Associação Profissional dos Geólogos no Estado de Sergipe, no mês de janeiro de 1989, em Aracaju. Parte da exposição que vem a seguir constituiu apenas a porção inicial do curso, que teve duas funções básicas: 1) a colocação frente à assistência do curso, composta por geólogos de formações diversas, da Terra "no seu devido lugar"; e 2) a abordagem da questão do "fazer ciência", tomando como base os conceitos de Kuhn (1978). Desta forma, o curso desenvolveu-se dentro de uma perspectiva epistemológica, que utiliza a análise crítica da teoria do conhecimento, de seus princípios pré-estabelecidos e de suas limitações, o que é, em suma, a própria filosofia da ciência. A aplicação desse tipo de abordagem permite que sejam reavaliados dados sob novos pontos de vista em quaisquer áreas do conhecimento humano. Durante o curso, foram propostos pontos relativos a assuntos como astrofísica (novos elementos relacionados aos corpos celestes), estratigrafia (questão da coluna geológica padrão e estratigrafia de eventos), geologia do petróleo (questão da migração primária vertical de petróleo, origem inorgânica de hidrocarbonetos), geologia econômica (aproveitamento de mineralizações associadas a impactos de meteoritos), dentre outros.

Na rotina de trabalho, o geólogo limita-se aos aspectos do seu dia-a-dia; apesar de sua formação profissional ter relações lógicas e, muitas vezes, aplicações diretas com a dinâmica global, muita coisa passa "ao largo" da percepção normal.

Um campo de petróleo, por exemplo, está situado numa bacia sedimentar, que, por sua vez, tem sua origem em algum processo da dinâmica geológica. Atualmente, o cenário dominante nos grupos que fazem a "ciência normal" (Kuhn, 1978) em geologia é o da teoria da Tectônica de Placas, e ela pode explicar boa parte dos fenômenos geológicos observados.

1 - Setor de Geologia de Desenvolvimento dos Campos de Alagoas (SEGED - II), Divisão de Interpretação (DINTER), Distrito de Exploração do Nordeste (DENEST), Rua Acre, 2504, CEP 49060, Aracaju, SE, Brasil.

* Universidade Federal de Ouro Preto e Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.

Mas, e o planeta Terra? Será que todos os processos físicos da natureza ocorrem nesse planeta como num universo fechado?

Há algumas décadas, o próprio homem tem saído desse "universo" e interagido com vários outros mundos vizinhos, graças a viagens e sondas espaciais e telescópios modernos. O que se observa é que existe uma outra dinâmica, absoluta, que comanda a maioria dos grandes ciclos e fenômenos planetários: a dinâmica celeste.

Com o objetivo de exemplificar certos agentes do mecanismo celeste, são relacionadas, a seguir, algumas observações, parcialmente baseadas no trabalho de Clube e Napier (1982):

1 — a Terra faz parte de um sistema solar com nove planetas (descobertos com certeza até o presente momento) e a estrela-sol. O sistema faz parte de uma galáxia, de forma espiral oblata e apresenta braços enrolados, que formam verdadeiros apêndices dessa espiral;

2 — a órbita do Sol leva-o a uma trajetória que intersecciona periodicamente os braços (em número de três: Sagitarius, Orion e Perseus). Ao atravessar um braço, o sistema solar atua como fonte de atração gravitacional, capturando bilhões de corpos sólidos que estão contidos nesses braços espirais;

3 — os cometas são corpos compostos predominantemente de gelo, podendo seu núcleo ser constituído também de gelo ou então cascalho ou rocha sólida, de tamanho máximo da ordem de poucos quilômetros; a cauda surge pela vaporização do gelo, quando o cometa aproxima-se do Sol;

4 — há uma diversidade enorme de corpos no espaço circunterrestre. Os asteróides, por exemplo, são considerados cometas capturados pelo sistema solar e transformados posteriormente. Os chamados objetos Apolo seriam asteróides com órbita cortando a da Terra. Sua origem seria tanto cometas transformados (80%) quanto asteróides do cinturão (20%), que separam os planetas internos (até Marte) dos planetas externos (a partir de Júpiter) do sistema solar. Outros asteróides importantes são os objetos Aten, que possuem órbita interna à da Terra, e os objetos Amor, que têm órbita interna à de Marte:

5 — estima-se que, ao passar pelos braços da galáxia, o sistema solar retenha milhões de cometas e que o período de cada passagem seja da ordem de 50 milhões de anos; a última passagem do sistema solar da Terra pelo Cinturão de Gold (uma projeção do Braço de Orion) teria ocorrido há 10 milhões de anos;

6 — no registro geológico, e mesmo na história recente da Terra, são inúmeros os relatos e ocorrências de impactos. Exemplos existem às centenas e serão destacados apenas alguns, de proporções maiores e/ou que são aceitos sem controvérsias: a) o asteróide que caiu na região do rio Tunguska, na Sibéria Central (Rússia), em 1908, destruindo uma área de aproximadamente 2 000 km² de floresta de coníferas (Ganapathy, 1983); b) estruturas de impacto na Amé-

rica do Norte, onde destacam-se a *Meteor Crater*, com idade de 50 000 anos e diâmetro de aproximadamente 1 200 m, no Estado do Arizona (Estados Unidos; Burnham, 1991), e a identificação da Bacia de Sudbury, na Província de Ontário (Canadá), como uma gigantesca estrutura de impacto (mais precisamente um astroblema, já que a cratera já foi bastante deformada por processos de erosão e tectonismo), com idade de 2 bilhões de anos, à qual estão associadas importantes mineralizações (20% da riqueza mineral do Canadá), principalmente de níquel (Dietz, 1991); c) no Brasil, têm sido identificadas estruturas circulares, especialmente nos domínios da Bacia do Maranhão, muitas delas associadas a estruturas de impacto, como as de São Miguel do Tapuío, no Estado do Piauí, e da Serra da Cangalha, no atual Estado do Tocantins (Alves da Silva, 1982); d) particularmente interessante no Brasil é a estrutura conhecida como "Domo de Araguinha", já amplamente estudada e definida como estrutura de impacto (Crósta *et al.* 1981 e Theilen-Willige, 1981), com características diagnósticas como o contorno aproximadamente circular, a seqüência típica de uma morfologia de impacto, preservação de metamorfismo de impacto, existência de cones de estilhaçamento (*shatter cones*) e afloramento de brechas multicoloridas;

7 — pequenos impactos são relativamente frequentes, mesmo nos dias atuais, sendo comuns quedas de pequenos meteoritos no oceano (maior número por uma questão de maior superfície na Terra) e mesmo em terra (um exemplo é o caso brasileiro do famoso Bendegó, no Estado da Bahia);

8 — casos de quase-impactos são também comuns: a) em 1898, o asteróide Eros, que não atravessou a órbita terrestre, chegou a uma distância de seis vezes a da Lua à Terra; b) em 1932, há o relato do primeiro Objeto Apolo; c) em 1937, foi constatada a passagem mais próxima de um Objeto Apolo numa distância de 600 000 km da Terra (apenas duas vezes a distância da Terra à Lua). As estimativas são de que cerca de quatro objetos Apolo cruzem a órbita terrestre por ano e de que já tenham sido observados aproximadamente 1 300 objetos Aten;

9 — a inexistência de atmosfera em alguns planetas permite uma melhor preservação das crateras de impacto. Sabe-se que a principal fonte de crateras nos planetas internos são os objetos Apolo. A Lua, a uma distância astronômica infinitesimal da Terra, exibe o registro de um número muito grande de impactos representados pela maioria de suas crateras, algumas observadas quase à vista desarmada;

10 — os anéis de Saturno, que têm o gelo como seu composto básico, estão no Limite de Roche* do planeta. Essa evidência praticamente não deixa, entre os astrônomos, controvérsia sobre a hipótese da gê-

* Limite de Roche é a distância ao centro de um planeta (ou outro corpo celeste) para a qual a aproximação de um outro corpo de dimensões e/ou densidades um pouco menores gera forças de maré capazes de provocar o estilhaçamento deste último.

nese dos anéis estar relacionada ao impacto de um corpo de gelo (cometa?) com o planeta (na realidade, aproximação, e não impacto, pois o corpo seria estilhaçado ao atingir o Limite de Roche);

11 — Em relação ao cinturão de asteróides, as hipóteses ora aceitas são apenas duas: a) estavam originalmente no Limite de Roche de algum corpo, ou b) são resultado da destruição ocorrida com a aproximação de dois corpos de dimensões e densidades aproximadas.

Tendo como base as abundantes observações dos fenômenos celestes, os cientistas têm caminhado para o campo das inferências. Para citar alguns casos em que o planeta Terra é questão, listam-se dois dos mais pertinentes:

1 — Frank T. Kyte, Lei Zhou e John T. Wasson, geofísicos da Universidade da Califórnia (Jornal do Brasil, 1988) advogam que um asteróide que caiu na região sul do Oceano Pacífico há 2,3 milhões de anos teria sido a causa da última glaciação, devido à grande quantidade de vapor d'água lançado na atmosfera, e que teria obstruído a luz solar;

2 — admite-se que foi um grande meteorito, ou uma chuva de meteoritos, a causa das transformações ocorridas nos seres vivos da Terra, e sobre ela mesma, no final do Cretáceo, explicando inclusive a extinção dos grandes répteis e de organismos plantônicos. A teoria, levantada em 1979 por Luiz Alvarez, prêmio Nobel de física, foi divulgada por várias publicações (Alvarez *et al.* 1980 e 1984) e é aceita atualmente sem quaisquer reservas em alguns compêndios da "ciência normal", embora sofra resistência por parte de alguns cientistas, principalmente daqueles arraigados aos limites arcaicos do paradigma darwiniano clássico (Kuhn, 1978). Hsu (1989) afirma que pesquisas de opinião têm revelado forte resistência dos paleontólogos à hipótese da mortalidade em massa do final do Cretáceo estar relacionada à existência de um oceano sem vida ("*Strangelove Ocean*"), provocada pelo impacto e suas conseqüências ambientais; exceções a esse tipo de resistência são poucas mas contam com os renomados cientistas D. Russel e D. Raup, que têm sido atraídos por essas novas idéias. O fato é que as anomalias de irídio, que dão suporte às hipóteses citadas nos itens 1 e 2 deste parágrafo, são explicadas, ou melhor, previstas, pela Teoria dos Impactos, e vários livros recentes (Hsu, 1986) têm fornecido outros subsídios para corroborá-las.

Alguns relatos (Mark, 1989; Marvin, 1989) podem servir como *case histories* relacionados ao que é considerado pouco convencional em geologia. Das idéias pioneiras de Robert Hook sobre impactos, no século XVII, até as missões espaciais Apollo (da NASA) na Lua, na segunda metade do século XX, acreditou-se que a origem das crateras lunares estava associada a vulcanismo. A existência de cometas e meteoritos e alguns impactos, embora conhecidos desde os mais antigos registros da civilização, era tratada pela ciência, de uma maneira geral, como superstição, até o sé-

culo XIX. No final do século XVIII e início do XIX, uma conjugação de fatores alterou o tipo de enfoque no assunto: em 1795, ocorreram quatro quedas de meteoritos testemunhadas na Europa e na Ásia; em 1803, no norte de Paris ocorreu uma chuva de meteoritos, com aproximadamente 3 000 fragmentos; em 1794, E. F. F. Chladin publicava um tratado sobre fragmentos planetares atraídos pelo campo gravitacional da Terra. No entanto, a virada do século XVIII para o XIX assistiria também à emergência da geologia moderna com os enunciados de Hutton e Lyell, e durante quase dois séculos considerou-se que toda hipótese relacionada a impactos colidia frontalmente com a barreira erigida pelo uniformitarismo.

Um caso típico (Mark, 1989; Marvin, 1989) ocorreu no final do século XIX e início do XX. O geólogo G. K. Gilbert, em visita ao Estado do Arizona (Estados Unidos), no ano de 1891, associou a origem da cratera lá existente à colisão de um meteorito, mas a forte oposição que a idéia encontraria, se apresentada formalmente, aliada à ausência de maiores evidências, na época, levaram-no a uma revisão de conceito, passando a definir a estrutura como efeito de vulcanismo. O prestígio de Gilbert e seu posto de chefe do *United States Geological Survey* levaram ao não questionamento daquela revisão e ao conseqüente atraso de pelo menos sessenta anos na definição das estruturas geológicas da área. É sintomático nesse período que mesmo trabalhos como os do engenheiro de minas D. M. Barringer, que encontrou algumas evidências de impacto válidas até hoje, tenham sido desprezados, que o nome *Meteor Crater* tenha sido proibido de aparecer num mapa da região e que artigos de R. B. Baldwin, sobre a natureza de impacto das crateras lunares, tenham tido dificuldade para a sua publicação. Apenas nas décadas de 50 e 60, com a descoberta de esferóides metálicos, rochas fundidas e coesita, e a publicação desses dados pelo astrônomo E. M. Shoemaker, foi fundamentada a origem de impacto para a *Meteor Crater*.

As missões Apollo, especialmente na década de 70, permitiram as análises detalhadas de estruturas das crateras lunares, e a associação com características da *Meteor Crater* nortearam a identificação de mais de uma centena de estruturas de impacto na Terra e em outros planetas e satélites vizinhos nos últimos anos.

É bastante elucidativo o artigo de Ginsburg *et al.* (1989), que informa a realização de um encontro entre cientistas de diversas áreas (paleontólogos, mineralogistas, geólogos, astrônomos, físicos, entre outros), promovido pelo Instituto Planetário e Lunar de Houston e pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos, já em sua segunda versão, que destacou os padrões e a periodicidade das extinções em massa. Em geral, estão em profunda associação as determinações de tanatobiocenoses, anomalias de irídio, existência de quartzo de impacto, na forma de coesita e stishovita (Deer *et al.* 1977), e discordâncias regionais

“quebras” de seqüências deposicionais). Não se trata mais de discutir as possibilidades de tais eventos ocorrerem ou não, mas sim de caracterizá-los, prevendo-os fisicamente. Essa comunidade científica, que definiu a relação entre os impactos e as extinções em massa, trata agora de estudá-las, quantificando suas dimensões e freqüências. Um exemplo da consistência de suas análises tem sido a utilização, por parte de técnicos do *United States Geological Survey*, de observações feitas no telescópio de Monte Palomar, com o intuito de estimar o fluxo de objetos capazes de causar as extinções (objetos que provocassem crateras com diâmetro maior que 100 km), que seria da ordem de dois nos últimos 100 milhões de anos. Entre outras questões discutidas, além do diâmetro e da composição do bólido (e do terreno do impacto), estão também o ângulo de incidência, as alterações ambientais e a multiplicidade de eventos (O’Keefe e Ahrens, 1982). Além dos impactos, outros fenômenos catastróficos são levados em conta nos processos atuantes na dinâmica geológica e biológica da Terra, como, por exemplo, a atividade vulcânica associada aos fatores ambientais (Officer e Drake, 1985; Koeberl, 1989).

Deve-se ressaltar, no entanto, que publicações em periódicos, e mesmo livros, na área das geociências, estão apenas começando a mostrar os contornos mais nítidos do estado da arte desses estudos. Os geólogos, em sua maioria, ainda direcionam seus estudos a partir do pressuposto de que a Terra é um sistema completamente fechado e admitem todas as transformações ocorridas no planeta, que envolvem a dinâmica da tectônica global e os sistemas deposicionais, entre outras questões, como fatos sem qualquer ligação com o sistema planetário a que a Terra pertence. O que de fato parece passar despercebido para boa parte da comunidade geológica é que, independentemente da comprovação de uma ou outra hipótese que está em discussão e, principalmente, em voga, como é o caso da teoria do impacto na passagem Cretáceo-Terciário, os fenômenos que ocorrem sobre a Terra, decorrentes de sua condição de elemento corpuscular dentro do verdadeiro Universo, são importantes, estão registrados na história geológica e pouco se tem avançado na sua detecção. Dentre vários dos fenômenos que deverão ser estudados mais adequadamente estão não apenas os impactos, mas também efeitos de marés, ciclos orbitais e a variação do ângulo entre o eixo da Terra e o plano da eclíptica.

Para Marvin (1989), as conseqüências que decorrem da possibilidade de acontecerem impactos instantâneos de corpos extra-terrestres baseia-se num conceito “mais revolucionário que o da Tectônica de Placas”. O autor supracitado lembra que têm surgido idéias definindo os impactos como um processo uniformitarista, tendo em vista sua ocorrência contínua através do sistema solar, mas destaca que, acatando-se ou não tal redefinição, os impactos são importantes como processos geológicos, provocando não só rupturas na superfície da Terra, mas também abalando os

princípios básicos da geologia, estabelecidos ao longo dos últimos 200 anos.

Na realidade, na sua ânsia de conhecimento do Cosmos, astrônomos e astrofísicos tomaram a frente na pesquisa das causas dos fenômenos geologicamente registrados, e assumiram a mais honesta postura do “fazer ciência”; colocando a Terra como objeto de estudo, e dela se separando para buscar, no Universo, os agentes externos que interagem com o planeta, fazem uso de uma epistemologia “científica” um tanto renovada, pois analisam o objeto de estudo com o máximo de isenção possível, destacando os modelos e teorias que prevêm os fenômenos daqueles que apenas os explicam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, L.W. *et al.* Extraterrestrial cause for the Cretaceous – Tertiary extinction. *Science*, v. 208, p. 1095-1108, 1980.
- ALVAREZ, W. *et al.* The end of the Cretaceous: sharp boundary of gradual transition? *Science*, n. 223, p. 1183-1186, 1984.
- ALVES DA SILVA, E.F. Cartas. *Ciências da Terra*, n. 3, p. 5, 1982.
- ASTERÓIDE pode ter sido causa da idade do gelo. *Jornal do Brasil*, 4 jul. 1988.
- BURNHAM, R. Arizona’s meteor crater. *Earth*, v. 1, p. 50-58, 1991.
- CLUBE, V., NAPIER, B. *The cosmic serpent: a catastrophist view of Earth History*. New York: Universe Books, 299 p., 1982.
- CRÓSTA, A.P., GASPARI, J.C., CANDIA, M.A.F. Feições de metamorfismo no Domo de Araguinha. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 11, p. 139-146, 1981.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J. *An introduction to the rock forming minerals*. London: Longman, 528 p., 1977.
- DIETZ, R.S. Are we mining an asteroid? *Earth*, v. 1, p. 36-41, 1991.
- GANAPATHY, R. The Tunguska explosion of 1908: discovery of meteoritic debris near the explosion site and at the south Pole. *Science*, v. 220, p. 1150-1161, 1983.
- GINSBURG, R.N., BURRE, K., SHARPTON, V. Scientists debate global catastrophes. *Geotimes*, v. 34, n. 3, p. 14-16, 1989.
- HSU, K.J. Bolides and evolution: illustration of dogmatic resistance to theories invoking improbable. In: INTERNATIONAL GEOL. CONG., 28, 1989, Washington. *Proceedings...* [Washington: s.n., 1989], v.2, p. 76-77.
- _____. *The Great Dying*. Orlando: Harcourt Brace Jovanovich Pub., 292 p., 1986.
- KOEBERL, C. Iridium enrichment in volcanic dust from blue ice fields, Antarctica and possible relevance to the K/T boundary event. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 92, p. 317-322, 1989.
- KUHN, T.S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva, 257 p., 1978.
- MARK, K. Meteor Crater: Where it all began. In: INTERNATIONAL GEOL. CONG. 28, 1989, Washington. *Proceedings...* [Washington: s.n., 1989], v. 2, p. 369.
- MARVIN, U.B. Meteorite impact and its consequence for geology. In: INTERNATIONAL GEOL. CONG., 28, 1989, Washington. *Proceedings...* [Washington: s.n., 1989], v. 2, p. 381.
- OFFICER, C.B., DRAKE, C.L. Terminal Cretaceous environmental events. *Science*, v. 227, p. 1161-1167, 1985.
- O’KEEFE, J.D., AHRENS, C.L. Impact mechanics of the Cretaceous-Tertiary extinction bolide. *Nature*, v. 298, p. 123-127, 1982.
- THEILEN-WILLIGE, B. The Araguinha impact structure/central Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 11, p. 91-97, 1981.

Obs.: Dados citados e que não constam nas Referências Bibliográficas foram obtidos de anotações de aula durante o referido curso.