

CP 8

TRABALHO PRÁTICO E EXPERIMENTAL NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Organizadores da Edição

Manuel Sequeira

Luís Dourado

Maria Teresa Vilaça

José Luís Silva

Ana Sofia Afonso

João Manuel Baptista

**Departamento de Metodologias da Educação
Instituto de Educação e Psicologia
Universidade do Minho**

ACTIVIDADES PRÁTICAS E EXPERIMENTAIS NO ENSINO DA GEOLOGIA: UMA NECESSIDADE INCONTORNÁVEL

António Mateus
Universidade de Lisboa

O planeta Terra representa, efectivamente, um caso sério de singularidade no Sistema Solar, surgindo como um megassistema dinâmico e aberto (e.g. Hamblin & Christiansen, 1995; Beatty *et al.*, 1999; Jones, 1999; Ward & Brownlee, 2000). Na base desta singularidade encontram-se variadíssimos processos endógenos e exógenos, orgânicos e inorgânicos, que concorrem para o desenvolvimento de um sem número de sistemas naturais complexos e necessariamente interdependentes. E, se por um lado, a evolução de cada sistema é determinada pelos fluxos de massa e de energia que, em cada momento, transcrevem os delicados balanços estabelecidos com o ambiente (não mais que a porção do Universo complementar ao sistema em causa), ela documenta, por outro, a extraordinária eficiência com que é utilizada a energia desde sempre disponibilizada pelo interior da Terra e pelo Sol, ao fim e ao cabo dois megareactores nucleares (de fissão e de fusão, respectivamente). Não é, pois, ocasional a comparação que frequentemente se estabelece entre o planeta Terra e uma "máquina viva" (em actividade contínua e gerando níveis crescentes de complexidade dotados de propriedades peculiares), cujo funcionamento harmonioso se afigura crítico à manutenção de balanços auto-organizados entre a astenosfera, litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera (e.g. Bak, 1996; Turcotte, 1997). Podemos, em suma, dizer que, no seu todo, a singularidade do planeta por nós habitado é fruto das interacções constantes que se estabelecem entre o Sol, a Terra e a Vida. Compreender ainda que em traços gerais a incomensurável teia de conexões fundada nestes três "pólos" constitui um passo indispensável à "descoberta" do Mundo

Natural que nos rodeia, tomando igualmente consciência da efectiva necessidade e urgência em preservar o património geológico (a este propósito recomenda-se vivamente a leitura atenta da *Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra*, também conhecida por *Carta de Digne*, cuja versão portuguesa pode ser encontrada nas Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 1991, t.77: 147).

Vistos do espaço, os efeitos decorrentes dos magníficos e delicados balanços estabelecidos entre os processos endógenos e exógenos adquirem contornos de inegável beleza e, simultaneamente, de intrincável complexidade (Strain & Engle, 1992): das cadeias de montanhas, aos glaciares, passando pelos desertos, pelos magníficos estuários e embocaduras dos grandes rios, à imensidão dos oceanos (ocultando surpreendentes sistemas a que só muito recentemente começámos a ter acesso). Mas, não menos impressionantes, são as imagens de satélite que documentam os efeitos decorrentes da ocupação humana, marcadamente assimétrica a nível global e regional, e cujo verdadeiro impacto nos fluxos de massa e de energia ou nos ciclos biogeoquímicos naturalmente estabelecidos estamos muito longe de poder avaliar de forma condigna (e.g. Berner & Berner, 1996; Hill, 1997). Apreciar tais ilustrações representa, contudo, mais um passo no entendimento do modo como as diferentes partes se integram no todo, reconhecendo adicionalmente que, conforme se pode ler na *Carta de Digne, (...) Nós e a Terra compartilhamos uma herança comum (...)*.

A enorme vitalidade dos processos naturais gera com suprema facilidade sistemas críticos a qualquer escala que, passíveis de agrupamento em tipologias diversas, possuem uma identidade própria. Sem a caracterização cuidada desta identidade não é possível compreender a maravilhosa evolução, muitas vezes turbulenta, do próprio planeta, nem tão pouco se pode identificar e avaliar a dimensão da intervenção antropogénica, nas suas diversas vertentes. Quer isto dizer que, na ausência de uma rigorosa caracterização dos sistemas terrestres, dificilmente se poderá propor medidas adequadas à gestão racional dos recursos naturais (incluindo necessariamente a atmosfera, para além dos recursos hídricos, pedológicos, energéticos e minerais, só para citar os que mais nos afectam directamente) num quadro desejável de desenvolvimento sustentável. E tal não é de somenos importância, porquanto sem a devida utilização dos recursos naturais não nos é possível sobreviver, como facilmente se pode verificar através da leitura geral da marcha evolutiva da Sociedade Humana em função da utilização de recursos minerais e energéticos, em particular, a qual tem ainda a particularidade de reflectir a crescente influência do

conhecimento científico na promoção de arte e engenho do Homem (e.g. Evans, 1997). Estes são, em termos muito gerais, os principais desafios que actualmente se colocam às Ciências da Terra que, inevitavelmente, incluem a Geologia. A promoção de uma educação de qualidade não os pode, pois, ignorar (e.g. Seddon, 1996). Daqui emerge a necessidade de fornecer aos cidadãos uma cultura científica alargada por meio de uma formação que lhes permita compreender o Mundo como um todo, intervindo criticamente na sua transformação.

Importa, nesta perspectiva, desenvolver abordagens de investigação e de ensino que combinem metodologias apropriadas à caracterização dos sistemas naturais, promovendo a construção de interdependências entre os conhecimentos geológicos intemporais e os historicamente orientados, solucionando, assim, de forma coerente, as questões levantadas no âmbito da dinâmica dos processos geológicos e da geohistória. E aqui entramos finalmente no tema central deste pequeno conjunto de reflexões sobre as actividades práticas e experimentais no ensino da Geologia.

Começamos inevitavelmente pelo trabalho de campo, nas suas vertentes observacional, descritiva, contextualizante e comparativa. Sem ele não é possível analisar e descrever o registo geológico de uma determinada região. Ou, por outras palavras, definir o sistema a estudar, caracterizar a sua arquitectura e extensão no espaço e no tempo, examinar as suas componentes e avaliar as condições de fronteira requeridas pelo seu desenvolvimento e estabilidade. E, neste âmbito, numerosas são as actividades práticas e experimentais que se podem e devem desenvolver no campo e/ou no laboratório com vista à resolução de toda uma série de questões em torno: 1) da geometria apresentada pelas diferentes geoestruturas e/ou relações cartográficas estabelecidas entre os diversos corpos geológicos; 2) da cronologia relativa entre as várias entidades geológicas identificadas; e 3) da natureza física e química dos constituintes básicos destas últimas.

Mas, a análise das variáveis que, de forma intrínseca e extrínseca, condicionam a evolução do sistema sem influenciar a sequência de eventos, exige o exame tão detalhado quanto possível das relações causa-efeito. E é neste contexto que o trabalho experimental, não raras vezes de cariz interdisciplinar, adquire papel de relevo. Tal permite utilizar o princípio do uniformitarismo segundo a mesma lógica que nas restantes ciências, baseando correctamente a extrapolação em analogias por motivos de semelhança composicional ou de dependência causal, criando ainda bases de raciocínio coerentes que fundamentem a previsão (e.g. Schumm, 1991). Para além disso, a simples verificação da existência de uma multiplicidade de factores

António Mateus

que, de forma convergente ou divergente, com maior ou menor eficiência, concorrem para os mesmos efeitos, justifica plenamente a utilização de uma metodologia alicerçada em testes de hipóteses múltiplas (Chamberlin, 1890).

Manter várias hipóteses de trabalho em aberto e procurar explicações compósitas, é, neste contexto, fundamental para se entender a resposta do sistema, algo que se afigura determinante à compreensão da sua natureza complexa e singular, concorrendo para a percepção da sua sensibilidade, *i.e.* do modo como o sistema reage a determinados estímulos externos. E aqui, mais uma vez, se torna imprescindível o desenvolvimento de actividades experimentais, estas últimas fazendo uso de ensaios determinísticos ou da aplicação de modelos de simulação numérica e/ou de avaliação de comportamento analógico.

Face ao exposto, afigura-se-nos legítimo defender que, qualquer que seja o ciclo de ensino e de aprendizagem em Ciências da Terra, ele não poderá alhear-se dos princípios subjacentes à construção do conhecimento geológico como um todo, o qual mais não é que o resultado da caracterização global dos sistemas terrestres obtida através das abordagens interactivas entre três grandes pilares: *História/Evolução — Relações Causa-Efeito — Resposta do Sistema*. Adstritas ao primeiro pilar encontramos as vertentes *Tempo, Espaço e Localização* (nas suas componentes escala e dimensão). No segundo pilar inscrevem-se a *Convergência, Divergência, Eficiência e Multiplicidade* dos processos naturais. No terceiro figuram os resultados da dinâmica do Mundo Natural por via da *Singularidade, Sensibilidade e Complexidade* dos sistemas terrestres.

Tempo, espaço, localização, convergência, divergência, eficiência, multiplicidade, singularidade, sensibilidade e complexidade são, pois, dez palavras-chave que sumarizam de forma magistral todo o problema (Schumm, 1991). Tomar consciência do seu verdadeiro significado constitui um novo passo no entendimento dos processos e sistemas naturais, permitindo inclusivamente perceber que: 1) qualquer abordagem, por mais completa que seja, está longe de contemplar todas as variáveis; 2) a precisão das extrapolações e previsões dependem das incertezas inerentes quer à heterogeneidade natural, quer às limitações dos métodos de medição ou de análise utilizados; e 3) que as relações entre variáveis causais são frequentemente de natureza estatística, afrontando deste modo a definição estrita de causalidade.

Racionalizar as variáveis intrínsecas e extrínsecas de qualquer sistema afigura-se assim determinante na compreensão e explicação da

singularidade e da complexidade dos objectos e fenómenos naturais, conduzindo à chave que permite decifrar a Magia Natural e, adicionalmente, apreciar a *Criticalidade Auto-organizada dos Sistemas Naturais* (Bak, 1996). As actividades práticas e experimentais são, por conseguinte, inestimáveis. Mas para que as mesmas sejam, efectivamente, eficazes na construção de conhecimento significativo, é fundamental que estas se desenvolvam no âmbito de percursos investigativos orientados em torno de séries encadeadas de pequenos problemas resultantes da decomposição de uma questão maior, cuja solução passe pela formulação de hipóteses de trabalho e exija a combinação das componentes observacional, descritiva e experimental em sentido lato. Deste modo, toda e qualquer actividade de ensino em Geologia deve privilegiar o desenvolvimento de atitudes de problematização sobre os vários processos que se desenrolam nos diversos sistemas terrestres, visando a compreensão do registo geológico e a aquisição de capacidades de observação/registo de factos, medição *in situ* de parâmetros críticos e/ou de resposta experimental a questões específicas suscitadas durante o estudo de exemplos paradigmáticos. A nível do Ensino Secundário o grande desafio reside em saber como desenvolver efectivamente tais percursos.

O valor educativo das Ciências da Terra tem sido discutido por vários autores (e.g. Schumm, 1991; Seddon, 1996; Frodeman, 1998), sendo aparentemente consensual a ideia de que estes domínios do conhecimento científico se afiguram inestimáveis ao desenvolvimento da curiosidade sobre o Mundo em que vivemos e à construção de raciocínios coerentes acerca da fenomenologia natural. Todavia, a busca de um enquadramento curricular que possibilite o desenvolvimento de capacidades de abstracção e de raciocínio lógico e crítico fundamentais à interpretação dos complexos sistemas naturais, está longe de ter terminado. E o principal desafio reside aqui mesmo, porquanto a qualidade (e eficácia) do ensino ministrado não corresponde necessariamente à quantidade de informação difundida (geralmente medida em termos da extensão curricular e/ou em termos da sua grande especificidade!), particularmente se as abordagens seleccionadas dificultarem o amadurecimento gradual das noções base e a estruturação do pensamento, impedindo que a informação se transforme em conhecimento permanente (e.g. Tedesco, 1999). Acresce salientar que o não atendimento destes requisitos tem consequências enormes a médio-longo prazo, retardando e/ou constringendo de forma irremediável a tão desejada formação para uma opinião pública esclarecida, culturalmente preparada para intervir

num Mundo em constante transformação e, assim, contribuir para a mudança de atitudes exigida pelo desenvolvimento sustentável da Sociedade (Tedesco, 1999; Canavarro, 1999, e referências citadas).

Algumas propostas sobre como devem ser pragmaticamente ministrados os cursos introdutórios de Geologia constituem objecto de trabalhos específicos, dando conta do sucesso inerente à sua implementação e exploração (e.g., Tewksbury, 1999, e referências citadas). Outras propostas, quiçá de natureza mais teórica, têm também sido avançadas (e.g. Mayer, 1998; Orion, 1998 a, b), visando estratégias de ensino globalizante segundo a perspectiva CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), se bem que sempre subordinada aos grandes paradigmas actuais (de onde se destacam as relações Homem — Ambiente). Não existindo da nossa parte a veleidade em conhecer detalhadamente todas as propostas curriculares efectivamente colocadas em prática, fica, contudo, a forte impressão que o antropocentrismo constitui o denominador comum das que tivemos oportunidade de analisar. A construção do conhecimento geológico não surge, pois, como a trave-mestre destas propostas, facto que, em nossa opinião, inibe o desenvolvimento de capacidades de observação e de interpretação crítica do registo geológico, motor igualmente essencial à estruturação do pensamento porquanto promove a aquisição e organização de dados frequentemente dispersos e sem relação intuitiva. Somos, pois, de opinião que a estratégia a adoptar para o ensino da Geologia deve necessariamente contemplar o estudo dos sistemas naturais através de percursos investigativos onde as componentes prática e experimental (a realizar no campo e laboratório) jogam papel determinante. Tais percursos, visando a aquisição de elementos cruciais à construção de conhecimento geológico historicamente orientado e intemporal, deverão ser conceptualizados em torno de séries encadeadas de pequenos problemas cuja formulação assentará em discussões/reflexões prévias sobre temas enraizados nas preocupações da(s) comunidade(s) que desenvolvem as suas actividades na região envolvente da Escola. Percursos investigativos tentativamente mais complexos e abrangentes deverão privilegiar abordagens pluridisciplinares, buscando a construção gradual da interdisciplinaridade. O recurso aos sistemas terrestres representados na região envolvente da Escola deverá ser, tanto quanto possível, valorizado. Tendo tudo isto em atenção, será possível introduzir e discutir a maioria dos conceitos-chave em Geologia sem dificuldade de maior, permitindo ainda mostrar a sua relevância na caracterização global de uma região conhecida por todos os intervenientes. E se após a devida compreensão dos sistemas

objecto de estudo (a qual pode e deve ser efectuada a diferentes níveis de profundidade, adequando as abordagens/metodologias à formação previamente adquirida pelos alunos), se introduzirem questões de âmbito sócio-económico-político, de carácter histórico, em particular), criam-se, de forma elegante, as necessárias condições para, finalmente, construir percursos de cariz CTS (verdadeiramente alicerçados em C!). De forma esquemática e geral, a abordagem que defendemos passa por:

- 1) Introduzir globalmente o sistema a estudar — Quais os seus constituintes elementares? Quais os factores que, regra geral, influenciam os processos condicionantes do seu desenvolvimento? Como se manifestam estes últimos? De que forma se processa a interacção entre o sistema em estudo com outros sistemas? Quais os fluxos que se estabelecem entre o sistema em análise e o ambiente?
- 2) Seleccionar um exemplo (objecto de estudo directo) representativo da fenomenologia a estudar, explicitando devidamente a razão de ser da escolha efectuada.
- 3) Contextualizar geologicamente o exemplo seleccionado — nesta fase adquire especial relevo a interpretação de cartas geológicas (eventualmente complementada por outras cartas temáticas — geofísicas, geoquímicas, pedológicas, etc.), porquanto estas sintetizam de forma ímpar todo o conjunto de informações imprescindíveis ao reconhecimento do registo geológico de uma determinada região.
- 4) Promover actividades investigativas de campo, levando os intervenientes ao registo individual das observações e medições por eles realizadas *in situ* (mostrando, por exemplo, a pertinência dos conhecimentos básicos adquiridos na interpretação do que estão a observar e a importância dos dados que podem ser obtidos com o auxílio de equipamento auxiliar, como a lupa ou a bússola).
- 5) Introduzir e utilizar os meios que vulgarmente se afiguram adequados à referência geográfica das observações de terreno (cartas topográficas e fotografias aéreas, em particular).
- 6) Fomentar o aparecimento de questões/problemas específicos cuja resposta possa ser obtida através da concretização de tarefas práticas adicionais, como por exemplo: a) a recolha e subsequente caracterização de exemplares devidamente referenciados com vista à identificação dos constituintes básicos do objecto em análise; b) a projecção em carta

apropriada (introdução do conceito de escala) de elementos colhidos durante o trabalho de campo; c) a concepção e elaboração de modelos analógicos; ou ainda, d) a realização de actividades experimentais complementares (nos espaços laboratoriais escolares) que se afigurem relevantes para a resolução dos problemas levantados.

- 7) Discutir os resultados obtidos, integrando-os, por forma a caracterizar as principais componentes do sistema e compreender os processos que condicionam a sua evolução global.
- 8) Avaliar o significado/pertinência da análise efectuada à luz das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

O desenvolvimento deste tipo de percursos apresenta ainda a vantagem de inculcar na formação ministrada uma dialéctica distinta das ciências ditas clássicas e, em certa medida, uma metodologia particular que, fundamentada em testes de hipóteses múltiplas, surge com naturalidade e como resultado da combinação de regras de investigação lógicas perfeitamente adequadas ao exame dos sistemas constituintes do Planeta Terra.

Pequena reflexão final ... em jeito de conclusão

O valor formativo e cultural da Geologia nem sempre tem sido reconhecido pelos principais gestores/decisores educativos, motivando a exclusão desta disciplina da educação considerada essencial (e, por isso, obrigatória) a nível do Ensino Secundário, ou traduzindo-se pela aprovação oficial de programas curriculares extensos e marcados por uma vincada valorização da componente teórica (muitas vezes demasiadamente específica e nem sempre devidamente articulada). O cumprimento estrito das imposições curriculares, não raras vezes associado a numerosas dificuldades logísticas, limita severamente a exploração do Mundo envolvente da Escola como recurso educativo, condicionando também a planificação efectiva de espaços apropriados à discussão e ao desenvolvimento de actividades práticas e experimentais (seja no campo ou no laboratório) cruciais à verdadeira apreensão da dinâmica do planeta em que habitamos. As consequências que daqui emergem são imensas, pois, para além do tão apregoado divórcio entre a Escola e o mundo real, tais "opções" (circunstanciais!?) constroem irremediavelmente a verdadeira compreensão dos processos geológicos de que dependemos e, enquanto membros de uma comunidade de mais de 6000 milhões de entidades, ajudamos a transformar. Acresce ainda que deste modo se

perdem sucessivas oportunidades de contribuir para a tão desejada mudança de atitudes para com o Mundo Natural que, na sua essência, depende muito mais de uma sólida e coerente cultura científica de base do que de um conjunto, geralmente desconexo, de informações que rapidamente se esquecem ou se não conseguem integrar de forma racional (perdendo por isso toda e qualquer utilidade). A insensibilidade com que até há bem pouco tempo se tratavam as questões ambientais ou com que ainda hoje se abordam as questões relacionadas com a preservação do património geológico, são disso um exemplo paradigmático. Urge, portanto, inverter a actual situação!...

A promoção de uma educação de qualidade em Geologia deverá envolver o desenvolvimento de atitudes de problematização sobre os vários processos que se desenrolam nos diversos sistemas terrestres, visando: 1) a aquisição de capacidades de observação/registo de factos; 2) a compreensão do registo geológico; 3) a medição *in situ* de parâmetros críticos; e 4) a realização de actividades experimentais relevantes para a resolução dos problemas levantados. A implementação de percursos investigativos em torno de problemas mais complexos deverá ser ensaiada como corolário de uma formação disciplinar previamente adquirida de forma gradual, privilegiando as abordagens pluridisciplinares e tentando construir/consolidar a interdisciplinaridade. Tais problemas deverão constituir o resultado de reflexões em torno de questões de largo espectro com repercussões claras no entendimento: 1) do avanço científico-tecnológico da Humanidade e do impacto sócio-económico-político associado a esse conhecimento; 2) da Terra como fonte de recursos; 3) da necessidade de um ordenamento territorial e desenvolvimento sustentável da Sociedade. Importa, deste modo, criar condições (curriculares e logísticas, em particular) adequadas à implementação de percursos investigativos em todos os ciclos de ensino que, organizados segundo séries encadeadas de pequenos problemas, potencializem a aprendizagem/formação de acordo com os princípios subjacentes à construção do conhecimento geológico como um todo. Significa isto, em traços gerais, procurar para cada caso (problema) a combinação metodológica apropriada à construção de conhecimento geológico intemporal, conciliando-o com o conhecimento historicamente orientado, por forma a solucionar coerentemente as questões levantadas no âmbito da dinâmica dos processos geológicos e da geohistória. Incurções metodológicas deste tipo têm ainda a vantagem de permitir o desenvolvimento de capacidades de abstracção e de raciocínio lógico e crítico que, fundamentais à interpretação dos complexos sistemas naturais, permitem estruturar o pensamento,

António Mateus

transformando a informação coligida (preferencialmente em grupo de trabalho) em conhecimento permanente.

Referências

- Bak, P. (1996). *How Nature Works: the Science of Self-organized criticality*. Copernicus, Springer-Verlag, New York, 212 pg.
- Beatty, J. K., Peterson, C. C., Chaikin, A. eds. (1999). *The New Solar System*. Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press (4th edition), 422 pg.
- Berner, E. K., Berner R. A. (1996). *Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles*. Prentice Hall Inc., New Jersey, 376 pg.
- Canavarro J. M. (1999). *Ciência e Sociedade*. Quarteto Editora, Coleção Nova Era, Coimbra, 228 pg.
- Chamberlin T. C. (1890). The method of multiple hypotheses. *Science*, 15, 92-96 (Reprinted 1965, *Science*, 148, 754-759).
- Evans A. M. (1997). *An Introduction to Economic Geology and its Environmental Impact*. Blackwell Science, Oxford, 364 pg.
- Frodeman R. (1998). The epistemology of the earth sciences. *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.
- Hamblin, K. W., Christiansen, E. H. (1995). *Earth's Dynamic Systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 710 pp.
- Hill M. K. (1997). *Understanding Environmental Pollution*. Cambridge University Press, 316 pg.
- Jones, B. W. (1999) *Discovering the Solar System*. John Wiley & Sons, New York, 416 pg.
- Mayer V.J. (1998). Earth System Science: the focus for developing global science literacy programs. *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.
- Orion N. (1998a). Earth science education: from theory to practice – how to implement new teaching strategies in different learning environments. *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.
- Orion N. (1998b). Implementation of new teaching strategies in different learning environments within the Science Education. Conferência Internacional *Projectar o Futuro: Políticas, Currículos, Práticas*. Departamento do Ensino Secundário, Ministério da Educação: 125-139.
- Schumm S. A. (1991). *To Interpret the Earth: ten ways to be wrong*. Cambridge University Press, 133 pg.
- Seddon, G. (1996). Thinking like a geologist: the culture of Geology. I, 43(5), 487-495.

Atividades Práticas e Experimentais no Ensino da Geologia

- Strain, P. & Engle, F. (1992). *A Terra Vista do Espaço*. The National Air & Space Museum Smithsonian Institution. Turner Publishing, Inc., Atlanta. Versão portuguesa publicada por PÚBLICO-Comunicação Social SA, 304 pg.
- Tedesco J. C. (1999). *O Novo Pacto Educativo: Educação, Competitividade e Cidadania na Sociedade Moderna*. Edição da Fundação Manuel Leão, Coleção FML, 172 pg.
- Tewksbury B. J. (1999). Beyond hazards and disasters – teaching students Geoscience by probing the underlying influence of Geology on Human Events. *Science and Education*, 8: 645-663.
- Turcotte, D.L. (1997). *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. 2nd ed., Cambridge University Press, 398 pg.
- Ward, P.D., Brownlee D. (2000). *Rare Earth – Why Complex Life is Uncommon in the Universe*. Copernicus, Springer-Verlag, New York.