

# AS RESPOSTAS DA QUÍMICA AO PROBLEMA DA ORIGEM DA VIDA



J.J. Moura Ramos  
I.S.T.  
LISBOA

É actualmente indubitável que a origem da vida não foi o resultado de uma «feliz coincidência»... mas uma etapa necessária na evolução da matéria. Trata-se de um aspecto inalienável do processo geral de desenvolvimento do Universo.

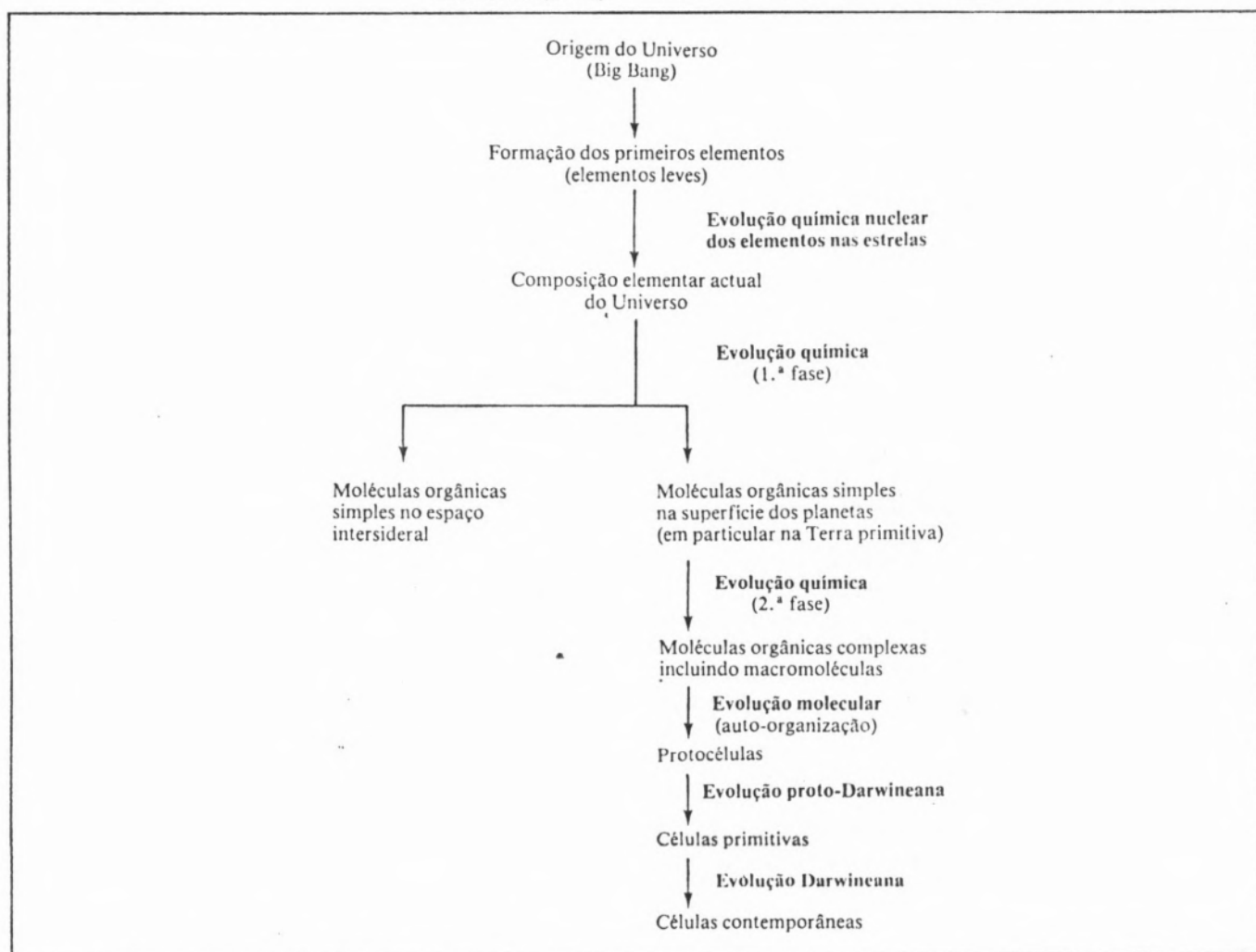
A.I. Oparin (1970)

Nem o Universo estava prenhe da vida, nem a biosfera estava prenhe do homem. A sorte saiu-nos no jogo em Monte Carlo. Não espanta pois que, tal como alguém que acaba de ganhar milhões, sintamos a estranheza da nossa condição.

J. Monod (1970)

Nada é mais fascinante do que um mistério e não há mistério mais profundo que o mistério das origens. Mitologias e Folclore revelam a ancestral preocupação do homem pelo problema das origens: de si próprio, das espécies, da vida, da Terra, do Universo. As amplas especulações que se desenvolveram ao longo da História sobre este problema, dando lugar a lutas e controvérsias apaixonadas no campo da filosofia e da religião, são a manifestação clara do fascínio cultural exercido sobre a humanidade pela problemática «original».

Ao longo da segunda metade do século XIX e do século XX, com o desenvolvimento de ciências como a biologia, a astronomia, a física e a química, a discussão em torno destes problemas passou a assentar em bases

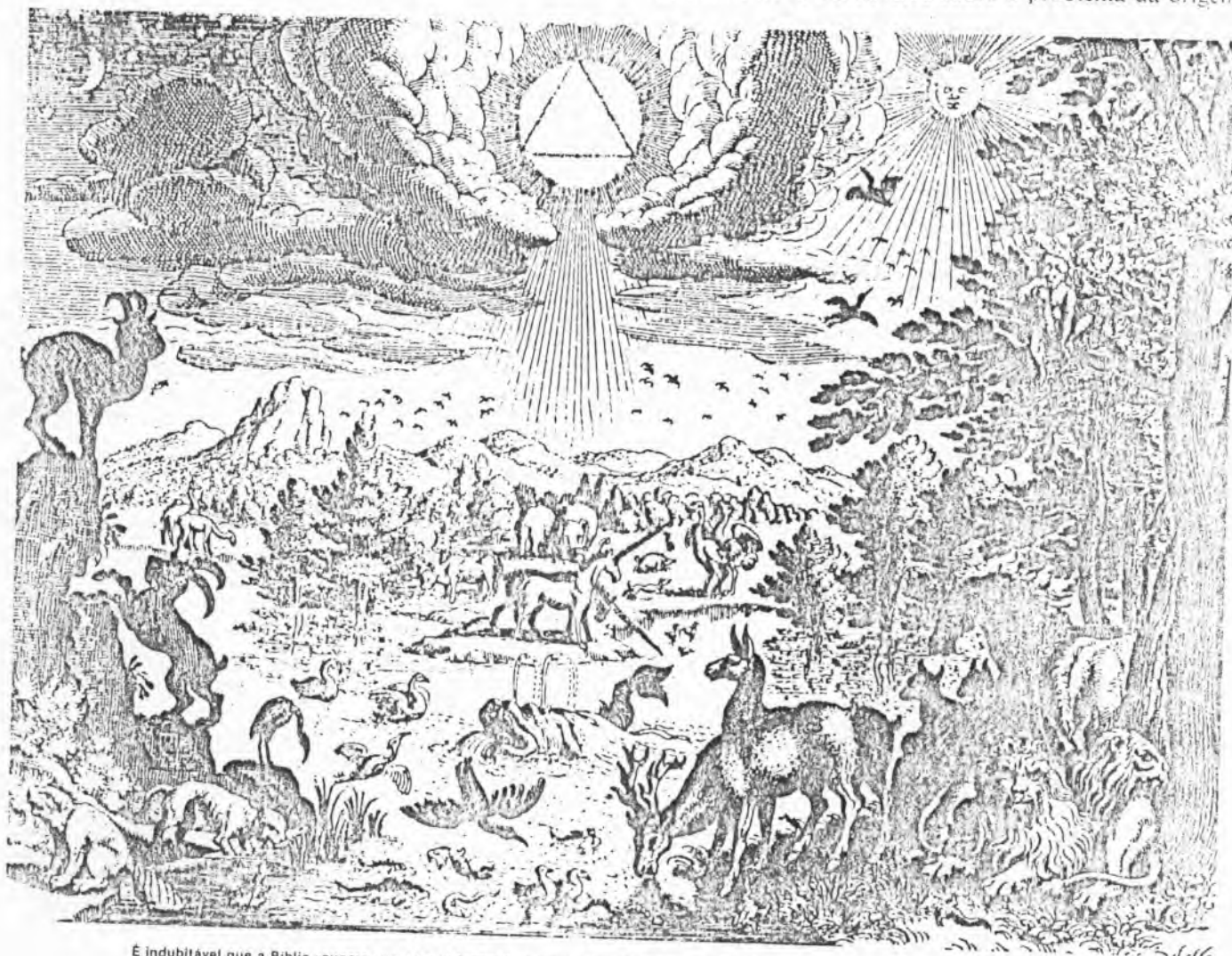


da vida. Surge aqui uma questão que me parece interessante enunciar. Oparin, Haldane e Bernal, para além de cientistas dos mais prestigiados na sua época, eram militantes marxistas activos nos mais diversos campos da realidade social em que estavam inseridos. Qual a relação entre a posição político-ideológica destes homens, o período histórico em que viveram e a sua capacidade para alterar tão radicalmente o referencial da discussão sobre a origem da vida?

O estudo da origem da vida impõe, pela sua natureza intrínseca, uma abordagem interdisciplinar. Na última década assistimos a uma proliferação de revistas especializadas, congressos, publicações diversas que contam com a colaboração de cientistas de ramos tão diversos quanto a geologia e a geoquímica, a biologia e a bioquímica, a astronomia e a astrofísica, a química orgânica e a química-física... No estudo interdisciplinar da origem da vida a química ocupa uma posição primordial que só por si justifica a divulgação, no boletim da SPQ, dos aspectos essenciais da actual discussão científica sobre o assunto. Esta posição central da química no estudo da origem da vida ressalta claramente do diagrama que a seguir se apresenta, em que se resumem as diferentes etapas da evolução, desde a origem do Universo até à selecção darwineana das espécies.

científicas mais sólidas e a perder o seu carácter até então predominantemente especulativo. No que respeita à origem da vida, a grande rotura que possibilitou uma abordagem científica do problema, o corte epistemológico no dizer de alguns filósofos das ciências, foi a formulação, pelo bioquímico soviético A.I. Oparin (1924) e pelo geneticista britânico J.B.S. Haldane (1928), da hipótese segundo a qual a vida surgiu na Terra em condições quimicamente redutoras, a partir de uma sequência evolutiva de acontecimentos nos quais teve lugar a síntese e a organização de substâncias orgânicas de complexidade crescente que, na escala de tempo geológico, deram origem a sistemas vivos. Para Oparin e Haldane não existe diferença fundamental entre um organismo vivo e a matéria inanimada: as combinações complexas, as manifestações e as propriedades características da vida são o resultado do processo de evolução da matéria. Estas ideias foram posteriormente desenvolvidas por J.D. Bernal, cristalógrafo, professor da Universidade de Londres, numa célebre comunicação apresentada à **British Physical Society** em 1947 e intitulada «As bases físicas da vida».

As ideias de Oparin, Haldane e Bernal constituem a base em que assenta toda a investigação científica que actualmente se desenvolve sobre o problema da origem



É indubitável que a Bíblia «sugere» uma certa forma de interpretar a realidade, uma certa concepção da origem da vida. Há ainda hoje cristãos que interpretam o texto da «Genese» à letra, isto é que afirmam que Deus criou a vida e que cada espécie foi criada separadamente por Deus. Um aspecto interessante é a concepção da mulher que deriva dos textos bíblicos. A mulher é atribuído um estatuto diferente do homem (Deus criou primeiro Adão e arrancou-lhe uma costela para criar Eva). A mulher surge pois como uma criatura de segunda espécie e, a atestar pela primeira epístola de São Paulo aos Coríntios, como um ser de dignidade inferior.

## A COSMOQUÍMICA E A ORIGEM DA VIDA

No contexto da problemática atrás referida, realizou-se recentemente (Junho de 1981), sob os auspícios da NATO, um curso subordinado ao tema: «Cosmoquímica e a Origem da Vida» (\*). Neste curso, que se pretende seja o primeiro de uma série destinada a cobrir os múltiplos aspectos relevantes para o estudo interdisciplinar da origem da vida, o problema foi abordado numa perspectiva «analítica» (\*\*) isto é numa perspectiva de recolha de todas as informações relevantes a partir da análise de diferentes tipos de material: análise das mais antigas rochas sedimentares existentes na crosta terrestre, análise do solo e da atmosfera dos diferentes planetas do sistema solar, análise da constituição de cometas e meteoritos, observação das moléculas existentes no espaço intersidial, etc... A recolha destas informações, a par dos modelos teóricos existentes que permitem descrever a origem e evolução do Universo, a formação e evolução das galáxias e das estrelas, a formação do sistema solar, permite reconstituir um cenário que constitui o «background» a partir do qual se tornou possível a evolução química e o aparecimento da vida na Terra.

No curso sobre «Cosmoquímica e a Origem da Vida» discutiram-se essencialmente as contribuições da astrofísica e da geoquímica para a reconstituição desse cenário; as linhas que se seguem constituem uma tentativa de sintetizar o quadro actual da discussão sobre este problema.

### 1 — OS ELEMENTOS DA VIDA

(V. VIOLA, Indiana University, USA)

Descreveu-se o processo que conduziu à formação dos elementos necessários à vida. Desde a sua origem há 10 Ga (\*\*\*) (de acordo com a teoria do Big Bang), o Universo sofre um processo de expansão e consequente arrefecimento. Nas condições iniciais, caracterizadas por temperaturas elevadíssimas ( $10^{11}$  K), só existem partículas elementares: eram condições demasiado drásticas para tornar possível a existência de moléculas, átomos ou núcleos. Alguns minutos depois do «big-bang» (4 minutos) a temperatura já tinha descido a cerca de  $10^9$  K o que possibilitou o início dos processos de nucleossíntese de elementos leves (hidrogénio, deutério, lítio). Mais tarde (700 000 anos), a temperatura era já de 3000 K e nesse período dá-se a formação de átomos.

No Universo em expansão, as flutuações de densidade dão lugar a regiões de contracção que estão na origem da formação das galáxias e das estrelas. Nestas regiões o campo de gravitação aumenta localmente, e a densidade aumenta assim como a temperatura. As estrelas são sede de reacções que conduzem também à nucleossíntese (e em particular à formação de núcleos pesados). Outra fonte menos importante de síntese de elementos no Universo provém da interacção entre raios cósmicos no espaço intersidial, que conduz à formação de núcleos leves tais como o lítio, o berílio e o boro.

A formação dos elementos abre caminho a uma nova fase da evolução do Universo, normalmente designada por Evolução Química e que corresponde, na sua primeira fase, à formação das moléculas orgânicas mais simples, tanto no espaço intersidial como à superfície dos planetas.

## 2 — MOLÉCULAS ORGÂNICAS NO ESPAÇO

(J.M. GREENBERG, University of Leiden, Holanda).

A síntese molecular no espaço intersidial é descrita com base no chamado modelo dos grãos (grain model). O espaço intersidial é preenchido por uma poeira formada por grãos de pequenas dimensões, constituídos por um núcleo contendo silicatos e/ou óxido de magnésio (0,1 milimicron de diâmetro médio) e por uma crosta formada por elementos adsorvidos (sobretudo H, N, C, O). A dimensão média destes grãos é de cerca de 0,25 milimicron. A colisão de fotões UV ( $10^8$  cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> no espaço intersidial) com os grãos dá lugar a fotoprocessos que conduzem à formação de radicais e posteriormente de moléculas orgânicas (\*\*\*\*).

Este processo de evolução química da crosta dos grãos no espaço intersidial foi objecto de experiências de simulação realizadas em laboratório. A comparação dos resultados obtidos nestas experiências de simulação com os dados existentes relativos à constituição molecular do espaço intersidial constitui um razoável argumento em favor do «modelo dos grãos».

As moléculas orgânicas no espaço intersidial são detectadas essencialmente por radioastronomia e pelos métodos espectroscópicos clássicos. Os constituintes moleculares maioritários são, por ordem decrescente da sua abundância, o hidrogénio (H<sub>2</sub>), o monóxido de carbono (CO), a água (H<sub>2</sub>O) e a amónia (NH<sub>3</sub>). Moléculas mais complexas e com importante papel no processo ulterior da Evolução Química, tais como HCN, NH<sub>2</sub>CHO, OCS, HCCCN, HCOOH, CH<sub>3</sub>CHO, H<sub>2</sub>CO, foram também detectadas em quantidades significativas. Um problema que então se levanta é o de saber em que medida a matéria orgânica nas nuvens de poeira interestelar pode ter contribuído para o arranque e desenvolvimento do processo de Evolução Química na Terra. É geralmente aceite que, desde a sua formação há 4,6 Ga, o sistema solar já atravessou nuvens de poeira interestelar; para além da possibilidade de realização da síntese orgânica à superfície da Terra, este facto pode ter conduzido à acreção de matéria orgânica sobre a superfície do nosso planeta.

### 3 — OS COMETAS E A ORIGEM DA VIDA

(W.M. IRVINE, Chalmers University of Technology, Onsala Space Observatory, Sweden).

O interesse do estudo dos cometas neste contexto reside no facto de eles constituírem as mais primitivas amostras da nebula solar (a nuvem que, por condensação, deu origem ao sistema solar). Com efeito, é hoje

(\*) Este curso foi organizado por Cyril PONAMPERUMA, director do «Laboratory of Chemical Evolution» da Universidade de Maryland.

(\*\*) A perspectiva «sintética» para o estudo da Evolução Química consiste em reproduzir no laboratório as condições primitivas em que a vida se desenvolveu com o objectivo de obter informações acerca dos mecanismos possíveis para essa evolução.

(\*\*\*) 1 Ga = 1 giga-ano =  $10^9$  ano. Em alguns textos esta unidade de tempo é também designada por aeon (AE).

(\*\*\*\*) Não são apenas os fotões UV que são susceptíveis de provocar a síntese orgânica na poeira interestelar. O bombardeamento dos grãos por protões, electrões e raios cósmicos é também susceptível de provocar efeitos idênticos, se bem que seja a radiação UV aquela que mais importância assume neste processo.



geralmente aceite que os cometas são constituídos essencialmente por um conglomerado pouco denso de gases solidificados (predominantemente água) contendo material idêntico àquele que se encontra nos meteoritos carbonáceos condriticos. A análise de composição dos cometas revela a existência de matéria orgânica (moléculas e radicais tais como CH, CN, CO, CS, HCN, CH<sub>3</sub>CN), inorgânica (moléculas e radicais como H, NH, NH<sub>2</sub>OH, H<sub>2</sub>O Si, silicatos), metais (Na, Ca, Cr, Co, Mn, Fe, Ni, Cu, V) e iões (CO<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub><sup>+</sup>, CH<sup>+</sup>, CN<sup>+</sup>, N<sub>2</sub><sup>+</sup>, OH<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>). Ao deslocarem-se na sua órbita em torno do Sol, os cometas perdem matéria, havendo evidência para a existência na atmosfera superior da Terra de partículas provenientes dos cometas.

Poderão os cometas ter um papel relevante na origem da vida? O principal problema na síntese de moléculas de interesse biológico na Terra é a polimerização de aminoácidos e de monómeros de ácidos nucleicos. Considera-se normalmente que estas reacções poderão ter ocorrido por desidratação devido ao aquecimento vulcânico e/ou evaporação e catálise em determinados contextos (lagunas, contacto proto-continentes oceano...). Condições favoráveis para a realização destas reacções podem naturalmente ocorrer nos cometas em que o regime de temperaturas varia entre alguns graus acima do ponto de ebulição da água e alguns graus negativos, com superfícies sólidas de metal e argila apropriadas para a catálise, e com possível circulação de soluções aquosas contendo material orgânico dissolvido em concentração superior às que existem nos oceanos terrestres. Os cometas poderão pois ter desempenhado um papel importante, transferindo para a Terra primitiva polímeros biológicos capazes de auto-replicação ou pelo menos capazes de evoluir no sentido dessa capacidade.

Outra fonte de transferência de matéria orgânica para a Terra são os meteoritos que caem à superfície numa quantidade estimada em 10<sup>4</sup> toneladas por ano. A análise química desses meteoritos revela a presença de moléculas orgânicas já muito complexas tais como aminoácidos e bases de ácidos nucleicos de tipo porfirínico.

#### 4 — AMBIENTES PLANETÁRIOS E A ORIGEM DA VIDA (D. De VICENZI, Life Science Division, NASA, USA)

Esta sessão do curso sobre «Cosmoquímica e a Origem da Vida» consistiu numa síntese das informações recolhidas pelas missões espaciais da Nasa acerca das condições existentes na superfície e na atmosfera dos planetas do Sistema Solar. Na tabela seguinte dão-se alguns valores de parâmetros característicos de alguns destes planetas:

	Diâmetro relativo à Terra	Massa relativa à Terra	Densidade	Distância ao Sol (relativa à Terra)
Mercúrio	0,4	0,06	5,4	0,4
Vénus	1	0,8	5,2	0,7
Terra	1,0	1,0	5,5	1,0
Marte	0,5	0,1	4,0	1,5
Júpiter	11	318	1,3	5,0
Saturno	9	95	1,7	9,5

A temperatura à superfície de Mercúrio é de 300°C e o bombardeamento pela radiação UV proveniente do Sol é muito intenso. A densidade semelhante à da Terra

sugere que, devido à elevada temperatura, este planeta foi privado dos elementos mais leves.

No que diz respeito a Vénus, a temperatura à superfície é de 475°C. Esta temperatura tão elevada (comparada com Mercúrio) explica-se pela composição da atmosfera deste planeta: CO<sub>2</sub>(96%), N<sub>2</sub>(3,5%) e outros constituintes como H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO e SO<sub>2</sub> em concentrações atómicas da ordem do p.p.m. (parte por milhão), e pela sua pressão (cerca de 90 atm). Estas condições dão lugar ao chamado efeito de estufa (greenhouse) que dá origem a uma amplificação do efeito térmico proveniente do Sol devido à reflexão pela atmosfera do calor irradiado pela superfície do planeta. Existe, para além disso, uma característica interessante do planeta Vénus que consiste no facto de existirem na sua atmosfera regiões em que as condições são semelhantes às da superfície da Terra (p = 1 atm; T = 27°C).

No que diz respeito a Marte, a pressão à superfície é de 8 milibar e a temperatura varia de -143°C a 17°C. A atmosfera deste planeta é constituída por CO<sub>2</sub>(95%), N<sub>2</sub>(2,7%), Ar(1,6%), O<sub>2</sub>(0,1%), CO(0,07%), H<sub>2</sub>O(0,03%) e O<sub>3</sub>(0,03 p.p.m.). A análise do solo de Marte em diferentes locais (missão Viking, 1976) revela uma composição relativamente uniforme:

S <sub>i</sub> — 20,9%	Al — 3,0%
Fe — 12,7%	Cl — 0,7%
Mg — 5,0%	Ti — 0,5%
Ca — 4,0%	Outros,
S — 3,1%	essencialmente — 50,1%
	oxigénio

O solo de Marte é essencialmente constituído por argilas ricas em ferro e não foi detectada (à escala do p.p.m. — p.p.b.) matéria orgânica. O oxigénio da atmosfera de Marte provém da fotodissociação da água e do anidrido carbónico e também de uma química particular, característica da superfície de Marte. Com efeito, as experiências realizadas com as amostras provenientes do solo de Marte revelam a presença de substâncias muito ricas em oxigénio (peróxidos). A existência destas rochas muito oxidantes e de uma radiação UV intensa explica a inexistência de moléculas orgânicas de interesse biológico sobre a superfície de Marte.

Em Júpiter a temperatura é de -173°C a 0,1 atm e de -113°C a 1 atm. Na atmosfera deste planeta existem moléculas como H<sub>2</sub>, He, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, NH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O e outras. A composição desta atmosfera é considerada como uma imagem da nuvem a partir da qual se condensou o sistema solar.

As informações existentes sugerem que é muito fraca a possibilidade de existência de formas de vida nos planetas do sistema solar. Em Marte há evidência para a existência, em épocas precedentes, de cursos de água. Alguns autores sugerem, a partir da observação de mudanças de cor das rochas deste planeta, a existência de alguma actividade biológica. Esta hipótese não está no entanto confirmada.

#### 5 — A COMPOSIÇÃO QUÍMICA E A CLIMATOLOGIA NA ATMOSFERA DA TERRA PRIMITIVA (A. HENDERSON-SELLERS, Nasa Institute for Space Studies, USA)

Contrariamente às ideias originais de Oparin e Haldane que consideravam que a vida na Terra teria resultado de um processo químico prebiótico envolvendo

os constituintes de uma atmosfera fortemente redutora constituída essencialmente pelos gases  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}$  libertados no processo de solidificação da crosta terrestre, os modelos recentes sugerem uma atmosfera neutra constituída por  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ . A atmosfera terrestre constituiu-se quando da formação do planeta (4,6 Ga) como resultado da emissão de gases do seu interior. Durante os estádios mais primitivos da sua formação, e sob a acção das forças gravíticas, dá-se uma contracção da crosta. Este processo deu lugar a uma enorme libertação de calor. A actividade vulcânica era nesse período muito intensa e os gases libertados eram essencialmente redutores ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ). No entanto, sob o efeito da intensa radiação solar, estas moléculas foram rapidamente destruídas perdendo a atmosfera as suas propriedades redutoras. Os modelos mais recentes sugerem que, 500 milhões de anos após a formação da Terra (data em que terá sido viável o aparecimento das primeiras formas primitivas de vida), a atmosfera já havia perdido as suas características redutoras e era essencialmente constituída por  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .

Esta alteração recente das concepções acerca da constituição da atmosfera primitiva não modifica no entanto as ideias relativas à possibilidade de síntese prebiótica de moléculas de interesse biológico a partir dos constituintes atmosféricos e utilizando as fontes de energia então disponíveis (radiação UV, descargas eléctricas, etc...). Com efeito, experiências recentes de simulação realizadas em laboratório mostram a possibilidade de obter moléculas de interesse biológico a partir de misturas gasosas contendo  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  submetidas a descargas eléctricas. A presença de  $\text{NH}_3$  facilitava no entanto a realização de tais reacções pelo que alguns investigadores admitem a hipótese de existência de reacções químicas à superfície da Terra que constituíram fontes de amónia (por exemplo a irradiação UV de azoto adsorvido numa superfície de óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) conduz à formação de  $\text{NH}_3$ ).

Do ponto de vista climatológico a atmosfera terrestre caracteriza-se por uma grande estabilidade que resulta da formação muito antiga do oceano com a consequente criação do ciclo hidrosférico<sup>(1)</sup>.

A temperatura à superfície da Terra sofreu, de acordo com os mais recentes modelos, alterações ao longo da sua história. Numa fase inicial (até cerca de 3,5-3,8 Ga) terá havido um aumento de temperatura devido ao efeito da intensa radiação solar (efeito de estufa) e da radioactividade acumulada no interior da Terra durante o período inicial da sua formação. A este período segue-se um outro em que a temperatura decresce devido ao anulamento do efeito de estufa (associado com a modificação da composição atmosférica) e à condensação da água nos oceanos. Actualmente a temperatura da superfície da Terra apresenta-se estável, com uma pequena variação ao longo do tempo que está relacionada com a variação da luminosidade solar.

#### 6 — A DATAÇÃO DOS MAIS ANTIGOS SEDIMENTOS DA TERRA (S. MOORBATH, University of Oxford)

A datação das rochas faz-se a partir da sua análise isotópica e baseia-se na construção dos chamados diagramas isócronos (ver bibliografia). As mais antigas rochas sedimentares actualmente conhecidas à superfi-

cie da Terra situam-se na Gronelândia (maciço de Isua) e formaram-se há 3,8 Ga. Trata-se de uma formação constituída por camadas alternadas de magnetite e de carbonatos, formação esta que se designa genericamente por «banded iron formation» (B.I.F.). O processo de sedimentação ocorreu no fundo dos oceanos. Nesse tempo (3,8 Ga), não havia praticamente continentes; a superfície da Terra era um imenso oceano, de quando em quando ornamentado por pequenas ilhas vulcânicas que constituíam como que pré-continentes. Por outro lado a atmosfera não continha  $\text{O}_2$  e, nessas condições, o ferro existia sob a forma reduzida ( $\text{Fe}^{2+}$ ), solúvel. A precipitação da magnetite implica a existência de uma fonte de oxigénio para oxidar o ferro a  $\text{Fe}^{3+}$  que, sendo insolúvel, precipita. Alguns autores atribuem a estas rochas um carácter biogénico por considerarem que a fonte de oxigénio seria biológica (organismos primitivos).

As rochas de ISUA foram fortemente metamorfosadas por aquecimento e deformação intensos em períodos posteriores à sua formação, pelo que a análise directa da vida nestas rochas se torna muito difícil. Aliás, a análise das formas mais elementares de vida na Terra primitiva é uma tarefa geralmente difícil: se a evidência para a existência de vida é clara, as rochas sedimentares não são na generalidade muito antigas; se as rochas são muito antigas, a evidência para a existência de vida é geralmente pouco convincente. Recentemente descobriram-se em Pilbara (Austrália ocidental) e no Zimbawe, estromatolites (formações sedimentares formadas por algas e possivelmente outros organismos) com 3,4 e 3,5 Ga. Trata-se dos mais antigos microfósseis até hoje descobertos. Recorde-se por outro lado que é possível que os sedimentos de Isua (3,8 Ga) tenham um carácter biogénico. Estes factos, conjuntamente com os resultados de outros estudos recentes, sugerem que a vida apareceu muito cedo na história da Terra. É difícil aceitar que a superfície do nosso planeta fosse hospitaleira para as formas mais elementares de vida antes de 4,2 ou 4,3 Ga (bombardeamento intenso da Terra por objectos ainda resultantes da condensação da nébula solar, bombardeamentos esses que causavam fortes turbulências provavelmente hostis à sobrevivência das formas primitivas de vida). Portanto, se a vida se desenvolveu na Terra, o processo que a ela conduziu deverá ter ocorrido muito rapidamente. Algumas centenas de milhões de anos, não são nada na escala geológica de tempo.

#### 7 — ASPECTOS DA QUÍMICA BIO-INORGÂNICA RELACIONADOS COM A ORIGEM E EVOLUÇÃO DA VIDA (E. OCHIAI, Laboratory of Chemical Evolution, University of Maryland, USA)

O papel das espécies inorgânicas no processo que conduziu à formação da vida pode ser descrito considerando quatro etapas distintas:

ETAPA 1: Síntese abiótica dos compostos essenciais (amino-ácidos, carboidratos, lípidos, porfi-

(1) Para o estabelecimento desta estabilidade climática muito terá contribuído a Lua que, pela sua massa, conduziu a uma fixação da posição do eixo terrestre com o consequente estabelecimento de sucessão regular das estações e das marés.



rinas, etc...). As experiências de simulação sugerem que estes compostos essenciais podem ter sido formados por via abiogénica. Nas reacções subsequentes (em meio aquoso) as espécies inorgânicas (íões metálicos, etc...) podem coordenar os intermediários ou os produtos dos processos de evolução química ou catalisá-los. Inúmeros exemplos se podem dar do papel de espécies inorgânicas nestes processos.

**ETAPA 2:** Formação abiótica de compostos poliméricos tais como péptidos (proteínas), ácidos nucleicos e polissacarídeos. Estas reacções de condensação, geralmente endotérmicas, foram objecto de experiências de simulação utilizando agentes desidratantes (polifosfato ou diaminomaleonitrilo) ou aquecendo até à secagem uma solução de aminoácidos. O papel dos compostos inorgânicos parece ser importante na imposição de um carácter selectivo para a reacção de polimerização. Por exemplo, na molécula de ferredoxina, a geometria cúbica do  $Fe_4S_4$  parece ser determinante na criação das restrições estereoquímicas características da sua estrutura molecular.

**ETAPA 3:** Formação do sistema: protobionte. Formação de membranas, coacervatos, etc...

**ETAPA 4:** Formação de sistema em interacção adequada: vida... código genético, sistematização das reacções químicas, selectividade das enzimas, etc... O DNA e o RNA *in situ* contêm íões metálicos tais como o  $Mg(II)$ ,  $Ni(II)$ ,  $Cr(III)$  que estão situados em posições estratégicas de forma a manter a conformação específica dos ácidos nucleicos. O  $Ca(II)$  desempenha papel importante na estruturação da membrana celular (papel na formação de coacervatos e protocélulas?).

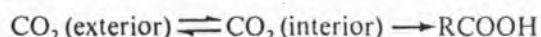
Os aspectos bioinorgânicos da Evolução Biológica primitiva estão relacionados com os potenciais de redução dos elementos e consequentemente com a concentração de oxigénio na atmosfera. As etapas mais importantes são: 1) Num primeiro período (4,5-3,5 Ga) os elementos existem em estados reduzidos (quantidade de  $O_2$  muito reduzida). 2) Num segundo período (3,5-2,1 Ga) desenvolvem-se as formas mais primitivas de vida. Deixa de existir amónia na atmosfera e há um ligeiro aumento da quantidade de oxigénio. O molibdénio passa a ser abundante nos oceanos sob a forma de  $MoO_4^{2-}$  (solúvel). O carbono transforma-se cada vez mais em  $CO_2$ . 3) Num terceiro período (2,1-1,4 Ga) surgem as algas azuis-verdes. O enxofre existe essencialmente na forma sulfato. Forte aumento de  $O_2$  na atmosfera. O cobre passa a existir na forma  $Cu(II)$ . 4) Num quarto período (1,4-0,5 Ga) surgem as células eucariotas e reforça-se o metabolismo aeróbico. Passa a existir azoto sob a forma de nitrato cujo potencial de redução é idêntico ao do oxigénio.

#### 8 — FRACCIONAMENTO ISOTÓPICO NOS SEDIMENTOS MAIS ANTIGOS DA TERRA (M. SCHIDLOWSKI, Precambrian Research Group, Los Angeles, USA)

O estudo da composição isotópica do carbono (e também do enxofre) nas rochas sedimentares mais antigas pode fornecer indicações sobre o carácter biogénico destas rochas. O carbono, elemento essencial para a vida, aparece sob duas formas: 1) carbono oxidado

( $CO_2$  na atmosfera, carbonatos e bicarbonatos nos oceanos); 2) carbono orgânico reduzido (carboidratos, proteínas, lípidos...). A formação das rochas sedimentares realiza-se nos oceanos (baixas temperaturas). Nestas condições a redução do carbono é um processo essencialmente biológico (fixação do carbono). Nos processos metamórficos podem ocorrer reacções de redução que não têm carácter biológico.

O processo de redução do carbono (assimilação do  $CO_2$  pelos organismos) podem ser descritos da seguinte forma:



DIFUSÃO CARBOXILAÇÃO

No processo de difusão do  $CO_2$  para o interior dos organismos a alteração da composição isotópica do carbono é muito reduzida. Pelo contrário, no processo de carboxilação, existe um significativo fraccionamento isotópico resultante de um efeito cinético imposto pela fotossíntese e pela respiração anaeróbica e que leva a uma acumulação de isótopos leves ( $^{12}C$ ) nos organismos. Este fraccionamento isotópico é preservado nas rochas sedimentares.

A análise isotópica dos carbonatos das rochas sedimentares de diferentes idades revela uma constância ao longo do tempo. Esta mesma constância é observada para a composição isotópica do carbono orgânico e isto até épocas tão recuadas como 3,8 Ga (rochas de Isua, Gronelândia). Esta constância da composição isotópica do carbono orgânico sugere que o ciclo do carbono já estava estabilizado na Terra há 3,8 Ga ou seja que, nesta época, já existiam provavelmente processos bioquímicos associados à existência de organismos elementares.

#### 9 — AS MOLÉCULAS ORGÂNICAS COMO FÓSSEIS MOLECULARES (G. EGLINTON, Organic Geochemistry Unit, University of Bristol)

Em sentido lato, a palavra «fóssil» refere-se a qualquer evidência de vida primitiva. É usual introduzir uma distinção formal entre os chamados fósseis morfológicos (evidência morfológica de organismos existentes em épocas recuadas — os fósseis dos paleontologistas) e os chamados fósseis moleculares (compostos orgânicos constituintes desses organismos).

Determinados tipos de compostos orgânicos (alcanos, ácidos gordos de elevado peso molecular, pigmentos porfirínicos) surgem como promissores marcadores biológicos dada a sua estabilidade durante longos períodos de tempo e quando submetidos às condições dos processos geológicos. Os alcanos lineares são moléculas orgânicas frequentemente encontradas como constituintes dos organismos actuais. Os compostos contendo um número ímpar de átomos de carbono parecem ser mais abundantes nos organismos vivos do que os que contêm um número par. Esta observação tem sido utilizada por alguns autores para fundamentar o carácter biogénico de rochas sedimentares.

Os compostos de tipo isoprenóide são particularmente úteis como marcadores biológicos dado o seu elevado grau de especificidade estrutural aliado à sua ampla ocorrência na natureza. Por exemplo, o pristano (2,6,10,14-tetrametilpentadecano) e outros hidrocar-

bonetos isoprenóides foram isolados do petróleo bruto de idades intermédias (Mesozóico, Paleozóico) em concentrações apreciáveis, assim como de rochas sedimentares mais antigas (Precambriano). O pristano é um conhecido constituinte dos seres vivos (zooplacton, óleos de peixe e de cetáceos, esponjas marinhas...) mas a fonte do material mineralizado pode ser a porção fitol da clorofila degradada quer por processos biogénicos quer por processos abiogénicos.

O fitano (2,6,10,14-tetrametil hexadecano) foi também detectado em rochas com mais de 1 Ga. A presença de pristano e de fitano nas rochas é considerada como indicativa da existência, na época da sua formação, de processos fotossintéticos.

A extracção de material orgânico das rochas sedimentares exige técnicas por vezes muito delicadas. Por outro lado, o problema de saber se o material orgânico extraído é indígena ou se, pelo contrário, é fruto de uma contaminação posterior à formação das rochas, é um problema central da investigação neste campo. Apesar destas dificuldades, a geoquímica orgânica tem nestes últimos anos contribuído decisivamente para o estudo do problema da origem da vida.

## BIBLIOGRAFIA SUMÁRIA

- 1) Textos de carácter geral sobre o problema da origem da vida: C. PONAMPERUMA, «The origins of life», Thames and Hudson, London (1972)  
D. GOLDSMITH T. OWEN, «The Search for life in Universe» Benjamin/Cummings Publishing Co. (1980)
- 2) Sobre a origem do universo e a nucleossíntese: S. WEINREB, «Les trois premières minutes de l'univers», Editions du Seuil, (1979)  
V. TRIMBLE, The origin and abundances of the chemical elements, *Rev. Mod. Phys.* 47, 877 (1975)
- 3) Sobre as reacções químicas no espaço intersidereal e o papel dos cometas na origem da vida  
J.M. GREENBERG, Chemical Evolution of Interstellar Dust — a source of prebiotic material?, a publicar
- W.H. IRVINE, S.B. LESCHINE, F.P. SCHLOERB, Thermal History, Chemical Composition and Relationship of Comets to the Origin of Life, *Nature*, 283, 748 (1980)
- W.M. IRVINE, S.B. LESCHINE, F.P. SCHLOERB Comets and the Origin of Life, in «Origin of Life», Y. Wolman editor, D. Reidel Publishing Co. (1981)
- 4) Sobre a composição da atmosfera primitiva  
J.C.G. WALKER, «Evolution of the atmosphere», MacMillan, New York (1977)  
A. HENDERSON-SELLERS, A.W. SCHWARTZ, Chemical Evolution and ammonia in the early Earth's atmosphere, *Nature*, 287, 526 (1980)
- 5) Os sedimentos mais antigos da crosta terrestre e as informações sobre a origem da vida  
S. MOORBATH, The oldest rocks and the growth of continents, *Scientific American*, Março de 1977, pgs. 92-104  
M.T. McCULLOCH, G.J. WASSERBURG, Sm-Nd and Rb-Sr chronology of continental crust formation, *Science*, 200, 1003 (1978)  
E.G. NISBET, Archaean stromatolites and the search for the earliest life, *Nature* 284, 395 (1980)
- 6) Sobre os aspectos bioinorgânicos da origem e evolução da vida  
M.T. BECK, in «Metal Ions in Biological Systems», vol. 7, Marcel Dekker (1978)  
E.I. OCHIAI, The evolutions of the environment and its influence on the evolution of life, *Origins of Life* 9, 81 (1978)
- 7) As moléculas orgânicas como fósseis moleculares  
K.A. KVENVOLDEN editor, «Geochemistry and the origin of life», cap. IV, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. (1974)  
S.C. BRASSEL, G. EGLINTON, Biochemical significance of a novel sedimentary C<sub>27</sub> stanol, *Nature* 290, 579 (1981).  
S.C. BRASSEL, A.M.K. WARDROPER, I.D. THOMSON, J.R. MAXWELL, G. EGLITON, Specific acyclic isoprenoids as biological markers of methanogenic bacteria in marine sediments, *Nature*, 290, 693 (1981)

## INVOTAN

### LISTA DOS BOLSEIROS NO ESTRANGEIRO TRABALHANDO EM QUÍMICA E ÁREAS AFINS

- Maria Madalena Ramos de Lemos Araújo Humanes  
Licenciada em Química  
Departamento de Química do «London University College».
- Elisa Maria da Silva Campos  
Licenciada em Química  
Laboratório de Fisiopatologia dos Lipídios da Faculdade de Farmácia da Universidade de Lille.
- Maria da Graça Bontempo Vaz Rasteiro Vinhas  
Licenciada em Engenharia Química  
Departamento de Engenharia Química da Universidade de Birmingham.
- Jaime Isidoro Naylor da Rocha Gomes  
Licenciado em Química Têxtil
- Department of Colour Chemistry and Dyeing —  
— Universidade de Leeds.
- Maria João Ribeiro Nunes Ramos  
Licenciada em Química  
Departamento de Química da Universidade de Glasgow.
- Maria Helena Mendes Gil  
Licenciada em Físico-Química  
Department of Colour Chemistry and Dyeing —  
— Universidade de Leeds.
- Maria Helena Figueira Vaz Fernandes  
Licenciada em Engenharia Química  
Departamento de Cerâmicas da Universidade de Sheffield.
- José Carlos Brito Lopes  
Licenciado em Engenharia Química  
Departamento de Engenharia Química da Universidade de Houston.