

Prof. Dr. Sergio Pilling

Aluno: Alexandre Bergantini de Souza, Will Robson Monteiro Rocha, Fredson de Araujo Vasconcelos

Aula 6 - Panspermia, Cometas e Meteoritos

1. Introdução

Os detalhes da origem da vida são desconhecidos e diversas teorias foram estabelecidas para tentar explicar como ela surgiu. Sugere-se que os componentes orgânicos chegaram à Terra a partir do espaço, enquanto também se discute que ela originou na Terra. Estudos e debates científicos ao longo de várias décadas têm se dedicado a esse respeito.

Dentre as diversas teorias, existe a ideia de que a vida originou-se a partir de matéria-prima oriunda do espaço. Ela estava abrigada em meteoritos e cometas que se chocaram com a Terra primitiva. Essa teoria é chamada de Panspermia.

Já foi estabelecido que fragmentos de rocha, podem ser ejetados de superfícies planetárias como resultado da colisão de asteróides e cometas. No entanto, que essas rochas teriam o potencial de abrigar microorganismos e de entregá-los de forma viável em outro corpo planetário. Meteoritos Lunares e Marcianos evidenciam que o processo de transferência de rochas vem acontecendo ao longo da história do Sistema Solar^[1].

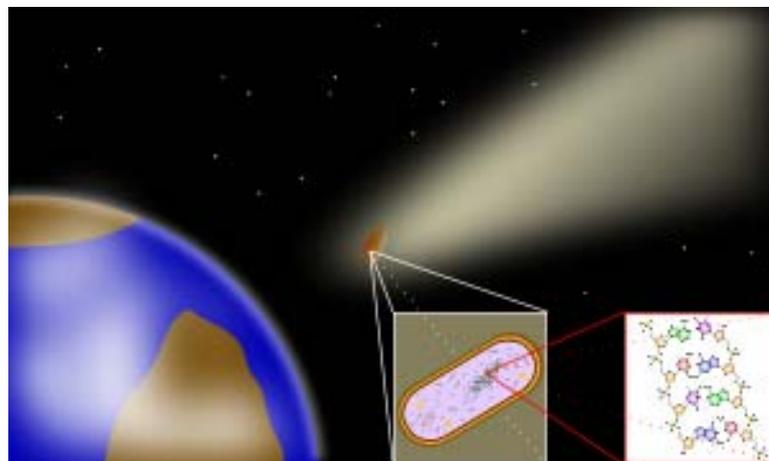


Figura 1. Ilustração de um cometa, transportando, hipoteticamente, uma forma de vida bacteriana através do espaço para a Terra. **Fonte:** <http://en.wikipedia.org/wiki/Panspermia>.

Panspermia é definida como *a hipótese que discute a possibilidade de que a vida, seja ela microbiana ou não, seja distribuída pelo Universo, de forma natural ou artificial, através de fragmentos/corpos de origem planetária ou lunar*. A panspermia, em suas várias formas, procura explorar o problema da propagação e dispersão de vida em um contexto cósmico, sem com isso necessariamente discutir a difícil questão da origem da vida. Ela sugere que a vida não necessariamente surgiu apenas uma vez, mas tendo iniciada pode se espalhar e se desenvolver em locais adequados. Ainda, a panspermia busca conhecer as propriedades da vida na Terra, em particular a vida bacteriológica, e analisar a viabilidade de uma viagem de organismos vivos de um local astronômico a outro. As evidências de ejeção de material de superfícies planetárias, da evolução da dinâmica orbital destes fragmentos, e da

sobrevivência a chegada a outro corpo celeste são as bases de estudo da panspermia interplanetária e interestelar.

2. Meteoritos

2.1 Definição

Existem três definições que dizem respeito a meteoritos de acordo com Shaw (2006). A primeira definição se refere ao fenômeno que ocorre quando um corpo entra na atmosfera terrestre e deixa um rastro luminoso provocado pelo atrito, sendo assim chamado de **Meteoro**. A segunda diz respeito ao objeto sólido que atingiu a superfície terrestre, o qual chamamos **Meteorito**, e a terceira definição, o meteorito ou um meteoro antes de entrar na atmosfera da Terra (ou de qualquer outro planeta) denominado desse modo de **Meteoroide**.



Figura 2. Foto de um Meteoro no céu do deserto de Mojave, na Califórnia - Crédito da imagem: Wally Pacholka / AP.

2.2 Classificação

Os meteoritos podem ser classificados em três tipos:

- rochosos;
- Ferrosos – rochosos;
- ferrosos.

Essas classes possuem subclasses, e os que mais caem na Terra, são os rochosos da subclasse *Chondrito*. De todos os que já foram encontrados na superfície terrestre, esses meteoritos representam quase 86%. E dentre esses, os que podem transportar vida na forma bacteriana são os carbonáceos. A Figura 3 mostra exemplos dos tipos de meteoritos.



Figura 3. Classificação dos Meteoritos nos seus diversos tipos: 1 - Ferrosos (composto principalmente de ferro e níquel). 2 - Ferro-rochoso (composto de ferro e material rochoso). 3 - Condritos (composição semelhante à do manto terrestre). 4 - Condritos-carbonáceos (composição similar à dos asteroides do tipo C). 5 - Acondritos (composição semelhante aos basaltos terrestres). Fonte: http://www.ccvalg.pt/astrologia/publicacoes/meteoros_meteoritos.htm.

2.3 Entrega de material pré-biótico por meteoritos

Um dos meteoritos mais conhecidos é chamado de Allan Hills. Ele conteria um estruturas microscópicas que lembram pequenas nanobactérias terrestres, conforme McKay et al.^[22] No entanto, chegou-se a conclusão de que essas estruturas poderiam ser formadas de processos abióticos por moléculas orgânicas. No entanto, Thomas-Keprta et al.^[23] encontraram sinais de cristal de magnetita no meteoro Allan Hills. Na Terra, algumas bactérias de água e solo secretam esse mineral dentro de suas células. Ainda assim, muitos cientistas argumentam que a magnetita pode ser produzido em laboratório artificialmente.

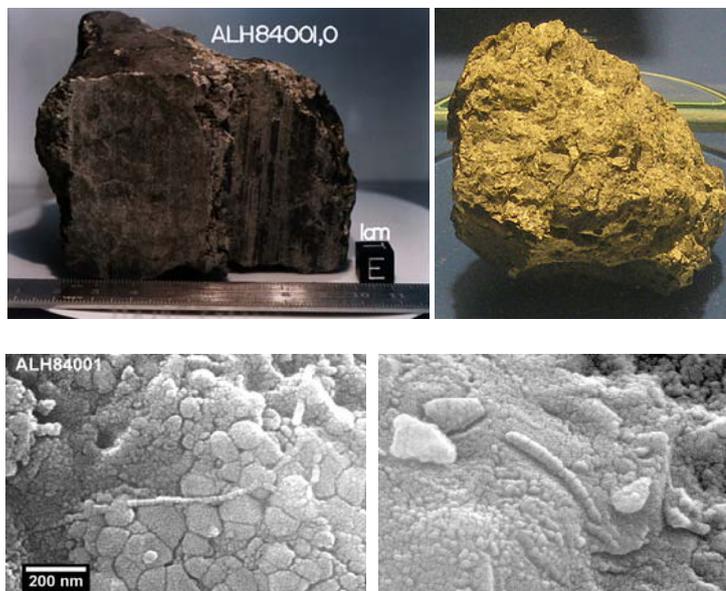


Figura 4. Superior) Meteorito ALH8400. A rocha é de cerca de 3,5 polegadas 9cm de diâmetro. À direita vemos uma de sua exposição no Smithsonian Museum of Natural History. Crédito da imagem: NASA / JSC / Universidade de Stanford. Inferior) Estruturas fossilizadas em ALH84001. Crédito da imagem: NASA.

D'Argenio et al.^[24] afirmaram ter encontrado bactérias vivas dentro de amostras de meteoritos, que estavam no museu real de Mineralogia, da Universidade de Nápoles. Na pesquisa foram encontradas bactérias relacionadas aos tipos *Bacillus Subtilis* e *Bacillus pumilis*, mas aparecem de uma forma diferenciada. Suas idades foram estimadas em mais de 4,5 bilhões de anos. No entanto, existem controvérsias de que as bactérias foram contaminadas devido ao tempo que passaram no museu.

Foi publicado em 2008, que foi descoberto nucleobases extraterrestres no meteorito Murchison. No trabalho de Martins et al.^[25] foram encontrados Xantina, nucleobases de RNA e uracila. O estudo mostra que esses compostos são de origem extraterrestre, e não houve contaminação terrestre. Esses componentes fornecem provas de que a vida na Terra pode ter surgido pelo processo de panspermia.



Figura 5. Meteorito Murchison. Fonte: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Murchison.html>

Em 2011, estudos com meteoritos encontrados na Terra revelaram um conjunto grande de compostos orgânicos de origem extraterrestre. No trabalho de Callahan et al.^[26] foram encontrados Ganina, Xantina, Adenina entre outros componentes que são fundamentais para a formação do DNA, ou seja, são ingredientes que compõem a vida. Eles usaram 12 amostras de meteoritos, dentre os quais 9 foram recuperados na Antártida.

Extração ácido-base dos condritos mostraram a formação de **coacervados** - aglomerados de moléculas proteicas envolvidas por água e que são de suma importância para a química prébiótica. A Figura 6 mostra uma ilustração da estrutura de um Coacervado.



Figura 6. Esquerda) Ilustração de um coacervado. Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Coacervado>. Direita) foto mostrando gotículas de um coacervado. Fonte: <http://ibbiology2012-14.wikispaces.com/Early+Earth+and+the+Origins+of+Life>.

Ainda em 2011, apareceu a notícia de que o Ph.D. Richard B. Hoover, um astrobiólogo, descobriu evidências de microfósseis semelhantes a cianobactérias em nos meteoritos Alais, Ivuna e Orgueil. O trabalho foi publicado no *Journal of Cosmology*, como Hoover^[27]. No entanto, a NASA comunicou que não está apoiando o trabalho de Hoover. Dada a natureza da sua descoberta, o trabalho ainda está sendo analisado por peritos.

Embora não faça parte de um meteorito ou asteroide, astrônomos da Universidade de Copenhagen encontraram em Agosto de 2012, uma molécula de glicolaldeído, um tipo específico de açúcar. Ela estava presente em um sistema binário protoestelar *IRAS 16293-2422*. O trabalho de Jørgensen et al.^[28] usou o *Atacama Large Millimeter Array* (ALMA) para fazer a detecção. Esse açúcar é necessário para formar RNA. Isso sugere que essas moléculas podem se formar antes da formação de planetas, e eventualmente chegarem a novas “Terras primitivas”, cujo mecanismo de entrega poderia ser por choques de meteoritos em um estágio evoluído do sistema.

3. Cometas

3.1 Definição

Cometas são corpos menores do sistema solar pequenos e irregulares, compostos de uma mistura de grãos não voláteis e gases congelados. Cometas são provenientes de dois lugares do sistema solar: um é o cinturão de Kuiper, uma coleção em forma de disco de detritos gelados a uma distância de cerca de 100 AU além da órbita de Netuno; e a segunda é a nuvem de Oort a uma distância em torno de 50 000 UA que pode conter uma massa significativa de material remanescente da formação do sistema solar (Shaw, 2006).

Os Cometa têm um centro de gelo, chamado de núcleo, cercado por uma grande nuvem de gás e poeira, chamada de coma. A coma é criado enquanto o gelo do núcleo é aquecido pelo sol, evaporando-se. Cometas desenvolvem duas caudas enquanto se aproximam do sol, uma cauda reta de gás e outra curva, de poeira. O gás residual é criada pelo vento solar, cujos campos magnético empurram o gás para longe da coma. A cauda de poeira não é afetada por campos magnéticos, mas é vaporizado pelo calor do sol, e forma uma cauda curvada que se segue a órbita do cometa.

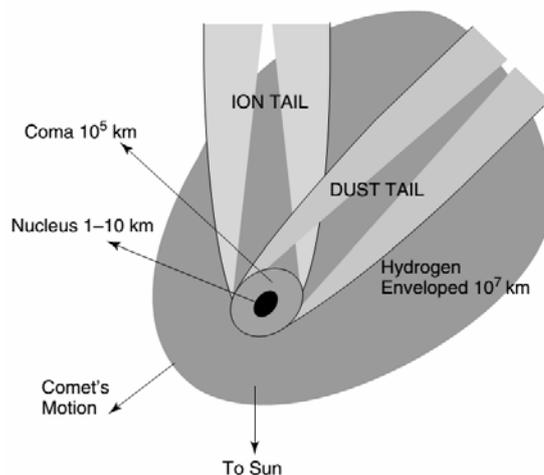


Figura 7. Estrutura de Cometa mostrando o núcleo, o coma e duas caldas-uma calda de ion e uma calda de poeira. Fonte: Shaw (2006).

A interação de fótons ultravioleta, raios cósmicos e processamento termal na superfície do cometa, produz uma rica diversidade de espécies orgânicas. No núcleo predomina H_2O e outros materiais voláteis, incluindo também CO , CH_4 , CO_2 , CH_3OH , HCN , NH_3 , H_2S , C_2H_2 , C_2H_6 e C_3H_4 . A maioria dos processos que ocorrem no coma dos cometas são iniciados pelo campo de radiação solar. Fótons de comprimentos de onda ultravioleta (UV) dissociam e foto-ionizam as moléculas pai original, produzindo uma "segunda geração" de radicais reativos, íons e elétrons (Rodgers et al). Esses íons e radicais podem, posteriormente, reagir com outras espécies para formar espécies "de terceira geração"^[39].

3.2 CONTRIBUIÇÃO DOS COMETAS NA QUÍMICA PREBIÓTICA

Oró et al.^[30] defendem que é mais provável que uma combinação de fontes exógenas e endógenas contribuiu para a síntese e acumulação dos blocos de construção da vida na Terra primitiva. Neste sentido, a contribuição dos cometas é grande, pois eles são ricos em água e carbono, dois constituintes chaves da vida no planeta Terra. Além disso, seriam capazes de trazer para a Terra moléculas reativas de Carbono (*reactive C-bearing molecules*), que podem se reunir para formar aminoácidos, bases de purina e pirimidina, além de açúcares; ou seja, os constituintes básicos para formação de proteínas e ácidos nucléicos.

Espectrômetros de massa a bordo das sondas Giotto (ESA) e Vega 1 e 2 (URSS e França) mediram *in situ* a composição química de grãos do cometa Halley. Do material coletado se concluiu que partículas de C, H, O, N (partículas "CHON") encontravam-se intercaladas com silicatos na escala sub-mícron, e que mais de 70% desses grãos de poeira eram constituídos de misturas de material orgânico e refratário^[31]. Embora a presença de compostos prebióticos chave tenham sido sugeridos pelas medições destas sondas, eles permanecem no campo especulativo devido à limitada resolução dos espectrômetros enviados ao coma do cometa Halley.

Já a missão *Stardust*, da Nasa, enviou uma sonda ao cometa *Wild 2*, e os resultados se mostraram ainda mais interessantes. Um dos principais resultados mostra que o cometa não apenas traz material das regiões mais externas do Sistema Solar (SS) e o deposita nos planetas interiores, como também o caminho inverso é realizado: material formado na região interior do SS é levado para regiões onde os cometas são formados, como pode ser visto no site da NASA^[32]:

"Comets may be more than just simple conglomerations of ice, dust and gases. Some may be important windows on the early solar system. Others may have contributed materials necessary to the development of life on our own planet. Scientists have found a wide range of compositions and structures for the comet Wild 2 particles that were captured and returned to Earth by NASA's Stardust spacecraft. Their findings indicate the formation of at least some comets may have included materials ejected from the inner solar system to the far and cold outer edge of the solar nebula. [...] The findings suggest materials from the inner regions of the solar system could have traveled to the outer reaches where comets formed. This may alter the way scientists view the formation and composition of comets".

Como prova desse transporte de materiais, análises do cometa *Wild 2*, revelou uma substancial quantidade de silicatos cristalinos, tais como: olivina, anortita e diopsida. Esses materiais são formados apenas a altas temperaturas.

Outro resultado surpreendente dessa missão foi o achado de glicina, um aminoácido encontrando em proteínas e é considerado um dos blocos fundamentais da vida. Foi a primeira detecção em um cometa, fornecendo fortes evidências de que cometas contribuíram no processo de panspermia. Após vários estudos, o trabalho de Elsila et al.^[33], concluiu que a glicina era de origem extraterrestre e não de contaminação terrestre.

Segundo Oró et al.^[6], algumas moléculas pré-bióticas importantes já foram detectadas na constituição de cometas, dentre elas, destaca-se: H₂O, CO₂, formaldehyde (H₂CO), ammonia (NH₃), hydrogen cyanide (HCN), acetonitrile (CH₃CN), isocyanic acid (HNCO) e hydrogen sulfide (H₂S), além de moléculas mais complexas, como acetaldehyde (CH₃CHO), methyl formate (HCOOCH₃), e formamide (NH₂CHO).

4. Panspermia

Panspermia é uma palavra grega que se traduz literalmente como "sementes em todos os lugares"^[40]. A hipótese da panspermia afirma que as "sementes" da vida existem em todo o Universo e pode ser propagado através do espaço a partir de um local para outro. Alguns acreditam que a vida na Terra pode ter se originado através dessas "sementes". Essa teoria de transferência de matéria e consequentemente de micro-organismos segue três vertentes: 1) Panspermia Balística, 2) Lithopanspermia e 3) Panspermia Dirigida. As hipóteses (1) e (2) ocorrem via transferência de matéria-prima para a vida através de meteoritos e cometas. No entanto, a primeira é aplicada a um sistema solar, enquanto que a segunda ao sistema interestelar. A hipótese (3) sugere que a vida possa ser espalhada propositalmente por uma civilização extraterrestre avançada ou da Terra para outros planetas pelos humanos via procedimentos tecnológicos.

A primeira menção conhecida do conceito de panspermia (diferente da teoria atual) foi feita pelo filósofo grego Anaxágoras (500 a.C – 428 a.C). Depois o conceito só apareceu em 1743 em escritos do diplomata e historiador natural Benôite de Maillet (1656 – 1738), que acreditava que a vida na Terra foi "semeada" por germes do espaço que caíram no oceano. No contexto científico, os defensores dessa hipótese foram Jöns Jacob Berzelius (1779 – 1848), William Thomson (1824 – 1907) e Svante Arrhenius (1859 – 1927). Mas foi o físico H. E. Ritcher o primeiro a propor em 1865 que meteoros seriam veículos de vida através do espaço e pode ser considerado o fundador da teoria moderna de Lithopanspermia.

Segundo Wallis e Wickramasinghe^[2] a panspermia chegou aos meios acadêmicos via estudos dos meteoritos vindos de Marte e da Lua¹. Estes meteoritos contêm a prova de que fragmentos de material rochoso podem ser lançados de um corpo celeste a outro (rocha é um agregado sólido que ocorre naturalmente e é constituído por um ou mais minerais). Caso algum destes fragmentos contenha micro-organismos, estes também serão levados.

Então se torna necessário compreender e estudar os três passos principais para que essa transferência ocorra:

(1) O processo de escape, isto é, a remoção para o espaço de material biológico lançado da superfície para altas altitudes e a compreensão das consequências para um organismo vivo decorrentes da ejeção de material da superfície de um planeta/lua;

(2) O período de tempo em que este material passa no espaço, ou seja, a sobrevivência da matéria biológica por períodos de tempo compatíveis com uma viagem interplanetária/interestelar, sendo submetida à ação do vácuo e da radiação (UV, Raios-X, elétrons e íons rápidos);

(3) O processo de reentrada, que é a deposição não destrutiva do material biológico em outro planeta/lua, considerando o possível aquecimento do asteroide pelo atrito com o ar e o choque mecânico deste corpo contra o solo.

¹ Duas listas de meteoritos vindo da Lua e de Marte podem ser encontradas em http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites_list_alumina.htm#MAC88 e <http://www2.jpl.nasa.gov/snc/>, respectivamente.

4.1 Panspermia Balística

4.1.1 O Processo de Ejeção de Material da Superfície um Planeta/lua

Para simular os efeitos do impacto de um asteroide contra a superfície de um planeta com a consequente ejeção de material para o espaço, Meyer et al.^[3] prepararam um experimento no qual placas de rochas basálticas (semelhantes às encontradas em Marte) foram expostas a colônias de microrganismos tais como esporos de bactérias, ciano bactérias e líquens que vivem dentro ou na superfície das rochas, e que são capazes de sobreviver às condições simuladas do espaço. Essas placas rochosas foram presas a cilindros de TNT.

Durante o experimento, os micro-organismos foram expostos a pressões de 5×10^4 a 5×10^5 bar, e temperaturas de até 1.000°C por algumas frações de segundo, e ainda assim, cerca de 0,02% dos micro-organismos sobreviveu à pressões de 4×10^5 bar. Quando as rochas foram resfriadas a temperaturas próximas a 193K, similares a temperatura das regiões polares de Marte, algumas bactérias sobreviveram até mesmo a pressões de 5×10^5 bar.

Durante as experiências, os microrganismos foram expostos a temperaturas e pressões elevadas durante apenas poucos segundos, tal como teria acontecido durante o impacto real de um asteroide/cometa em Marte. Segundo Mileikowsky et al.^[4], a duração total do pulso de pressão do choque de um corpo contra uma superfície é bem curto, e pode ser calculado por $L/2U + L/C_T$, onde L é o diâmetro do impactante, U é a componente da velocidade vertical do impactante, e C_T é a velocidade do som no alvo. Para $L = 1\text{km}$, $U = 15\text{ km/s}$, e C_T em rocha pura = 6 km/s o tempo total é de $t_{\text{tot}} = 0,2\text{s}$.

A curta duração do pulso de pressão sobre os microrganismos pode ser a chave para sua sobrevivência. De modo geral, os resultados deste, e de outros experimentos, se mostraram favoráveis à teoria de que microrganismos podem sobreviver ao choque de um asteróide/cometa, e serem lançados ao espaço.

Conforme análises petrográficas de meteoritos Marcianos e simulações numéricas de ejeções por impactos induzidos chegaram-se a conclusões de que essas rochas experimentaram choques de 5 – 55 GPa^[5], aquecimentos entre $40 - 350^\circ\text{C}$ ^[6] e aceleração da ordem de $3,8 \times 10^6\text{ m/s}^{2[7]}$ (**refe. de promising Field research**). Nesse sentido, Melosh^[8] diz que o meteorito ALH84001, foi aquecido até pouco mais de 40°C no seu processo de ejeção.

Segundo Wallis & Wickramasinghe^[2], a idéia de que a troca de material planetário é, ou foi, comum entre os planetas interiores do Sistema Solar. Além dos meteoritos originários da Lua e de Marte encontrados na Terra, também se sabe que tanto a Lua quanto a Terra estiveram sujeitas a um intenso bombardeio de asteróides e cometas há 4 Gyr atrás, e o mesmo processo continuou em uma escala muito reduzida em épocas posteriores.

Em um típico impacto de um cometa de tamanho de 10 km, com velocidade de 30 km/s contra a Terra, ou Marte (o que ocorre a cada 100 Myr na época presente), a maior parte do material do cometa (impactante) é vaporizada. No entanto, na cratera que se forma (e que tem cerca de dez vezes a largura do corpo impactante), material é ejetado sob a forma de rochas e detritos, sendo que fragmentos de rochas próximos à superfície do impacto podem ser ejetados à metade da velocidade do impactante, e o material constituinte do solo (poeira, por exemplo) pode ser ejetado com velocidades ainda maiores^[4]. O calor gerado pelo impacto pode abrir um “buraco” na atmosfera, o que facilitaria a ejeção de rochas e partículas do solo, podendo conter micróbios, esporos e eucariontes, incluindo levedos, em seu interior, garantindo a viabilidade de tais organismos.

Reyes-Ruiz et al.^[9] fizeram trabalhos envolvendo simulações numéricas caracterizando diferentes velocidades de ejeção de material da Terra após ter sofrido um impacto. Dada que a velocidade de escape da Terra é aproximadamente 11,1 Km/s, eles foram acrescentando algumas unidades a mais nas velocidades de ejeção. Foi percebido que se a velocidade de ejeção for de cerca de 1% da velocidade de escape da Terra, então uma grande fração de material ejetado cairia de volta na Terra. Velocidades um pouco maiores teriam alguns corpos colidindo com Marte, Venus e até Jupiter. Com isso eles concluíram que o processo de Panspermia Balística é um processo viável para espalhar vida em outros planetas, ou até mesmo na própria Terra após muitos anos.

4.1.2 A Probabilidade de Microorganismos Sobreviverem a Viagem no Espaço

Segundo Wallis & Wickramasinghe^[2] se acreditava até recentemente que nenhuma forma de vida poderia ser viável após sofrer a ação da radiação cósmica por períodos de Myr, tanto no espaço, como na superfície de planetas. A modelagem da sobrevivência de bactérias é baseada somente como uma função inversa da dose de radiação acumulada em função do tempo. Contudo, quando uma célula está metabolizando, seus mecanismos de reparação de DNA garantem a reparação de rupturas dos filamentos danificados por causa da ação de radiação.

Se não forem suficientemente protegidos, micróbios podem ser letalmente danificados por estes tipos de radiação no espaço:

- Radiação UV solar, Raios-X e raios gama galácticos.
- Raios cósmicos.
- Partículas solares no espaço interplanetário.

Diversos modelos de sobrevivência de material biológico no espaço têm sido testados. A bactéria *Deinococcus radiodurans* foi testada no dispositivo ERA (*Exobiology Radiation Assembly*) na missão Eureca da ESA. Dose et al.^{[10][11]} mostra que essa bactéria quando exposta à luz solar apresenta uma sobrevivência de 15 – 35% se for mantida em argônio seco por 17 meses. Eles disseram ainda que essa sobrevivência poderia ser melhorada se elas fossem desidratadas na presença de matéria orgânica. Saffary et al.^[12] verificaram efeitos da radiação ultravioleta extrema em *Bacillus sp.* e *D. radiodurans* durante voo de foguete. Nessas condições a sobrevivência desses organismos foi diminuída de uma ordem de magnitude. Por outro lado, Sancho et al.^[13] através de experimentos do dispositivo Biopan-5, mostra que outras formas de organismos, como os líquens, foram capazes de restaurar sua capacidade de colonização e atividade fotossintética após uma longa exposição de 16 dias às condições reais do espaço.

Um estudo em particular que está atualmente em execução está sendo feito com dados coletados dos dispositivos EXPOSE da ESA. São dois equipamentos, sendo o EXPOSE – E a bordo do módulo europeu Columbus e o EXPOSE – R, a bordo do módulo russo Zvezda. Os diferentes experimentos incluem exposições à radiação de moléculas sólidas, misturas de gás ou conjuntos biológicos, como também exposições ao vácuo e à flutuações de temperaturas.

Os resultados do dispositivo EXPOSE – E, mostraram que os líquens foram os mais resistentes às condições do espaço e voltaram a crescer normalmente após o regresso à Terra. Foram testadas plantas do tipo *Arabidopsis thaliana* e *Nicotiana Tabacum* (tabaco). Dentre essas o tabaco apresentou uma sobrevivência de 44%. A germinação foi atrasada em sementes protegidas da luz solar, mas a sobrevivência total foi alcançada^[14]. Bactérias do tipo *Bacillus subtilis* 168 e *Bacillus Pumilus* SAFR-032 foram testadas em condições de uma viagem à Marte. Concluiu-se que bactérias menos expostas à luz solar sobreviveram por muitas ordens de magnitude em relação às que foram expostas diretamente. Isso mostra que há uma grande chance de bactérias viajarem numa missão à Marte se protegidas da radiação solar^[15]. O dispositivo EXPOSE – R foi retirado da sonda russa em Janeiro de 2011. O material coletado ainda está sendo estudado.

4.1.3 O Processo de Chegada de Material à Superfície de um Planeta/lua

O Processo de chegada de um material colidindo com a atmosfera é bastante crítico. No entanto, os trabalhos de De la Torre et al.^[16] e Fajardo-Cavazos et al.^[17] relatam que a sobrevivência de uma pequena fração da população inicial de células e demonstram que alguns tipos de microrganismos são capazes de sobreviver a impactos comparáveis ao de asteroides. Um exemplo disso foi o que aconteceu com o desastre da nave Columbia. Centenas de vermes que fizeram parte de experimentos a bordo da nave, sobreviveram à explosão e ao choque com a Terra anunciado no noticiário da BBC em maio de 2003². Os vermes eram da espécie *Caenorhabditis elegans*. Eles foram os únicos animais usados nos experimentos que ficaram com vida.

Durante a reentrada no planeta/lua, para uma atmosfera de 1 a 5 Bar (semelhante aos primeiros 0,5 Ga em Marte e na Terra), um aquecimento adicional ocorre devido ao atrito. Segundo Mileikowsky et

² BBC News – <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/2992123.stm>

al.^[4], é importante que este aquecimento não ultrapasse temperaturas de 100° para não comprometer a sobrevivência microbiana.

O processo de entrada foi testado pelo experimento Stone da ESA^[18]. Eles constataram que a cianobactéria endolítica *Chroococcidiopsis sp* que estava numa amostra de rocha metamórfica não resistiu à reentrada na atmosfera da Terra devido ao alto aquecimento ter alcançado cerca de 5 mm de profundidade da rocha. No trabalho de Foucher^[19], isso indica que fotossíntese pode ser aparecido independentemente na Terra.

Durante a reentrada, um corpo oriundo do espaço interplanetário que encontra um planeta com uma atmosfera semelhante à da Terra, está sujeito a um grande aquecimento devido ao atrito. Um meteorito possui o seu próprio escudo contra o calor. Esse escudo está na forma de camadas externas. A queda através da atmosfera é tão rápida que o aquecimento não tem tempo para penetrar no interior do meteorito. Meteoritos maiores do que certo tamanho são capazes de manter frio o seu interior, embora a sua superfície seja derretida em vidro. Corpos volumosos frequentemente não alcançam o solo em apenas um componente. Eles quebram facilmente, mas o tamanho dos pedaços pode ser ainda grande o suficiente para continuar frio por dentro ao tocar o solo. Segundo Mileikowsky et al.^[4] é bem provável que um número considerável de micróbios no interior de um meteorito possa sobreviver às temperaturas, tanto do lançamento, quanto da aterrissagem. Apesar do fato de que pequenos meteoritos fiquem uniformemente quentes, e poderem evaporar completamente antes de atingirem o chão, meteoritos extremamente pequenos (não excedendo poucos micrometros) não sofrem ação tão intensa de atrito, e suas temperaturas durante a reentrada ficam abaixo de 100°C.

Esse cenário favorece o transporte de microrganismos litotróficos, que geralmente são encontrados em profundidades de 3 Km. Eles não dependem da luz e podem obter carbono e energia de fontes inorgânicas. Dessa forma, se o material vivo estiver protegido por uma camada extensa do asteroide ele pode resistir ao processo de reentrada na Terra.

Com relação à aceleração causada pelo impacto com o solo, sabe-se que bactérias são aceleradas à 15.000g em ultra-centrífugas de laboratório, e não sofrem danos. Entretanto, essa aceleração demora alguns segundos para acontecer. Para simular um impacto direto com o solo, de duração de cerca de 30ms, e que causaria muito mais stress ao microorganismo do que uma ultra-centrífuga, Mileikowsky et al.^[4] utilizou-se de projéteis de arma de fogo, contendo bactérias das espécies *B. subtilis* e *Deinococcus radiodurans*, sendo que houve uma boa taxa de sobrevivência em todos os casos estudados por meio deste processo.

4.2 Lithopanspermia

Lithopanspermia, por vezes referida como panspermia interestelar, é uma versão da hipótese da panspermia na qual argumenta-se que as rochas expulsa pelo impacto a partir da superfície de um planeta servem como veículos de transferência para a difusão de material biológico de um sistema solar para outro. Ela exige que os microorganismos sobrevivem (1) pelo processo de ejeção do impacto do planeta de origem; (2) que viajam através do espaço; (3) aterrissam em um planeta em outro sistema solar^[37].

O conceito de lithopanspermia é o mesmo que o de panspermia balística, porém aplicada ao meio interestelar, e não limitada a um dado sistema solar. Essa hipótese também é aplicada usando os processos citados nas Seções 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3, mas neste caso, o material precisa ter velocidade de escape suficiente para escapar das influências gravitacionais do seu próprio sistema solar, caso haja microorganismos, eles passariam mais tempo recebendo doses de radiação, até serem capturados por um planeta ou lua de outro sistema solar e colidirem com eles.

No trabalho de Wallis & Wickramasinghe^[2] são discutidas as questões que envolvem a ejeção de material do nosso Sistema Solar para o meio interestelar. Eles consideraram materiais planetários que foram ejetados como também Objetos Transnetunianos que estão localizados no cinturão de Kuiper. Esse material ejetado pode ser capturado por discos protoplanetários como também Nuvens Moleculares Gigantes. Eles concluíram que a ejeção de matéria do Sistema Solar para o meio interestelar é de aproximadamente 4 toneladas por ano. A Figura 8 mostra uma representação esquemática da entrega de materiais no meio interestelar.

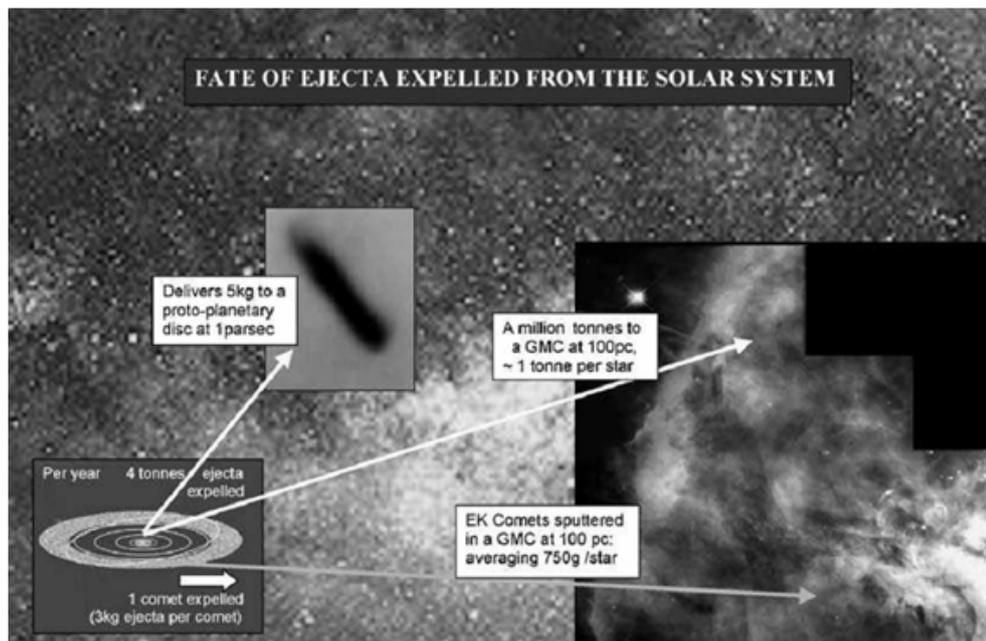


Figura 8: Representação esquemática da entrega de material do Sistema Solar para um sistema de disco protoplanetário e para uma Nuvem Molecular Gigante.

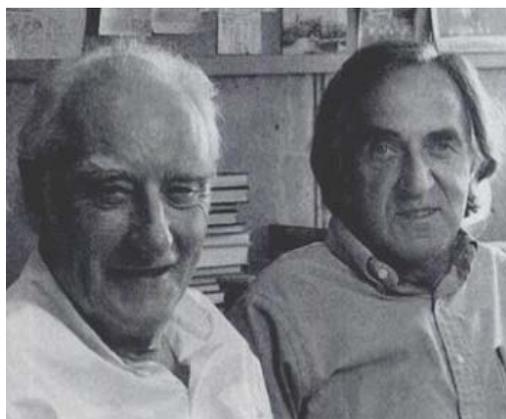
A Figura 2 apresenta a taxa de material ejetado do Sistema Solar a cada ano, e a taxa de material que colide com discos protoplanetários e Nuvens Moleculares Gigantes. É possível perceber que mais material colide com nuvens moleculares do que com discos de estrelas. Isso ocorre porque a quantidade e as dimensões dessas nuvens são maiores do que a de estrelas em formação.

Outro fator importante na ejeção de material da Terra para o Sistema Solar são as dimensões dos corpos expelidos. Napier^[20] diz que esses corpos são reduzidos no decorrer do tempo devido às erosões e colisões com partículas de poeira da nuvem zodiacal. A escala de tempo para isso é da ordem de 10^4 anos. Uma vez, o material sendo reduzido a tamanhos críticos da ordem de um micrômetro, ele pode ser ejetado do Sistema Solar por pressão da radiação. Esse tamanho é suficiente para abrigar vida fértil. Então durante passagens do Sistema Solar próximas a nuvens moleculares, uma significativa quantidade de partículas podem ser incorporadas a sistemas protoplanetários e protegidas de raios cósmicos dentro de planetesimais.

Adams & Spergel^[21] consideraram a hipótese da lithopanspermia em grupos e aglomerados de estrelas jovens. Foram usadas técnicas de simulação de Monte Carlo. Eles concluíram que esses aglomerados constituem um meio eficaz para a transferência de matéria de um sistema solar para outro sistema solar. Essa conclusão ainda traz alguns problemas, como o tipo de sistema solar de aglomerados estelares e as erosões sofridas. Esses dois fatores, criam ineficiências no processo. No entanto, aglomerados menores seriam mais propícios para manter a vida de sistemas biológicos, visto que o nível de radiação ultravioleta aumenta com as dimensões do aglomerado.

4.3 A Hipótese da Panspermia Dirigida

A Panspermia Dirigida sugere que a vida poderia ser distribuída no Universo, na Terra por uma civilização alienígena avançada. Ela sugere que as sementes da vida podem ter sido propositadamente espalhadas por uma civilização extraterrestre avançada, ou pode ser transmitida a partir da Terra para outros planetas por seres humanos. O principal idealizador dessa possibilidade de semear novos locais no universo foi o professor Francis Crick, prêmio Nobel, juntamente com o químico britânico Leslie Orgel, em 1973. Ele propôs que pequenos grãos contendo DNA ou blocos de vida fossem lançados ao espaço por foguetes em direções aleatórias. Essa seria a melhor maneira de semear o Universo.



L. Orgel y F. Crick

Figura 10. Fonte: <http://www.elorigendelhombre.com/panspermia%20dirigida.html>

Como hipótese, deve existir civilizações que se desenvolveram antes de nós na Terra ^[35]. Carl Sagan disse que só na nossa galáxia, a Via Láctea, pode haver mais de um milhão de civilizações avançadas, e no universo existem bilhões de galáxias.

Embora exista a ideia de que tecnologias do futuro próximo possam possibilitar esse processo, Mautner 2000 diz que a panspermia dirigida já é possível com a tecnologia atual. Para o sucesso da missão alguns detalhes precisam estar bem claros, como por exemplo: - Lançados com velocidades suficientes para assegurar a chegada ao alvo desejado. Isso requer uma precisão astrométrica, e tecnologia suficiente, como por exemplo, velas solares; - Desacelerar nos alvos desejados; - A possibilidade de serem entregues por meteoritos ou cometas. Alguns alvos podem ser considerados no processo de panspermia dirigida, dentre eles, os exoplanetas descobertos pela missão Kepler que estejam dentro da zona de habitabilidade, discos de acreção ou nuvens de formação estelar.

No entanto, essa questão ainda está na fronteira de ficção e realidade. Muitos questionamentos existem sobre ele, por exemplo: Queremos expandir toda a vida, ou apenas vida inteligente? Será possível mudar para outro planeta/lua ou sistema solar e ainda preservar a vida no nosso planeta? Seria possível criar uma zona de habitabilidade artificial? ^[36] Crick e Orgel tiveram o cuidado de salientar que a Panspermia dirigida não era uma certeza; mas sim uma alternativa plausível que deve ser levado a sério. No documento, Crick e Orgel reconheceram que eles "não tem nenhum argumento forte desse tipo.

5. Discussão e Conclusões

Cometas ou meteoritos podem ter sido os responsáveis para trazer para a terra as primeiras moléculas complexas, que deram origem à vida. A importância desses corpos do sistema solar para a origem e evolução da vida não podem ser diminuída. Estes corpos vagantes, oriundos do início do Sistema Solar, carregam consigo informações químicas muito antigas sobre a origem do Sistema Solar, e podem ter desempenhado um dubio papel em nossa história, tanto trazendo para cá compostos químicos fundamentais para o surgimento da vida, como também podendo ter causado extinções em massa no planeta Terra. Cometas e corpos menores relacionados talvez tenham alterado o curso os eventos biológicos em nosso planeta, abrindo caminho para o desenvolvimento de outras espécies, incluindo a nossa própria.

Muitos trabalhos têm concluído que é possível um material ser ejetado de um corpo maior por colisão e ser transferido para outro, sem nenhum problema. Achados de meteoritos de Marte e da Lua são provas contundentes disso. E nesta transferência de material, simulações numéricas mostram que esporos de bactérias como células bacterianas altamente resistentes a impactos e a radiação podem ser entregues em novos sistemas, seja ele no nosso Sistema Solar ou no meio interestelar.

Tratando-se de um conceito mais filosófico do que real, o processo de espalhamento da vida é uma ideia viável. Talvez fosse esse mesmo processo que originou a vida na Terra, quando essa estava em condições de recebê-la. Um processo consciente feito por seres mais desenvolvidos.

Então, como mostrado nesse trabalho, o conceito de panspermia, seja ela, intencional ou não, encontra muitas evidências em estudos de caráter científico, e é uma forma viável pela qual a vida começou na Terra e pode já ter começado em outros sistemas solares, na nossa própria Galáxia, ou mesmo em Galáxias nunca ainda detectadas.

Referências

- [1] Gargaud M. et al. (Editor) - **Lectures in Astrobiology, Vol. I From the Origin of Life on Earth to Life in the Universe** - Andre Brack (pgs 11 a 20) - Editora Springer-Verlag: Berlin, 2005.
- [2] Wallis & Wickramasinghe, - **Interstellar Transfer of Planetary Microbiota** - Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 348, 52 (2004).
- [3] Meyer, C. et al. - **Is there anybody out there? An ark of life** – Disponível em: <<http://www.scienceinschool.org/2008/issue9/esasuccess>>
- [4] Mileikowsky, Curt - **Natural Transfer of Viable Microbes in Space** - Icarus 145, 391–427 (2000).
- [5] Nyquist L. E. et al. (2001) Space Sci. Rev. 96, 105–164.
- [6] Shuster D. L. and Weiss B. P. (2005) Science, 309, 594–597
- [7] Mastrapa, R. M. E. et al. (2001) Earth Planet. Sci. Lett., 189, 1–8
- [8] Melosh H. J. (1988) Nature, 21, 687–688
- [9] Reyes-Ruiz et al. (2012) Icarus 220, 777-786
- [10] Dose et al. (1995), Eureka Scientific Results 16, 119-129
- [11] Dose et al. (1996), Life Sciences: Space and Mars recent results 18, 51-56
- [12] Safary et al. (2002), FEMS Microbiology Letters, 215, 163-168
- [13] Sancho et al. (2007), Astrobiology, 7, 443-454
- [14] Tepfer et al. (2012,) Astrobiology, 12, 517-528
- [15] Horneck et al. (2012), Astrobiology, 12, 445-456
- [16] De La Torre et al. (2009), Origins of Life and Evolution of the Biosphere, 39, 356-357
- [17] Fajardo-Cavazos et al. (2009), Astrobiology, 9, 647-657
- [18] Cockel et al. (2007), Astrobiology, 7, 1-9
- [19] Foucher et al. (2010), Icarus, 207, 616-630
- [20] Napier W. M. (2004), MNRAS, 348, 46-51
- [21] Adams F. C. & Spergel D. N. Astrobiology, 5, 497-514
- [22] McKay et al. (1996), Science, 273, 924-930
- [23] Thomas-Keprta et al. (2009), Geochimica et Cosmochimica Acta, 73, 6631-6677
- [24] D'Argenio et al. (2001), Rend. Fis. Acc. Lincei, 12, 51-68
- [25] Martins et al. (2008), Earth and Planetary Science Letters, 270, 130-136
- [26] Callahan et al. (2011), PNAS, 108, 13995-13998
- [27] Hoover R. B. Journal Cosmology

- [28] Jorgensen et al. (2012), ApJL, 757, L4
- [29] Kepler & Saraiva - **Astronomia e Astrofísica** – Disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/solar/meteor.htm>
- [30] J. Oró, A. Lazcano, and P. Ehrenfreund
- [31] Fomenkova M.N., **On the Organic Refractory Component of Cometary Dust**. Space Science Reviews, 90, 109–114 (1999).
- [32] NASA's Stardust Project Disponível em : <http://stardust.jpl.nasa.gov/news/news110.html>
- [33] Elsilá et al. Meteoritics & Planetary Science, 44, 1323-1330
- [34] <http://jiffyx01.free.fr/brodeur/MarsLife/ALH84001.htm>
- [35] <http://www.elorigendelhombre.com/panspermia%20dirigida.html>
- [36] <http://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/2013/01/09/the-origins-of-directed-panspermia/>
- [37] <http://www.panspermia-theory.com/lithopanspermia/>
- [38] <http://www.smashinglists.com/top-10-theories-on-beginning-of-life-on-earth/>
- [39] Rodgers et al
- [40] <http://www.panspermia-theory.com/>