



# Explicando a Astrogeologia

.....

**Bruno L. do Nascimento-Dias**

Departamento de Física, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil

E-mail: bruno.astrobio@gmail.com

.....

## Introdução

**E**mbora a geologia seja a área que procura entender a composição e a estrutura evolutiva da Terra, através das rochas, dos minerais e do vulcanismo, ela não está restrita a estudar apenas materiais de nosso planeta. Atualmente, existe a possibilidade de se estudar amostras bastante similares aos minerais que encontramos na Terra. Esses materiais são encontrados em outros corpos do nosso Sistema Solar, tais como em meteoritos, asteroides e cometas. Além disso, com o avanço e desenvolvimento tecnológico também é possível analisar processos evolutivos geológicos de outros planetas, como Marte, ou até mesmo de outras luas de nosso sistema planetário, como Europa, Titã, Io e Encélado. Esse campo de junção da geologia com a astronomia forma o que podemos chamar de astrogeologia.

Por volta de 1912, o geólogo australiano Sir. Douglas Mawson liderou uma expedição à Antártica com o objetivo de investigar o trecho da região da costa do continente. Foi durante essa expedição que ocorreu a descoberta do primeiro meteorito da região, caracterizando-a como a primeira observação astrogeológica da Antártica. Depois desse episódio, geólogos russos passaram a descobrir uma grande variedade de meteoritos pela região, de modo que em 1969 foi criado pelos soviéticos o primeiro programa formal de pesquisa de meteoritos do país. Essa iniciativa contribuiu muito para que mais tarde, milhares de outros meteoritos viessem a ser encontrados no continente da Antártica [1].

De modo geral, o estudo desses objetos e suas possíveis relações com os dife-

rentes processos físicos e químicos durante a sua formação e possíveis modificações que ocorrem ao longo do tempo cósmico são imprescindíveis para buscar entender certas questões como, por exemplo, a origem da vida na Terra e a constituição dos seres vivos. Assim, buscaremos apresentar como a astrogeologia pode, de uma maneira multidisciplinar, se relacionar com a física, química, biologia, geologia, astronomia e outras áreas do conhecimento científico, de modo a auxiliar e elucidar certas questões vinculadas à Terra e ao Sistema Solar.

## Processos físicos no Universo e a conexão entre a astrogeologia e a física

Os debates científicos e as ideias relacionadas à origem da vida na Terra ocorrem há várias décadas. Basicamente, acredita-se que a interação entre a radiação e as espécies químicas provenientes do meio interestelar (MI) poderia ser uma das principais fontes do aumento da complexidade química em nível molecular, ou seja, do aumento do número de átomos nas moléculas do MI. Nesse caso, o surgimento da vida em nosso planeta poderia ter acontecido a partir da interação e da combinação dessas moléculas orgânicas exógenas, as quais teriam sido trazidas

para a Terra por meio de objetos extraterrestres como, meteoritos e cometas [2]. Todo esse processo possui aspectos que envolvem relações entre a física, a química e a astronomia.

Atualmente, os estudos de processos físicos que ocorrem em nosso Sistema Solar a partir de cometas, asteroides, meteoroides e meteoritos têm se tornado um novo campo a ser explorado. Embora, os termos *meteoroides*,

**Com o avanço e desenvolvimento tecnológico é possível analisar processos evolutivos geológicos de planetas, como Marte, ou mesmo de luas distantes de nosso sistema planetário, como Europa, Titã e Io**

A astrogeologia é um campo de pesquisa recente e em desenvolvimento que se apresenta como uma área de conhecimentos multidisciplinares e com fortes relações com a física aplicada. Embora a geologia seja a área que procura entender a composição e a estrutura evolutiva da Terra, através das rochas, dos minerais e do vulcanismo, ela não está restrita a estudar apenas materiais de nosso planeta. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico é possível analisar processos evolutivos geológicos de outros planetas ou até mesmo de outras luas de nosso sistema planetário. Além disso, a astrogeologia tem auxiliado na busca por respostas relacionadas à possibilidade de a vida ter se formado a partir de matéria-prima oriunda do espaço. Essencialmente, esses estudos são direcionados aos diversos processos físicos que ocorrem em nosso Sistema Solar com objetos extraterrestres. De modo geral, a interação entre a radiação e as espécies químicas no meio interestelar, poderia desencadear reações químicas como a ionização, a síntese e a quebra de ligações entre moléculas de maneira a promover possíveis processos de recombinações moleculares. Assim, o entendimento de como a astrogeologia se relaciona com diversas áreas do conhecimento científico, dentre elas a física, pode contribuir com pistas de como alguns precursores de compostos químicos de interesse biológico poderiam ter se formado no meio interestelar.

*meteoro e meteorito* tenham a mesma raiz grega “meta”, a qual gerou ‘meteor(o)’ e serem o mesmo material astrofísico, existem certas diferenças e conceitos que os distinguem entre si. Essencialmente, temos que os *meteoroides* são corpos que se encontram no Universo, com tamanhos variados em torno de 10  $\mu\text{m}$  a alguns milhares de metros, e que circulam pelo meio interplanetário de forma a estarem suscetíveis a cair na Terra devido à ação da gravidade. Quando esses objetos celestes entram em nosso planeta, basicamente, provocam um fenômeno visual de rastros luminosos, o qual é associado à sua passagem através da atmosfera terrestre. Em geral, é mais fácil de observar esses clarões cruzando rapidamente e repentinamente o céu em cidades distantes, com baixa poluição luminosa, em praias ou em campos durante noites límpidas e sem luar. Esse fenômeno, popularmente conhecido como “estrela cadente”, na verdade, são os corpos celestes cientificamente denominados *meteoros*. Por fim, os meteoróides que conseguem “vencer” a atmosfera terrestre, por terem tamanho e resistência suficiente para sobreviver à queima como meteoro, e que caem sobre a superfície terrestre são chamados de *meteoritos*.

Dessa forma, os meteoritos são artefatos astrofísicos que podem ser provenientes de materiais ejetados de planetas, satélites ou de corpos celestes como meteoroides, asteroides e cometas. Porém, uma parte desses objetos é oriunda da nebulosa solar, de um material forjado no início da formação de nosso sistema solar. De acordo com Portugal, [3] quando realizamos observações e estudos astronômicos relacionados com esses diferentes corpos do sistema solar e fazemos a combinação com pesquisas laboratoriais através de amostras de meteoritos, é possível encontrar uma grande quantidade de moléculas orgânicas. Por definição, moléculas orgânicas possuem o Carbono (C) como elemento principal de sua formação estrutural e que segundo Lynn Margulis, em seu livro *O Que É Vida?*, é um dos elementos que constituem os seres orgânicos vivos em nosso planeta [4].

Desse modo, os estudos vinculados à astrogeologia têm buscado respostas sobre a possibilidade de a vida ter sido ou não originada de maneira exógena, ou seja, a partir de matéria-prima oriunda de fora da Terra [5]. Nessas hipóteses, supõe-se que as moléculas de aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, álcoois, nucleobases e açúcares, fundamentais para a química pré-biótica, teriam sido trazidas ao nosso planeta em seus 700 milhões de anos ini-

ciais por meio de impactos de cometas e meteoritos, dando início assim à vida na Terra [6].

É importante ressaltar que os maiores registros de aminoácidos extraterrestres que temos são provenientes de meteoritos. As evidências vêm, basicamente, de meteoritos como o Allende e o Murchison, pertencentes ao grupo de meteoritos denominados carbonáceos. De modo geral, os meteoritos pertencentes a esse grupo são caracterizados por possuírem o elemento carbono como um dos materiais que compõem a sua formação estrutural. O Allende, além de ter sua relevância científica por ser caracterizado como um meteorito carbonáceo, também é um meteorito extremamente importante devido a ser uma das rochas extraterrestres mais resistentes ao intemperismo do ambiente terrestre. O meteorito Murchison, por sua vez, possui mais de 50 tipos de moléculas orgânicas detectadas em sua formação química estrutural. Fundamentalmente, acredita-se que essas moléculas podem ter sido formadas por interações entre a radiação no meio interestelar e os átomos desses objetos. Assim, esses processos físicos desencadeariam reações químicas como a ionização, síntese de moléculas e também a quebra de ligações entre elas de maneira a promover possíveis processos de recombinações moleculares [7].

Os meteoritos marcianos são outro exemplo de objetos astrofísicos de extrema

relevância para pesquisas em astrogeologia. Atualmente, reconhecemos mais de 100 meteoritos marcianos, relacionados na forma de basaltos, rochas máficas e ígneas intrusivas [8]. Esses meteoritos oriundos do planeta vermelho fornecem informações relacionadas à possibilidade de saber se no presente ou no passado recente de Marte existiram condições de habitabilidade, em que a vida poderia ter se estabelecido [9]. Embora a maioria dos registros geológicos tenha sido destruída, assim como aconteceu na Terra, a evolução geológica da superfície marciana, suas

informações físicas e características químicas ainda podem ser estudadas através dos meteoritos marcianos por meio de técnicas experimentais em laboratórios [9-10].

Embora o meteorito marciano ALH 84001 ainda seja muito

controverso, o mesmo permanece sendo utilizado bastante como referência em pesquisas que buscam vestígios de informação biológica em meteoritos marcianos. Segundo McKay *et al.*, 1996, foram encontrados nesse meteorito marciano cristais de magnetita e estruturas semelhantes a microrganismos fossilizados, como ilustrado na Fig. 1. Um ponto extremamente intrigante nessa pesquisa é o fato de existirem microrganismos na Terra capazes de biomineralizar cristais de magnetita de maneira natural. Esses organismos são conhecidos como bactérias magnetotáticas [11-12].

**Supõe-se que as moléculas de aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, álcoois, nucleobases e açúcares teriam sido trazidas ao nosso planeta em seus 700 milhões de anos iniciais por meio de impactos de cometas e meteoritos, dando início assim à vida na Terra**

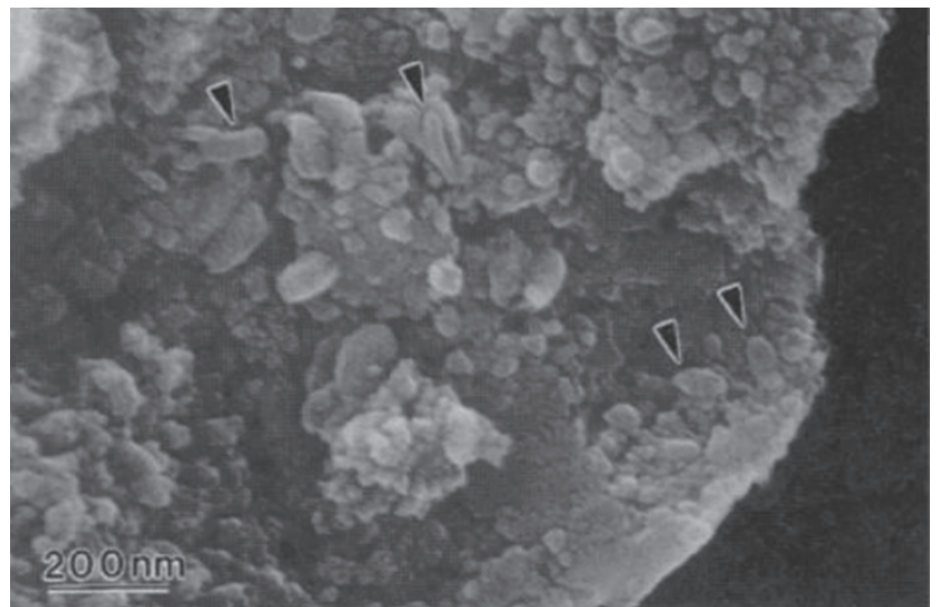


Figura 1: Imagem de microscopia eletrônica com indicações de possível presença de magnetita e bactérias magnetotáticas. Fonte: McKay *et al.* (1996).

Outro estudo com meteorito marciano foi desenvolvido recentemente por pesquisadores brasileiros da UERJ e da UFRJ. Basicamente, no artigo dessa pesquisa foi apresentada uma imagem de microtomografia de raios X em que uma estrutura de formato extremamente peculiar encontra-se incrustada no meteorito marciano NWA 6963 (Fig. 2). De acordo com Nascimento-Dias *et al.*, 2017, é possível que essa estrutura contenha informações relacionadas às condições de habitabilidade que poderiam ter existido no passado de Marte, pois esse material poderia ser feito de *calcita*, que na Terra tem origens biológicas ou químicas. No caso biológico, esse material poderia ser vestígio de material fossilizado de microrganismos [14]. A outra possibilidade é que esse material tenha se formado quimicamente, e isso somente aconteceria em um ambiente em que houvesse água. Nesse segundo caso, pelo fato da necessidade de água para a produção desse material, também podemos pensar na possibilidade de que em algum momento houve vida ou um ambiente propício em Marte, sustentado por essa água. Além disso, é possível que essa água do passado do planeta vermelho possa ainda se encontrar abaixo da superfície marciana, pois o material analisado é um meteorito que possui apenas alguns milhões de anos, algo extremamente recente na escala astronômica.

### A relação entre algumas áreas da física e a astrogeologia

Já é bem estabelecido pelos estudos da astrogeologia e das ciências planetárias que mediante grandes colisões de asteroides ou cometas, fragmentos de planetas como, por exemplo, Marte podem ter sido ejetados de suas superfícies. Contudo, ainda se encontra em aberto a questão de

essas rochas poderem abrigar algum tipo de vida que pudesse sobreviver a uma viagem interplanetária. Para isso, esse organismo precisaria ser obrigatoriamente capaz de resistir a fatores extremos como as altas taxas de radiação e as baixas temperaturas do meio interplanetário, além das altas temperaturas de reentrada e diversos outros fatores aos quais ficariam expostos durante a viagem.

Para tentar identificar a possibilidade de isso realmente acontecer são realizadas pesquisas em áreas como a geologia e a físico-química. Atualmente, por exemplo, existem estudos relacionados à realização de simulações e estudos experimentais sobre formação e destruição de moléculas orgânicas no meio interestelar. Esses estudos buscam entender como essas moléculas adsorvidas ou retidas em cometas, asteroides ou meteoroides se comportam após ficarem expostos a períodos de tempo compatíveis a uma viagem interplanetária ou estelar. Também existem pesquisas feitas por físicos, biólogos e astrônomos com bactérias que são submetidas a vácuo, radiação solar, raios cósmicos e flutuações de temperatura. Em geral, o intuito dessas experiências é testar a resistência desses microrganismos a uma hipotética viagem interplanetária [15]. Dentre essas experiências é possível elencar o experimento PROTECT realizado durante a missão EXPOSE-E a bordo da Estação Espacial Internacional, em que os esporos de *Bacillus subtilis* 168 e *Bacillus pumilus* SAFR-032 foram expostos durante 1,5

**No meteorito marciano NWA 6963 é possível relacionar informações das condições de habitabilidade que poderiam ter existido no passado de Marte, pois esse material poderia ser feito de *calcita*, que na Terra tem origens biológicas ou química. No caso biológico, esse material poderia ser vestígio de material fossilizado de microrganismos**

anos [16]. Essas bactérias formadoras de esporos foram escolhidas por serem bastante resistentes e poderem suportar certos procedimentos de esterilização, bem como os ambientes agressivos do espaço exterior ou de superfícies planetárias [17]. Assim, esse tipo de pesquisa visa estudar a possibilidade de sobrevivência de microrganismos em ambientes extremos, ou seja, ambientes que seriam completamente hostis à vida humana, tal como a conhecemos.

De acordo com Portugal, as moléculas orgânicas também podem ser encontradas em cometas. Esses objetos são pequenos e frágeis em relação aos grandes asteroides e possuem formas diversificadas e irregulares. Em geral, os cometas são caracterizados pelos astrônomos, atualmente, como objetos que possuem uma coma, que é um tipo de material difuso semelhante a uma “cauda” que cresce, aumentando de tamanho e brilho, à medida que se aproxima de uma estrela. Esses objetos são compostos em sua maior parte de gelo de diversos elementos químicos, que ao se encontrar longe da estrela perde a “cauda”, de modo a permanecer apenas o seu núcleo sólido. Os núcleos cometários podem variar em tamanho, de algumas centenas de metros até dezenas de quilômetros.

Esses viajantes extraterrestres são ricos em material orgânico e água, que são fatores importantíssimos na Terra e constituintes imprescindíveis na composição dos organismos vivos de nosso planeta [18]. Outro fator interessante é que nesses objetos são trazidas moléculas de carbono que, ao interagirem com a radiação no meio interestelar, podem estar formando os blocos fundamentais para a formação da vida, tais como os aminoácidos e açúcares, de modo a serem a base de formação de moléculas mais complexas.

Segundo Portugal, com a aparição dos cometas Hyakutake e Hale-Bopp houve a possibilidade da coleta de informações de diversas espécies químicas, trazendo um conhecimento ainda maior em relação à composição química dos cometas. Além disso, com essas informações é possível estudar as conexões entre esses corpos e a complexificação em nível molecular. Ainda segundo Portugal, já foram detectadas nos cometas algumas moléculas pré-bióticas importantes tais como  $H_2O$ , dióxido de carbono ( $CO_2$ ), formaldeído

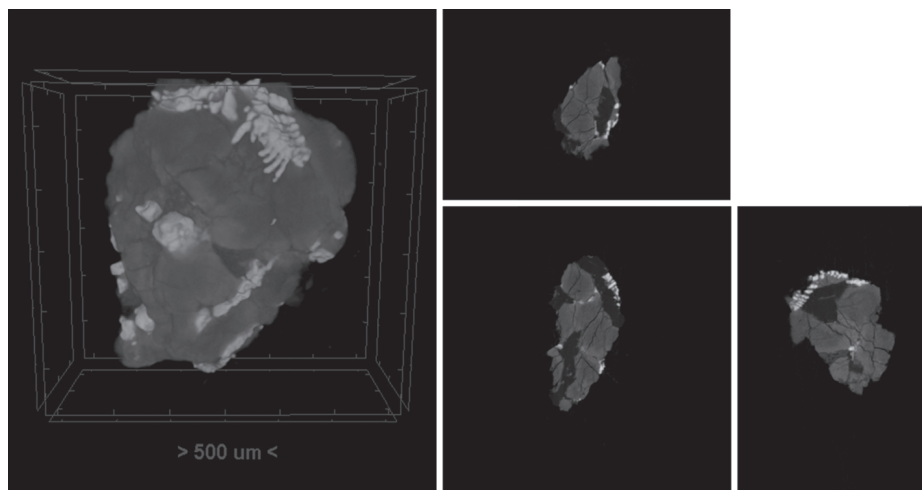


Figura 2: Imagem de microtomografia de raios X obtida do meteorito marciano NWA 6963. Fonte: Nascimento-Dias *et al.* (2017).



(H<sub>2</sub>CO), amônia (NH<sub>3</sub>), cianeto de hidrogênio (HCN), acetonitrila (CH<sub>3</sub>CN), ácido isocianico (HNCO) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), além de moléculas mais complexas, como acetaldeído (CH<sub>3</sub>CHO), formato de metilo (HCOOCH<sub>3</sub>), e formamida (NH<sub>2</sub>CHO) [19].

### Discussão e conclusão

O intuito principal deste trabalho é divulgar um campo pesquisa recente e em desenvolvimento, a astrogeologia, que se apresenta como uma área de conhecimentos multidisciplinares. É

possível notar que as pesquisas feitas na área de Astrogeologia possuem forte relação com outras áreas do conhecimento científico, tais como a biologia, química e física. Desse modo, a astrogeologia pode contribuir com o desenvolvimento do conhecimento científico de maneira bastante abrangente. De modo geral, através dos meteoritos é possível realizar pesquisas relacionadas à origem da vida na Terra, a possível existência de vida em Marte ou do passado do planeta vermelho, de modo a averiguar se em algum momento em sua história houve

condições de habitabilidade. Além disso, é possível realizar testes de sobrevivência de microrganismos que poderiam eventualmente estar presentes em meteoritos de modo a examinar sua resistência a viagens pelo espaço. Outra questão que pode ser estudada pela astrogeologia é se esses meteoritos podem conter pistas que tenham relação com nossas origens, sendo isso uma pesquisa multidisciplinar (química, física e geologia) através de seus registros químicos, por meio de comparação entre isótopos presentes nesses objetos extraterrestres e seus equivalentes na Terra.

### Referências

- [1] B.T. Indurmuehle, M.G. Burton and S.T. Maddison, *PASA* **22**, 73 (2005).
- [2] C. Chyba and C. Sagan, *Nature* **355**, 125 (1992).
- [3] W. Portugal, *Radiólise da Molécula de Glicina Empregando Íons Pesados em Ambientes Astrofísicos Simulados: Implicações em Astroquímica e Astrobiologia*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Paraíba, São Paulo, 2013.
- [4] L. Margulis and D. Sagan, *O Que É Vida?* (Zahar, Rio de Janeiro, 2002).
- [5] C.F. Chyba, P.J. Thomas, P.J. Brookshaw, and C. Sagan, *Science* **249**(4967), 366 (1990).
- [6] D.A.M. Zaia, *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas* **25**, 3 (2004).
- [7] A. Damineli, *Revista USP* **62**, 38 (2004).
- [8] F.M. McCubbin and R.H. Jones, *Elements* **11**, 183 (2015).
- [9] E.K. Gibson, D.S. McKay, K.L. Thomas-Keprta, S.J. Wentworth, F. Westfall, A. Steele, C.S. Romanek, M.S. Bell and J. Toporski, *Precambrian Research* **106**, 15 (2001).
- [10] F. Nimmo and K. Tanaka, *Earth planet Sci.* **33**, 133 (2004).
- [11] D.S. Mackay, E.K. Gibson Jr., K.L. Thomas-Keprta, H. Vali, C.S. Romanek, S.J. Clemett, X.D.F. Chillier, C.R. Maechling and Richard N. Zare, *Science* **273**, 924 (1996).
- [12] K.L. Thomas-Keprta, S.J. Clemett, D.A. Bazylinski, J.L. Kirschvink, D.S. McKay, S.J. Wentworth and C.S. Romanek, *Applied and Environmental Microbiology* **68**, 3663 (2002).
- [13] B.L. Nascimento-Dias, D.F. Oliveira, A.S. Machado, O.M.O. Araújo, R.T. Lopes and Ma.J. Anjos, *X-Ray Spectrometry* **47**, 86 (2018).
- [14] J.I. da Silva Faria, *Rochas Sedimentares Biogênicas: O Papel do Jogo na Aprendizagem Científica*. Relatório de Estágio (2016), disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/92129?mode=full>.
- [15] M. Wassmann, R. Moeller, E. Rabbow, C. Panitz, G. Horneck, G. Reitz, T. Douki, J. Cadet, H. Stan-Lotter, C.S. Cockell and P. Rettberg, *Astrobiology* **12**, 498 (2012).
- [16] E. Rabbow, P. Rettberg, S. Barczyk, M. Bohmeier, A. Parpart, C. Panitz, G. Horneck, R. von Heise-Rotenburg, T. Hoppenbrouwers, R. Willnecker, *et al.*, *Astrobiology* **12**, 374 (2012).
- [17] G. Horneck, R. Moeller, J. Cadet, T. Douki, R.L. Mancinelli, Wa.L. Nicholson, C. Panitz, E. Rabbow, P. Rettberg, A. Spry, *et al.*, *Astrobiology* **12**, 445 (2012).
- [18] J. Llorca, *Int. Microbiol.* **7**, 239 (2004).
- [19] L.E. Orgel, *As Origens da Vida: Moléculas e Seleção Natural* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1988).