



Vida no
universo:
uma busca do
século XXI

P

POR QUE O ESTUDO DA VIDA É IMPORTANTE NO CONTEXTO ASTRONÔMICO?

Por que usar o telescópio num tema que até agora foi abordado com o microscópio? A vida é tida por grande parte das pessoas como um milagre, um dom divino, um evento único ou raro. Essa idéia é reforçada pelo fato de que só a conhecemos na Terra. Mas a ausência de evidência seria evidência de ausência? Ou falta de estudos adequados? Num cenário materialista, ao contrário, a vida seria abundante no universo. Nos últimos quinhentos anos, descobriu-se que nosso planeta é apenas um das dezenas de corpos planetários em torno do Sol, que por sua vez não é mais que uma dentre centenas de bilhões de estrelas da Via Láctea, que é apenas uma dentre centenas de bilhões de galáxias dentro do nosso raio de visibilidade do universo. Dado o longo tempo de existência do universo, haveria condições para a existência de vida, como a conhecemos, em inúmeros outros lugares, se ela for produzida por processos naturais, quaisquer que sejam eles. Isso é uma hipótese de trabalho animadora para a ciência, embora a probabilidade não seja prova de nada.

A constatação de que a vida existe em algum outro lugar que não a Terra, ou de que ela não existe em nenhum planeta conhecido com condições favoráveis (desde que se conheçam muitos), dará às pessoas bases mais sólidas para se posicionar em relação às duas alternativas expostas acima: causa natural ou milagre. Uma resposta positiva ou negativa sobre essa questão terá um profundo im-

AUGUSTO DAMINELI
é professor do IAG-USP e
membro do Comitê Diretor
dos Telescópios Gemini.

Quero agradecer a leitura atenta e as críticas feitas por Denise Selivon e Daniel S. C. Daminieli sobre assuntos de biologia. Dado que remontei suas sugestões, a responsabilidade pelas afirmações no texto deve ser debitada a mim.

pacto sobre o pensamento humano. As concepções criacionistas vêm sofrendo reveses constantes desde a revolução copernicana. A origem da vida é um dos poucos assuntos em que ainda não houve um embate definitivo entre criacionismo e evolucionismo. O fato de muitos cientistas usarem termos como “o milagre da vida” mostra o quanto este tema continua numa zona confusa entre as duas perspectivas.

A descoberta de vida fora da Terra abriria horizontes para a formulação de uma teoria geral sobre a vida. O carbono teria papel fundamental em todos os casos? Existiriam formas alternativas de obter energia? Ela seria sempre baseada em DNA/RNA? Os aminoácidos seriam sempre levógiros? Os açúcares seriam sempre dextrógiros? A evolução produziria seres sexuados, multicelulares, animais ou plantas em condições diferentes daqui? O ritmo da evolução poderia ser mais lento ou mais rápido? Isso é impossível de responder quando se conhece um caso único como o da Terra. No caso da física, por exemplo, a multiplicidade de movimentos no espaço e na Terra, a estrutura de átomos e dos astros, o comportamento dos vários estados da matéria são deduzidos a partir de um pequeno número de princípios fundamentais. Mais que isso, a física pode prever o comportamento da matéria/energia em situações ainda desconhecidas e em tempos muitos distantes do atual. Isso foi conseguido estudando como cada parâmetro varia em função de outros, analisando um grande número de casos. Talvez seja uma ilusão querer conhecer as propriedades da matéria viva como a física (e ciências afins) faz com a matéria inanimada. Entretanto, o poder de síntese e previsão de uma teoria geral é tão grande que vale a pena tentar. Quem sabe a vida entre como parte da Teoria de Tudo que a física está buscando?

A relevância do contexto astronômico está também no fato de que a origem da vida na Terra se confunde com a própria formação do planeta. Exemplares fósseis existem apenas depois de ~400 milhões de anos (m. a.) que a vida já estava completamente estabelecida na Terra. A estrutura

do DNA dessas algas de 3,5 bilhões de anos (b. a.) era muito parecida com a nossa, indicando um histórico evolutivo delas até nós. As diferenças são muito pequenas, comparadas à diferença entre qualquer molécula de DNA e moléculas abióticas anteriores à vida. E esse imenso passo evolutivo aconteceu num intervalo de tempo de apenas ~ 100 m. a. Nos primeiros 700 m. a. depois de formada, a Terra foi atingida por cerca de meia dúzia de eventos esterilizantes (impactos de grandes asteróides). A origem da vida e sua organização em forma celular envolveram processos tão ou mais complexos do que nos bilhões de anos que se seguiram. O fato de que a Terra tenha oferecido condições favoráveis a esses processos iniciais ultracomplexos ao longo de apenas ~ 100 m. a. é uma das bases da hipótese de que ela tenha vindo de fora. A idéia de origem da vida fora da Terra (panspermia ou transpermia, como veremos adiante) tem desenvolvido argumentos de peso, embora com poucos adeptos. Os fósseis, tão eloqüentes sobre os desdobramentos da vida mais complexa, nada podem dizer sobre as fases primordiais, que envolvem a própria formação da vida. A Terra devorou para sempre as rochas mais velhas. Mas, se por um lado a rocha transporta as informações através do tempo, a luz as transporta através do espaço. Olhando para longe, podemos ver a formação de outros planetas e assim rever processos que aconteceram no nosso. Os casos não são idênticos, mas são tantos que muitos são bem próximos ao nosso e isso é suficiente para determinar a importância da água, da poeira e de diversos elementos químicos como o carbono, o nitrogênio, etc. É muito fácil detectar um sistema protoplanetário, pelo menos muito mais fácil que detectar um planeta em torno de outra estrela pelo fato de a matéria estar espalhada em um imenso disco que reflete a luz da estrela hospedeira. A observação de centenas de sistemas protoplanetários indica que a teoria atual da origem do sistema solar é bastante sólida e podemos usá-la para delimitar as condições físicas reinantes no início do nosso planeta.

A descoberta de aminoácidos em meteoritos, incluindo todos os que são usados pelos seres vivos e dezenas a mais, reforça a importância do contexto astronômico para o estudo da vida. Na verdade, não podemos descartar a hipótese de que ela tenha se originado fora da Terra e aqui aportado já pronta ou quase pronta. O local e o material que formou nosso planeta eram extremamente hostis à vida. A essa distância do Sol (150 milhões km = 1 unidade astronômica = 1 UA), a poeira era seca, não existia água nem compostos biogênicos (amônia, metano e moléculas de carbono em geral). Eles só eram abundantes a partir de 5 UA de distância do Sol (= órbita de Júpiter), onde a temperatura era mais baixa. Quando Júpiter se formou (70 m. a. depois do início do sistema solar) sua gravidade começou a espalhar para todos os lados os cometas que restavam em suas proximidades. Muitos deles caíram sobre a Terra, trazendo para cá a água e moléculas orgânicas. A água que bebemos hoje veio de bem mais longe que as nuvens de nossa atmosfera. É possível que os aminoácidos que deram origem à vida tenham vindo para cá prontos. O experimento de Miller (1953), que os gerou em laboratório pela primeira vez, reproduzia a composição química que Urey supunha existir na atmosfera primitiva da Terra, mas que na realidade era a de planetas gasosos, como Júpiter, Saturno, Urano ou Netuno (alta abundância de hidrogênio, amônia e metano). Esse tipo de atmosfera é completamente diferente da dos planetas rochosos, como a Terra, Vênus ou Marte (com alta abundância de dióxido de carbono e nitrogênio e sem hidrogênio). A existência de uma atmosfera redutora, rica em hidrogênio (H), foi um fator fundamental para o sucesso do experimento de Miller. Até hoje não se conseguiu produzir aminoácidos em atmosferas neutras como a da Terra primitiva em quantidades significativas. Por outro lado, alguns meteoritos carbonáceos, como o que caiu em Murchison (Austrália, 1969), contêm aminoácidos predominantemente levógiros, como os usados por seres vivos. A glicina já foi detectada em nuvens de gás interestelar, além de açúcares, alcoóis e outros compos-

tos orgânicos. O que parece tão difícil para a Terra abiótica acontece facilmente no céu. O bombardeamento meteorítico trouxe para cá bastantes aminoácidos, e esse pode ter sido o material do qual a vida se originou. É mesmo possível que a vida tenha sido destruída e recomeçada diversas vezes ainda quando a Terra não estava completamente formada. Nos primeiros 400 m. a., ocorriam impactos de meteoros tão grandes a ponto de evaporar os oceanos e esterilizar a vida na Terra. Existem indicações de que a vida já estava plenamente instalada de forma perene logo após essa fase. Uma evidência é que há 3,8-3,9 b. a. já havia ampla atividade fotossintética. Essa parece ser uma estratégia relativamente tardia de obter energia pelos seres vivos (autotrofismo) e portanto requereria estágios anteriores. Outro sinal indireto que aparece é a eficiência de ^{13}C em rochas de 3,86 b. a. (Ishua – Groenlândia), um processo que, até onde se sabe, só pode ocorrer através de atividade biológica. É impressionante como a vida apareceu tão depressa, tão cedo e foi tão resistente às catástrofes não só iniciais como ao longo de toda a história evolutiva. Parece que as catástrofes têm um papel ambivalente para a vida.

A vida parece uma verdadeira praga. Mais que isso, ela pode ser muito velha, ter começado em outros lugares muito antes que no sistema solar. Uma indicação disso é que moléculas tão complexas como aminoácidos tiveram tempo de se formar nas nuvens interestelares, um meio hostil à atividade química. Imagine então a quantidade de moléculas complexas que podem ter se formado em meios mais densos e quentes como os planetas nesse mesmo intervalo de tempo.

O QUANTO NOSSO UNIVERSO É BIÓFILO?

A vida, tal qual a conhecemos, é muito pouco exigente. Como apontado por Oparin (1924), ela só precisa de energia e átomos

muito fáceis de encontrar. 99,9% dos sistemas vivos são compostos pelos átomos C, H, O, N e o restante 0,1% por P, S e traços de outros elementos com Ca, Fe, etc. Isso parece incrível quando pensamos nos bilhões de átomos que compõem a molécula do DNA, das proteínas, dos aminoácidos, etc. Os átomos CHON estão entre os cinco mais abundantes do universo. Energia é o que não falta nas proximidades das estrelas que somam centenas de bilhões numa galáxia típica. A intrincada rede de ligações químicas pode exigir tempo, mas isso também não é problema. A maioria dos astros e esses quatro átomos em especial são muito velhos.

Segundo a teoria do big-bang, dominante na astronomia há mais de meio século, o H foi formado antes que o universo completasse 1 segundo de vida, há 13,7 b. a., quando era o único elemento químico da tabela periódica. Chegou a haver um curto episódio de fusão nuclear, que se ateve à fusão do H em He e traços de Li, Be e Bo. O universo se expandiu e resfriou rapidamente, de modo que, quando tinha 380 mil anos, a matéria estava tão fria que passou de plasma ao estado neutro, terminando o domínio da luz. A gravidade passou então a dominar, compactando as tênues nuvens de gás em estrelas. A compressão gravitacional aqueceu o interior estelar a dezenas de milhões e até bilhões de graus, retomando a fusão dos núcleos atômicos. A primeira geração de estrelas, nascida quando o universo tinha 200 m. a., foi de longe a mais prolífica. As de maior massa começaram a explodir logo a seguir, enchendo a galáxia de oxigênio (O), além de alguns outros átomos, mas em número bem menor. Esses átomos oxidantes de oxigênio entraram em nuvens de H, que é redutor, produzindo água. Isso fez da água uma substância muito velha e muito abundante nas galáxias. Um bilhão de anos mais tarde começaram a morrer estrelas menores, cerca de 5 vezes mais “pesadas” que o Sol. Elas ejetaram principalmente o nitrogênio (N). Depois delas, outras estrelas contribuíram com o carbono (C), o ferro (Fe), etc., de modo que, com a idade de 2 b. a., o universo já tinha completado a tabela periódica.

Mapear quantos átomos de cada tipo foram sendo acumulados no decorrer do tempo não é um problema muito complicado para os astrônomos. Recensear as substâncias e compostos químicos que eles formaram é um problema muito maior. Isso porque grande parte desse material está escondido em planetas, cuja composição só é conhecida no sistema solar. O diagnóstico é muito mais fácil de ser feito para a matéria em forma gasosa que está dispersa no meio interestelar. Nessas nuvens foram detectadas quase uma centena de espécies moleculares, a maior parte delas compostas de carbono: açúcares, alcoóis, acetileno, buckyball (ou fulereno, com 60 átomos de carbono) e até aminoácidos, como a glicina. A detecção de sinais de aminoácidos mais complexos é mais difícil. A existência desses compostos atesta que os átomos de que são feitos estão presentes na galáxia muito antes da formação do sistema solar. Um átomo de uma nuvem interestelar vive em extrema solidão cósmica, demorando milhões de anos para colidir com outro. Eles irão se ligar só se o átomo colisor tiver a valência química certa e chegar com velocidade nem muito pequena nem muito grande. Isso equivale a dizer que a taxa de reações químicas é muito baixa, de modo que mesmo uma molécula simples leva muito tempo para ser formada. É surpreendente que nesses 12,5 b. a. as nuvens interestelares tenham produzido aminoácidos. Não se espera, entretanto, que as nuvens tenham chegado a fabricar DNA ou a vida. Os planetas formados em torno das primeiras estrelas seriam os lugares certos para isso. Eles têm densidades 1 bilhão de bilhão de vezes maiores que o meio interestelar e temperaturas dezenas a centenas de vezes maiores. Dado que a taxa de reações químicas cresce dez vezes quando dobra a temperatura, a densidade constante, é fácil concluir que ocorrem muito mais reações químicas num planeta em um minuto que no meio interestelar num milhão de anos. Os planetas são o reino da química e, portanto, é plausível que sejam também da vida. Eles são muito mais numerosos que as estrelas e existem há tanto tempo

quanto elas, de modo que a expectativa é grande de que a vida esteja amplamente difundida na galáxia. Ainda mais, ela pode ser 2-3 vezes mais velha em torno de outras estrelas que do Sol. Imagine a riqueza de processos químicos e eventualmente biológicos que se acumularam nesse tempo em torno desses outros sóis. As estrelas dos braços espirais da galáxia têm elementos químicos pesados, mas são relativamente recentes, e as do halo (volume esférico que engloba a galáxia) são velhas, mas muito pobres em elementos pesados para serem atrativas para a procura de vida. As estrelas do bojo (parte esférica central da galáxia), por outro lado, combinam a velhice com elementos químicos evoluídos. Essa subestrutura da galáxia contém várias dezenas de bilhões de estrelas.

Uma discussão análoga permite avaliar as perspectivas de vida em galáxias de tipos diferentes da Via Láctea. As galáxias elípticas têm estrelas velhas e as irregulares são recentes, de modo que as elípticas são mais promissoras que estas para a vida. O mesmo pode ser feito para outros possíveis universos. Um universo com expansão muito rápida dificulta a formação estelar e seria bióforo, enquanto outro mais denso, com expansão mais lenta, seria biófilo, se não colapsar muito depressa. É claro que um universo só pode ser conhecido se ele for biófilo, pois ele precisa conter seres que o observem. O nosso obviamente faz parte dessa classe e isso implica que seus parâmetros físicos estejam dentro de um conjunto limitado. Não é possível caracterizar que conjunto é esse, pois nem ao menos conseguimos definir o que é vida ou inteligência.

Os argumentos que apresentamos, de probabilidade de existência de vida como a conhecemos, só levaram em conta os fatores necessários para a vida, que são do tipo “*hardware*” (elementos químicos e energia). A vida é um estado da matéria que contém também um “*software*” de reprodução. O RNA/DNA é uma molécula cujo “*script*” controla a articulação conjunta de bilhões de átomos, não é apenas uma molécula maior que as outras. É inconcebível

que isso apareça como um acaso de eventos aleatórios, tanto que não existem outros exemplos de moléculas de complexidade intermediária. Esse problema necessita ferramentas conceituais que ainda não existem. Embora nossa ignorância sobre isso deixe a sensação de que o surgimento da vida seja um fato extremamente raro no universo, a extrema rapidez de seu aparecimento na Terra indica o contrário, mesmo que ela tenha vindo de Marte.

A VIDA COMO CONHECEMOS NA TERRA: UM PONTO DE PARTIDA

A luz de um planeta do sistema solar quando passada através de um espectrógrafo mostra um espectro luminoso dominado pela luz refletida do Sol. Uma análise mais cuidadosa mostra bandas moleculares fracas, produzidas na atmosfera. A atmosfera dos planetas gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) tem bastante amônia (NH_3) e metano (CH_4), além de água (H_2O). Os planetas terrestres (rochosos como a Terra) têm atmosferas com dióxido de carbono (CO_2), N_2 , e H_2O . A Terra é o único planeta rochoso que tem ozônio (O_3) e metano na atmosfera. Essas duas substâncias são continuamente destruídas pela radiação ultravioleta (UV) solar, de modo que, para serem observadas, devem estar sendo constantemente repostas. Num planeta rochoso a reposição é feita a partir de reservatórios internos. Na Terra, o O_3 é formado a partir do O_2 liberado pela fotossíntese. Num planeta rochoso, ela é a assinatura inequívoca da existência de seres fotossintetizantes. O CH_4 é liberado pela digestão, em aterros sanitários e material orgânico em decomposição, sendo uma assinatura da existência de animais e/ou bactérias anaeróbicas em planetas rochosos como o nosso.

Há cerca de 3,5 b. a., a fonte de energia da vida já obtinha energia por autotrofismo fotossintético. O oxigênio era consumido localmente nos oceanos em reações de oxi-

dação. Prova disso são as grandes formações de camadas de ferro (BIFs) que se encontram nos oceanos, com idades entre 3,5 e 2 b. a. Pouco era o oxigênio que subia para a atmosfera. Há cerca de 2,2 b. a., após passar por um evento de glaciação (Terra-bola-de-neve) a concentração de oxigênio na atmosfera aumentou 10 vezes, indicando que houve uma expansão súbita de atividade fotossintética. Os organismos aeróbicos foram privilegiados à custa dos anaeróbicos. Há cerca de 600 m. a. tudo indica que ocorreu outro evento Terra-bola-de-neve, aumentando a concentração de oxigênio de novo por outro fator 10. Após essa catástrofe, houve uma explosão de novas formas de vida. Outra catástrofe, há 65 m. a. – agora provavelmente a queda de um meteoro –, eliminou muitas espécies, entre elas os dinossauros. Isso abriu espaço para os mamíferos, que então eram minúsculos, que se desdobraram em baleias, primatas, seres humanos, etc.

As catástrofes parecem exercer uma grande pressão para a diversificação das espécies. Hoje a vida na Terra ocupa a maioria dos nichos entre +120°C e -80°C, meios extremamente ácidos e alcalinos, do fundo das rochas a 1.500 m de profundidade ao ar rarefeito das mais altas montanhas. Em tempos tão longos, até espécies e organizações complexas como colônias de abelhas, formigueiros e cidades se formaram. Essa diversidade parece estar intimamente relacionada com um certo ritmo de catástrofes entremeadas por períodos dominados por evolução mais lenta. Embora nesses períodos intercatástrofes também ocorram eventos rápidos de evolução e os ritmos sejam bastante diversificados. A existência de animais complexos como mamíferos, entretanto, requer uma faixa estreita de temperaturas, entre 0 e 50°C. Na Terra, essas condições são asseguradas por um termostato que controla o efeito estufa: a deriva dos continentes. O CO₂ expelido pelos vulcões é dissolvido no mar, transformado em rochas calcáreas que são carregadas para baixo das placas continentais. Ali são dissolvidas no magma, liberando de novo o CO₂ através dos vulcões. Quan-

do se acumula muito CO₂ na atmosfera, o efeito estufa aumenta, aumentando a temperatura da água do mar, que por sua vez aumenta a dissolução do CO₂, reduzindo o efeito estufa. Esse ciclo não existe em Vênus ou Marte. O efeito estufa descontrolado em Vênus e insuficiente em Marte resulta em climas hostis para a vida nesses planetas. Os “animais superiores” exigem faixas estreitas de temperaturas e concentrações de CO₂ menores que 10 milibares de pressão, de modo que é difícil imaginar sua existência num planeta sem um controle termostático como o da Terra. As formas mais elementares de vida, por outro lado, toleram faixas muito mais amplas de condições ambientais. Nos eventos de extinção, eles são preservados e voltam a proliferar mais facilmente que os seres multicelulares. Mesmo nas condições amenas da Terra atual, os micróbios somam a maior massa de seres vivos. São eles que contribuem com a maior parte dos sinais mais característicos de vida na atmosfera terrestre (CH₄ e O₃) e é isso que será procurado em planetas rochosos em torno de outras estrelas.

A irmandade cósmica que procuraremos não será de ETs, como os humanóides figurados no cinema e literatura, mas a de micróbios. Não queremos negar que possam existir seres inteligentes fora da Terra ou mesmo civilizações tecnológicas. O grande número de lugares com condições e histórias semelhante à da Terra sugere que eles poderiam existir. Entretanto, o “grande silêncio”, como apontado por Fermi há mais de meio século, deixa dúvidas sérias quanto à existência de civilizações tecnológicas na Via Láctea. Por que não somos contactados por civilizações extraterrestres? Cálculos probabilísticos simples mostram que, se tivesse surgido uma civilização como a nossa em qualquer lugar da Via Láctea há algumas dezenas de milhões de anos, ela já teria colonizado toda a galáxia. Se adotarmos um princípio antigeocêntrico e levarmos em conta os dados da evolução química da Via Láctea, isso poderia ter acontecido muito antes do que aqui e em muitos lugares. Existem diversos argumentos que procuram defender a exis-

tência de civilizações tecnológicas contra a falta de contatos, mas que podem ser rebatidos com relativa facilidade, ou, no mínimo, chega-se a um ponto de indefinição. É até possível que a inteligência não seja tão rara na galáxia, mas civilizações tecnológicas talvez sejam. A tecnologia exige habilidade corporal combinada com inteligência. Esses dois fatores não necessariamente estão associados. A procura de sinais inteligentes, até agora, tem sido feita de modo totalmente empírico. Não que o empirismo não possa levar a descobertas, mas nesse caso a probabilidade de sucesso em tempos curtos é muito baixa, dada a enorme quantidade de situações possíveis. Basta multiplicar o número de alvos (estrelas) pelo número de frequências eletromagnéticas em que os sinais podem estar sendo enviados pelo número de horas que um alvo deve ser pesquisado para ver que as chances de sucesso são muito pequenas para atrair pesquisadores e recursos. Fora todas as incertezas sobre qual seria a estrutura de um sinal inteligente, em contraposição a um sinal de causas naturais, qual o veículo emissor, se sonoro ou eletromagnético e assim por diante. Os projetos SETI (busca de sinais inteligentes) têm recebido alguns fundos privados que permitiram um elevado desenvolvimento na tecnologia de processamento de sinais rádio. Entretanto, as limitações conceituais continuam sendo o maior entrave para o avanço dessa área.

EXISTE VIDA EM ALGUM PLANETA CONHECIDO OU EM ALGUM DE SEUS SATÉLITES?

Os planetas gasosos do sistema solar possuem grossas camadas convectivas que circulam o gás do topo da atmosfera, onde a temperatura é da ordem de -200°C até profundidades onde atinge milhares de graus, sendo bastante hostil à vida. Embora não se possa excluir a possibilidade de vida em camadas intermediárias, a existência de inú-

meras moléculas orgânicas de origem abiótica, como o metano, não os torna atraídos para uma busca inicial. Hoje são conhecidos mais de uma centena de planetas em torno de outras estrelas vizinhas, todos gigantes gasosos como Júpiter, ou maiores que ele, interessantíssimos para planetologia, embora irrelevantes para a procura de vida.

Ainda não houve uma procura exaustiva de vida nem mesmo no sistema solar. Marte é o planeta que apresenta melhores chances. Ela começou a ser buscada por naves robóticas no início dos anos 80 (projeto Viking) e neste momento lá estão dois robôs e duas naves orbitais continuando esses esforços e muitos outros serão enviados nos próximos anos. Nada foi encontrado até agora, mas as buscas podem não ter sido feitas nos lugares certos. Mesmo aqui na Terra, debaixo de nossos narizes, passou-se um século entre a sugestão de Darwin e a efetiva descoberta de fósseis pré-cambrianos. A janela de biogênese na Terra se deu entre o aparecimento da vida $\sim 3,8$ b. a. atrás e o aparecimento de condições ambientais adequadas, varrendo um intervalo de ~ 100 m. a. Antes de 4 b. a. atrás a crosta (camada de 1 km de profundidade) era quente demais ($>120^{\circ}\text{C}$) e antes de 3,9 b. a. havia impactos meteóricos esterilizantes. Em Marte, há 4,3 b. a. a crosta já havia esfriado o suficiente e até 3,6 b. a. a temperatura atmosférica se manteve adequada à vida. A atmosfera fina, os mares rasos e a taxa menor de queda de meteoros permitiam perda rápida de calor, não havendo catástrofes esterilizantes globais. A janela de biogênese em Marte foi de ~ 700 m. a. Se a vida começou lá, ela poderia ter sido transportada para cá através de rochas arrancadas em impactos meteóricos, a chamada transpermia. A troca de material por transpermia diminuiu muito quando consideramos planetas mais distantes ou sistemas extra-solares. Os meteoros interessantes para a vida são os suficientemente pequenos para não ultrapassarem 100°C no impacto. Em 4,4 b. a., caíram 4 bilhões de toneladas de meteoritos marcianos com essas características. Da Terra para Marte o transporte de meteoros foi menor. Até

hoje, rochas de origem marciana continuam caindo na Terra e da Terra em Marte. O tempo de voo de uma rocha entre esses dois planetas pode ser tão curto quanto semanas, enquanto um micróbio poderia se manter em seu interior em estado dormente por até ~ 1 m. a. Se for encontrada vida (ou fósseis) em Marte, a discussão seguinte será se a biogênese foi única ou se houve dois eventos separados. Em termos probabilísticos, a Terra teve maior chance de ser contaminada e não podemos descartar a hipótese de que somos marcianos.

Marte vem perdendo sua atmosfera muito mais rapidamente que a Terra, por causa de sua gravidade mais baixa. A nossa só se acabará dentro de 1 b. a. Parte do CO₂ de Marte foi perdida por esse processo, sendo que outra parte foi absorvida por rochas ou se encontra em forma de gelo seco nas calotas polares. Com isso ele perdeu seu mais precioso gás de estufa, tendo hoje temperaturas por volta de -60 °C. Grande parte da água foi dissociada pela radiação UV solar, mas uma parte ficou no subsolo e em forma de gelo nos pólos. A alta incidência de radiação UV e partículas cósmicas tornam o ambiente marciano extremamente esterilizante. A água jorra eventualmente a partir de fontes geotérmicas, mas evapora instantaneamente quando chega ao ambiente aberto. O interior das rochas seria um refúgio propício para a vida em Marte, pois aqui na Terra bactérias são encontradas a mil metros de profundidade dentro de rochas. Seria mais plausível considerarmos Marte como um local pós-biótico, dada a história de sua atmosfera. Isso não impede a continuidade da procura de vida, que poderia estar fossilizada e ainda assim fornecer informações valiosas. Esses fósseis poderiam estar bem preservados sob o gelo das calotas polares, local que ainda não foi pesquisado. O meteorito de origem marciana ALH84001 despertou grande interesse quando, em 1997, foi anunciado que ele continha microorganismos fósseis. O fato de o próprio presidente dos EUA ter trazido a notícia a público dá uma idéia da importância desse assunto. Entretanto, as análises feitas por um paleontólogo

imparcial, não vinculado à Nasa (William Schopf), haviam mostrado, antes do anúncio, que as chances de essas formações serem de origem inorgânica ou orgânica eram iguais. Em rochas terrestres existem formações parecidas, originadas por processos abióticos e que depois foram cobertos por material orgânico. As chances de que as formações do ALH84001 tenham origem biológica são de 50%. Ou seja, se um cientista disser que esse é um sinal de vida, sua afirmação tem o mesmo valor que o obtido em disputa de par ou ímpar entre dois analfabetos. A publicidade foi feita para alavancar a aprovação de verbas para a Nasa no congresso americano, um tipo de prática que está se tornando cada vez mais freqüente na luta por recursos. Isso mancha a credibilidade dos cientistas e a longo prazo diminui o apoio público à atividade científica.

Outro astro de interesse para a vida é Europa, um dos 28 satélites de Júpiter. Essa “lua” descoberta por Galileu tem uma crosta de ~ 100 km de gelo, sob a qual existe um mar de água líquida de ~ 70 km de profundidade. A presença de água líquida vem do aquecimento do satélite por efeito de maré de Júpiter, e indica condições suficientes para a vida. A ausência de luz solar nessas profundezas não é um problema. Aqui na Terra, a vida pulula em volta de fontes hidrotermais no fundo dos oceanos. Esse tipo de vida se alimenta de produtos químicos expelidos pelas fontes térmicas (~ 120 °C), a forma mais primitiva de obter energia por um organismo. Análises do rRNA 16S desses microorganismos indicaram que, dos organismos atuais, eles seriam os mais próximos ao ancestral comum da vida. Europa poderia abrigar organismos desse tipo, que poderiam ser “pescados” por sondas capazes de descer a grandes profundidades. Mas é claro que, se isso já seria uma grande façanha se fosse feito por seres humanos aqui na Terra, imagine a dificuldade de fazê-lo com robôs a meio bilhão de quilômetros daqui. Mas isso acabará acontecendo mais cedo ou mais tarde. De fato, a exploração do lago Vostok na Antártida, submerso há mais de 500 m. a. sob uma camada de 3,7 km de

gelo, será um ensaio para a pesquisa de vida em Europa. Não se trata só de um ensaio, mas de uma dentre inúmeras pesquisas da vida em ambientes extremos em andamento (veja <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/V/VostokLake.html>). Esse ramo da biologia vem se desenvolvendo rapidamente, impulsionado pelo interesse na vida fora da Terra. A distância de Europa implica baixa probabilidade de transpermia com Marte ou a Terra, de modo que ela oferece uma possibilidade de biogênese própria.

Titan, um satélite de Saturno, é outro local de interesse para a vida. Esse corpo celeste possui uma densa atmosfera onde ocorrem precipitações constantes de compostos orgânicos. A nave Cassini descerá em Titan em janeiro de 2005, sobre um continente com quilômetros de profundidade de materiais orgânicos de origem abiótica, como acetileno, metano e amônia congelados. As temperaturas em Titan são muito baixas (-200°C), de modo que não se espera encontrar vida lá, ele seria um sistema pré-biótico. Se a vida se desenvolvesse num local como esse, não seria certamente do tipo da nossa, que exige água. A água é uma molécula polar e por isso consegue passar através das membranas celulares. Os líquidos orgânicos de Titan têm moléculas apolares, de modo que, se a vida surgisse lá, seria muito diferente da daqui.

PERSPECTIVAS DE VIDA EM TORNO DE OUTRAS ESTRELAS

A constatação do papel fundamental da energia solar para a vida levou à formação do conceito de zona de habitabilidade em torno de estrelas. Essa zona seria a faixa em torno da estrela em que a água estaria líquida (entre 0 e -100°C). Ou seja, para raios menores a temperatura cozinaria as substâncias orgânicas e para raios maiores a taxa de reações químicas seria baixa demais para a vida. No caso do Sol, essa faixa vai das proximidades de Vênus a Marte, só con-

tendo a Terra. Na verdade, a temperatura atmosférica de um planeta depende também da concentração de gases de estufa, não sendo uma propriedade só da estrela central. Se Vênus tivesse menos dióxido de carbono, teria um efeito estufa menor e portanto uma temperatura atmosférica mais baixa e Marte o contrário. Nessas condições, ambos poderiam ser habitáveis por alguma forma de vida, embora formalmente fora da zona de habitabilidade. Além disso, o corpo celeste poderia ter fonte de energia térmica não-solar que o tornasse habitável. O conceito de zona de habitabilidade, entretanto, continua útil, pois define uma região de condições ótimas.

A zona de habitabilidade muda de posição e tamanho à medida que a estrela evolui. O Sol, por exemplo, está se tornando lentamente mais luminoso, de modo que sua zona de habitabilidade está se deslocando para fora e aumentando de largura. Quando estiver terminando sua fase de queima de hidrogênio no núcleo, daqui a 5 b. a., o raio interno de sua zona de habitabilidade estará entre a Terra e Marte e o raio externo estará próximo à zona dos asteróides. O clima da Terra será esterilizante, enquanto o de Marte será, de novo, acolhedor para a vida.

Quanto maior a massa de uma estrela, maior sua luminosidade e, portanto mais ampla será sua zona de habitabilidade. Estrelas menores têm zona de habitabilidade mais estreitas e mais próximas da estrela central. Quanto mais larga a zona de habitabilidade, maior a probabilidade de um planeta estar localizado dentro dela, de modo que à primeira vista parece mais provável encontrar um planeta na zona de habitabilidade de uma estrela de maior massa, como Sirius ou as 3 Marias, que na do Sol. Isso seria verdade se os planetas estivessem uniformemente distribuídos em torno das estrelas, independentemente da distância. Se o sistema solar for típico, a densidade de planetas cai rapidamente com a distância. Desse modo, os fatores se compensam e a probabilidade de existir um planeta dentro da zona de habitabilidade poderia não ser muito diferente para estrelas de grande ou

pequena massa. Mas ainda não sabemos se as grandes estrelas são tão propícias para formar planetas quanto as pequenas.

Existe um outro fator que pode ser determinante na expectativa de vida em função da massa das estrelas. Uma estrela com massa dez vezes a do Sol viverá mil vezes menos que ele: 10 m. a., em vez dos 10 b. a. para o Sol. Além da duração maior da fonte de energia, a zona de habitabilidade das estrelas pequenas se mantém na mesma posição no espaço por mais tempo. A longevidade das estrelas pequenas as torna mais interessantes para a vida que as maiores. Entretanto, as estrelas muito pequenas, como as anãs vermelhas, sofrem erupções gigantescas com muita frequência. Grandes flutuações energéticas não parecem ser favoráveis à vida. Não é que se exclua a possibilidade de existência de abrigos que podem amortecer o impacto dessas erupções em alguma situação especial, mas aqui estamos interessados em um diagnóstico geral. Assim, estrelas na faixa de massa próxima da do Sol parecem as mais favoráveis para a procura de vida. À primeira vista, parece que achamos de novo o “dedo de Deus” apontando para nós com o lugar privilegiado, uma forma travestida de reabilitar o geocentrismo. Entretanto, como existem dezenas de bilhões de estrelas na Via Láctea com massas nessa faixa (1/2 a 2 massas solares) não parece que estamos privilegiando um tipo particular de estrela por ser parecida com a nossa. Na verdade, esse tipo de estrela também é muito encontrado em outras galáxias, especialmente nas de forma elíptica. A maior parte dessas estrelas é muito mais velha que o Sol, de modo que elas também favoreceriam o abrigo à vida complexa.

A dificuldade técnica de detecção de planetas cresce com a distância, de modo que as estrelas mais próximas do Sol serão as pesquisadas numa primeira fase. A detecção de vida exige a análise da luz do planeta separadamente da estrela hospedeira, o que hoje só conseguimos fazer no sistema solar. Estender essa possibilidade para outras estrelas é uma tarefa para as próximas décadas, como será discutido a seguir.

UMA NOVA ERA PARA A PLANETOLOGIA

A descoberta da centena de planetas extra-solares conhecidos até agora foi feita de forma indireta. O planeta não é fotografado diretamente, mas através do efeito de sua gravidade sobre a estrela hospedeira. Pela lei da gravitação universal, o planeta atrai a estrela com a mesma força que ela o atrai, ambos giram em órbitas com foco no centro de massa do sistema. O tamanho da órbita é inversamente proporcional à massa do corpo, de modo que a órbita da estrela é muito menor que a do planeta. Em geral ela é tão pequena que é desprezada, como nas leis de Kepler, que só consideram a órbita de cada planeta, desprezando a do Sol. Mas, usando as leis de Newton, podemos calcular a velocidade da estrela em sua órbita. O efeito de Júpiter sobre o Sol, por exemplo, faz com que ele percorra uma pequena órbita num período de 12 anos a uma velocidade de apenas 12 metros por segundo. Isso seria indetectável pelas técnicas atuais se existisse um sistema planetário com essas características a poucos anos-luz daqui (um ano-luz = 9 trilhões km). Quanto mais próximo o planeta está da estrela, e quanto maior sua massa, maior a força da gravidade entre os dois. Como resultado, a órbita da estrela fica maior, sua velocidade aumenta e o período orbital mais curto, tornando mais fácil detectá-lo por essa técnica indireta, baseada no efeito Doppler (deslocamento sofrido pela luz quando uma fonte se move em relação ao observador). Por isso, todos os planetas extra-solares descobertos até agora são gigantes gasosos, muito próximos da estrela central. A maioria está a menos de 1 unidade astronômica da estrela hospedeira.

Dado que as estrelas hospedeiras são muito parecidas com o Sol, o fato de haver planetas (gigantes) gasosos em órbitas que em nosso sistema são ocupadas por planetas rochosos pareceria indicar um grave problema na teoria de formação do sistema solar. No sistema solar, os planetas gigan-

tes estão a distâncias maiores que 5 UA porque nessas regiões os grãos de poeira eram recobertos por gelo, o que facilitou o rápido crescimento dos planetas exteriores. Assim, eles absorveram também gás, numa fase em que o vento solar ainda não tinha varrido a nuvem gasosa. Na região interna do disco protoplanetário, a poeira era seca, difícil de colar, resultando em planetas menores, incapazes de segurar o gás com suas baixas gravidades. Como podem existir planetas gasosos em outras estrelas, numa região onde só poderiam nascer planetas rochosos? Simplesmente os planetas extra-solares gigantes conhecidos não nasceram onde estão hoje. Eles teriam nascido a distâncias muito maiores e estão migrando em direção à estrela central. Ou seja, esses sistemas são instáveis. Se esse cenário estiver correto, esses planetões devem ter “atropelado” os planetas rochosos, jogando-os para a estrela central. Uma indicação de que isso pode ter ocorrido é o fato de que essas estrelas têm muito mais átomos pesados que o Sol (Fe, Ca, etc.). Esse excesso de átomos pesados poderia ser o resultado da desintegração de planetas rochosos na atmosfera da estrela central. Nenhum dos sistemas planetários conhecidos até o momento parece ser favorável à vida. Mas muitos desses planetas estão na zona de habitabilidade, de modo que alguns de seus satélites poderiam ter condições climáticas parecidas com as da Terra. Poderiam esses satélites favorecer a vida? Aparentemente não são locais muito bons. Por um lado, a taxa de queda de meteoros seria grande por causa da elevada força gravitacional dos planetas gigantes. Por outro, sua migração produz mudanças ambientais contínuas que, se forem muito rápidas, são desfavoráveis à vida, mas se forem lentas seriam favoráveis. O fato de que todos os sistemas planetários extra-solares conhecidos são instáveis, ao contrário do nosso, seria de novo um “dedo de Deus” apontando para nós como lugar privilegiado no universo? Não. Nesse caso, trata-se de um efeito de seleção, uma limitação da técnica de busca que só consegue detectar planetas grandes situados muito

perto da estrela central. Portanto, só conhecemos hoje sistemas planetários extra-solares que são anômalos, que fogem à regra. As buscas nas estrelas vizinhas revelaram a existência de planetas em 5% dos casos. Se esses são a exceção, a regra pareceria ser que a percentagem de estrelas que abrigam planetas seria pelo menos dez vezes maior. Precisamos de técnicas mais poderosas para revelar os sistemas mais comuns.

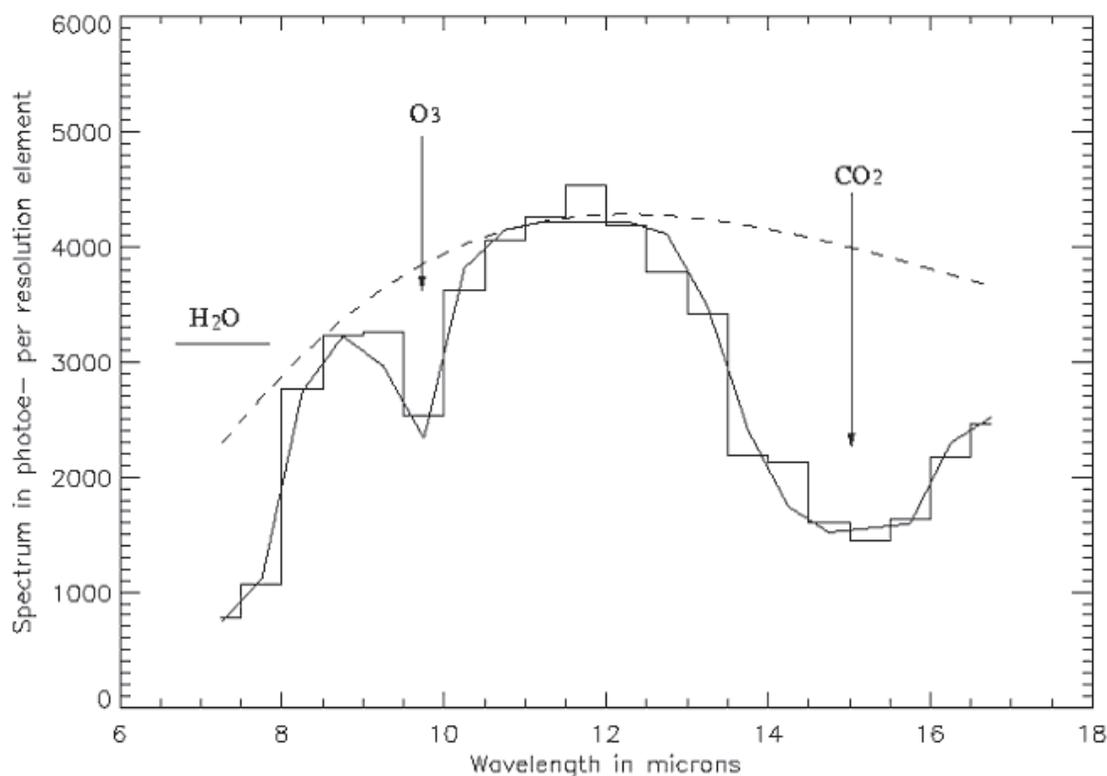
O próximo passo na procura de planetas extra-solares será a detecção direta de planetas gigantes. A dificuldade está em que o planeta só reflete uma fração ínfima da luz da estrela central e ele está muito próximo dela. O primeiro efeito é de contraste luminoso: para cada fóton de luz visível (comprimento de onda = 0,5 microm) que entra no telescópio vindo do planeta, chegam mais de 1 bilhão da estrela. É como acender um palito de fósforo num dia ensolarado: ele fica ofuscado pela luz circundante. A situação melhora no infravermelho médio (10 microns). Nesse comprimento de onda mais longo, a estrela emite menos luz e o planeta mais, de modo que a relação fica de 1 para 1 milhão. O desafio é ainda grande, mas o contraste é mil vezes maior nesse comprimento de onda que na faixa visível. O problema é que o poder resolvente (acuidade óptica) do telescópio piora proporcionalmente ao comprimento de onda. Para compensar essa perda, ao trabalhar no infravermelho é necessário aumentar o diâmetro do espelho coletor do telescópio na mesma proporção. Os maiores telescópios atuais têm cerca de 10 metros de diâmetro (geração VLT – *very large telescopes*). Dentro de uma década, os telescópios da geração VLT (Keck, Gemini, VLT, Magellan, HEBT) estarão descobrindo dez vezes mais planetas gasosos que hoje. Isso crescerá ainda mais na próxima geração de telescópios, os ELT (*extremely large telescopes*). Em duas décadas teremos catálogos com milhares de planetas. Esse tesouro propiciará um salto no conhecimento da planetologia. Saberemos quais são os parâmetros típicos dos sistemas planetários em termos de número de objetos, de características orbitais, distribuição de

tamanhos, temperaturas e composição química. Ficará claro se o sistema solar é uma exceção de extrema estabilidade, como parece hoje, ou se esse é um caso típico, como esperamos. A aventura iniciada há vinte séculos, quando nossos ancestrais identificaram os planetas como sendo astros diferentes das estrelas, chegará à sua maturidade. O avanço nessa área tem sido limitado pelo pequeno número de sistemas conhecidos até agora.

Para atingir, no infravermelho médio, o mesmo poder resolvente que na faixa visível, os telescópios teriam de ter espelhos cerca de 20 vezes maiores que os de hoje. Mas existe uma técnica antiga, chamada de interferometria, que permite melhorar muito o poder resolvente do telescópio. Para funcionar bem, essa técnica precisa de mui-

ta luz, de modo que o aumento do tamanho dos telescópios continua sendo um imperativo, embora não tão grande quanto sem o uso da interferometria. Essa nova geração de telescópios com espelho de 30 a 100 metros (ELT) exigirá grandes investimentos técnicos e financeiros. Os projetos são orçados em torno de 1 bilhão de dólares e exigem a cooperação entre as maiores economias do mundo, não só para serem construídos, como para serem operados (cerca de 100 mil dólares/noite). Eles entrarão em operação daqui a 10-15 anos. É claro que as tecnologias produzidas enriquecerão os países envolvidos, como tem ocorrido em todos os projetos de fronteira científica/tecnológica. O Brasil é parceiro de outros 5 países no projeto Gemini, que conta com dois telescópios de 8 metros, um no Havaí e outro

Figura 1



Simulação de como a Terra seria vista pelos telescópios Darwin se houvesse um sistema solar idêntico ao nosso a 30 anos-luz daqui. Note que o ozônio (O₃) seria detectado claramente em 10 microns.

nos Andes chilenos. Projetos cooperativos como esse são importantes para a geração seguinte. No momento em que escrevo este texto, está sendo inaugurado o telescópio Soar nos Andes chilenos, em cooperação com universidades americanas. Esse é um telescópio relativamente pequeno (4 metros), mas dotado de tecnologia avançada que permitirá um salto quantitativo e qualitativo para a astronomia brasileira. Esse é o caminho para um possível engajamento do Brasil nos projetos da geração ELT.

Após a fase de imageamento direto de planetas gasosos, será a vez dos rochosos. Esse desafio será ainda maior, pois esses planetas são menos brilhantes que os gasosos e estão ainda mais próximos da estrela central. Sua detecção exigirá interferometria através de diversos telescópios situados no espaço. Um desses projetos é o Darwin, comandado pela comunidade européia. O imageamento de planetas extra-solares não deverá revelar nenhum detalhe visual, como oceanos, continentes ou nuvens, mesmo em planetas gigantes. Toda a informação virá da análise espectral da luz, com a qual se pode determinar a composição química, temperatura, velocidades, etc. Os astrônomos fazem isso rotineiramente há mais de um século com cometas, planetas, estrelas, galáxias, etc. Eles analisam os átomos de astros a distâncias maiores que 10 bilhões de anos-luz de nós. Não será difícil fazer isso com as moléculas de planetas vizinhos. A imagem na página anterior mostra como seria localizado o ozônio em um planeta

como a Terra, situado em torno de uma estrela como o Sol a mais de 30 anos-luz de distância.

Esse seria um sinal inequívoco da existência de vida fora da Terra. Em menos de duas décadas teremos dados para estudar essa questão. Se a vida aparecer em muitos dos planetas rochosos com condições favoráveis, seriam confirmadas as expectativas atuais de que ela é uma propriedade comum da matéria. A falha sistemática de detecção de assinatura de moléculas de origem biótica nos devolveria à solidão cósmica em que nos encontramos hoje. Teremos de repensar muita coisa e rever nossa rejeição a ter um *status* privilegiado no universo. Não seria fácil conviver com esse quadro mental depois do trabalho que tivemos para curar as feridas narcísicas produzidas pela revolução copernicana, pelo evolucionismo darwiniano e pela descoberta freudiana do inconsciente. Elas apagaram o “dedo de Deus” que apontava nosso planeta como centro do universo, a espécie humana como o ápice da criação e a consciência como centro de nossa personalidade. Gostamos da “chaticice” cósmica segundo a qual todos os lugares e direções são equivalentes, não existe centro, ou todos os centros são equivalentes. No caso da procura de vida fora da Terra também, a ciência não está aí para nos trazer paz mental (embora certamente trará frutos tecnológicos). A falta de detecção de vida dará munção pesada ao criacionismo contra a própria ciência que há séculos se pauta pelo evolucionismo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JAKOSKY, Bruce. *The Search for Life on Other Planets*. Cambridge University Press.
- McCLENDON, John H. “The Origin of -”, in *Earth-Science Reviews* 37, 1999, pp. 71-93, Elsevier.
- STEARNS, Stephen C. e HOESKSTRA, Rolf F. *Evolução: uma Introdução*. Ed. brasileira de W. A. Neves. São Paulo, Atheneu, 2003.

Links na Internet relacionados ao tema

- <http://www.astro.iag.usp.br/~daminedi/univida/internet.html>
- http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/0403/0403050.pdf