

# ASTROBIOLOGIA: A VIDA, O UNIVERSO E TUDO O MAIS

*ASTROBIOLOGY: LIFE, THE UNIVERSE, AND EVERYTHING ELSE*

*ASTROBIOLOGÍA: LA VIDA, EL UNIVERSO Y TODO LO DEMÁS*

Vanessa Cristina Costa Tursi<sup>1</sup>  
Graziele Aparecida Correa Ribeiro<sup>2</sup>

## Resumo

A astrobiologia é uma ciência interdisciplinar que estuda a origem, evolução e possibilidade de vida em outros planetas e luas do nosso sistema solar. Esse campo de pesquisa fascinante e em constante expansão engloba diversas áreas do conhecimento. Este artigo explora os principais conceitos, teorias e descobertas da astrobiologia, analisando a busca pela vida extraterrestre, a diversidade de ambientes habitáveis e os desafios enfrentados na investigação astrobiológica. A evolução química do universo e as condições do meio interestelar são aspectos fundamentais na formação e composição dos objetos celestes no cosmos. A interação entre a evolução química do universo e as condições do meio interestelar é uma área fascinante de estudo na astrobiologia, que busca entender as origens da vida e a possibilidade de vida em outros lugares do universo. O estudo desses fenômenos revela as profundas conexões entre a química cósmica e a existência da vida, levando-nos a uma compreensão mais profunda do nosso lugar no cosmos.

**Palavras-chave:** astrobiologia; exoplanetas; habitabilidade.

## Abstract

Astrobiology is an interdisciplinary science that studies the origin, evolution, and possibility of life on other planets and moons within our solar system. This fascinating and constantly expanding field of research encompasses various areas of knowledge. This article explores the key concepts, theories, and discoveries of astrobiology, analyzing the search for extraterrestrial life, the diversity of habitable environments, and the challenges faced in astrobiological investigation. The chemical evolution of the universe and the conditions of the interstellar medium are fundamental aspects in the formation and composition of celestial objects in the cosmos. The interaction between the chemical evolution of the universe and the conditions of the interstellar medium is a fascinating area of study in astrobiology, which seeks to understand the origins of life and the possibility of life elsewhere in the universe. The study of these phenomena reveals the deep connections between cosmic chemistry and the existence of life, leading us to a deeper understanding of our place in the cosmos.

**Keywords:** astrobiology; exoplanets; habitability.

## Resumen

La astrobiología es una ciencia interdisciplinaria que estudia el origen, la evolución y la posibilidad de vida en otros planetas y lunas de nuestro sistema solar. Este campo de investigación fascinante y en constante expansión abarca diversas áreas del conocimiento. Este artículo explora los conceptos, teorías y descubrimientos clave de la astrobiología, analizando la búsqueda de vida extraterrestre, la diversidad de entornos habitables y los desafíos enfrentados en la investigación astrobiológica. La evolución química del universo y las condiciones del medio interestelar son aspectos fundamentales en la formación y composición de objetos celestes en el cosmos. La interacción entre la evolución química del universo y las condiciones del medio interestelar es un área fascinante de estudio en la astrobiología, que busca comprender los orígenes de la vida y la posibilidad de vida en otros lugares del universo. El estudio de estos fenómenos revela las profundas conexiones entre la química cósmica y la existencia de vida, llevándonos a una comprensión más profunda de nuestro lugar en el cosmos.

**Palabras clave:** astrobiología; exoplanetas; habitabilidad.

<sup>1</sup> Graduanda em Bacharelado em Física, Centro Universitário Internacional (Uninter). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8650-0556>. E-mail: [vanessatursi@hotmail.com](mailto:vanessatursi@hotmail.com)

<sup>2</sup> Mestra em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2021). Atualmente é professora Ma. da Escola Superior de Educação no Centro Universitário Internacional (UNINTER). E-mail: [graziele.r@uninter.com](mailto:graziele.r@uninter.com)

## 1 Introdução

“Uma das grandes curiosidades da humanidade diz respeito à possibilidade de vida fora da Terra [...]” (Galante *et al.*, 2016, p. 36). A busca pela vida fora da Terra é uma das questões mais instigantes da ciência contemporânea. Nesse contexto, surge a Astrobiologia, que estuda a origem, evolução, distribuição e futuro do Universo, sendo um campo de estudo interdisciplinar por ter como base de pesquisa várias áreas do conhecimento, como a astronomia, a astrofísica, a geologia, a biologia, a microbiologia etc. (Cerini, 2018).

A origem da vida é um dos enigmas mais profundos e fascinantes da história do pensamento humano. A busca por compreender como a vida surgiu na Terra e se ela também pode existir em outros lugares do universo transcende as fronteiras da ciência e adentra o domínio da filosofia. O conceito filosófico da origem da vida e suas implicações têm uma ligação intrínseca com a Astrobiologia (Tyson; Goldsmith, 2015).

Desde tempos remotos, filósofos, teólogos e pensadores têm buscado respostas para a questão da origem da vida. A pergunta sobre como a vida emergiu do não-vivo tem sido motivo de reflexão nas mitologias, religiões e cosmologias de diversas culturas ao redor do mundo (Tyson; Goldsmith, 2015). Na filosofia ocidental, a discussão sobre a origem da vida ganhou impulso com os filósofos pré-socráticos, como Anaximandro, que propôs a existência de uma “substância indefinida” como a origem primordial de todas as coisas. Platão, por sua vez, considerava o mundo material uma mera cópia de formas perfeitas e imutáveis no mundo das ideias (Caramaschi, 2006).

Já na filosofia moderna, o debate sobre a origem da vida ganhou um novo contexto com a revolução científica. René Descartes e Isaac Newton defenderam uma concepção mecanicista do universo, que também influenciou as ideias sobre a origem da vida (Damião, 2018). Contudo, a noção de que a vida poderia surgir espontaneamente de matéria inanimada, conhecida como geração espontânea, foi contestada por Francesco Redi e, posteriormente, por Louis Pasteur (Souza *et al.*, 2011).

A presente pesquisa tem como objetivo analisar a Astrobiologia e a teoria sobre o surgimento da vida na Terra, bem como a possibilidade de vida em outros planetas e quais as implicações em um possível contato extraterrestre. A metodologia adotada é qualitativa e baseada em pesquisa bibliográfica, com análise de artigos científicos, livros, sites, entre outros materiais sobre o tema.

## 2 Evolução química do universo e as condições do meio interestelar

A evolução química do universo é um processo complexo que moldou a composição dos elementos químicos desde o início do cosmo até os dias atuais. Esse fenômeno tem uma relação intrínseca com as condições do meio interestelar, que desempenham um papel fundamental na formação de estrelas, planetas e, possivelmente, na origem da vida. Essa evolução começou há cerca de 13,8 bilhões de anos atrás. No início, o universo consistia principalmente de hidrogênio, hélio e traços de deutério, trítio e lítio (Tyson; Goldsmith, 2015).

Segundo Pilling e Rocha (2009), o meio estelar é constituído de gás e poeira

[...] e agrega regiões HII, que são locais onde a radiação é suficiente para ionizar o átomo de hidrogênio, embora outras linhas de emissão sejam também observadas nos espectros, como OII (átomo de oxigênio ionizado uma vez) e OIII (átomo de oxigênio ionizado duas vezes) (Pilling; Rocha, 2009, p. 1).

Ainda de acordo com os autores supracitados, esse gás

é constituído principalmente por hidrogênio atômico e molecular, e a poeira principalmente por silicatos ( $\text{SiO}_4$ ), combinados à pequenas porções de carbono amorfo. Uma das implicações da baixa densidade do meio interestelar são as baixas pressões, chegando ao regime de ultra-alto vácuo (Pilling; Rocha, 2009, p. 2).

Assim sendo, pode-se tratar da expansão do universo que permitiu que a matéria se dispersasse e se resfriasse. À medida que o universo se tornava mais frio, as primeiras estrelas começaram a se formar, através do colapso gravitacional de nuvens de gás e poeira. Nessas estrelas, por meio de processos nucleares, ocorreu a fusão nuclear, convertendo hidrogênio em hélio e elementos mais pesados como carbono, oxigênio e nitrogênio (Tyson; Goldsmith, 2015).

De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2022), após a explosão do Big Bang, as estrelas foram formadas de compostos como hidrogênio e hélio, desse modo, “durante esta etapa, as estrelas brilham e produzem os elementos químicos de maior número atômico, principalmente o carbono, o oxigênio, cálcio e o ferro, que são os principais elementos que nos formam e o mundo ao nosso redor” (Oliveira Filho; Saraiva, 2022, p. 1).

As estrelas mais massivas, ao atingirem o final de sua vida, passaram por explosões espetaculares conhecidas como supernovas. Nessas supernovas, elementos ainda mais pesados foram sintetizados, como ferro e níquel (Maciel, 2020). Segundo Galante *et al.* (2016), as supernovas são caracterizadas como grandes explosões, o que quer dizer que, ao atingirem seu estágio final de evolução, perdem a capacidade de fusão, e ainda dependendo da massa da nuclear, geram uma explosão que pode ser termonuclear ou por colapso do núcleo (Galante *et al.*, 2016).

As supernovas são responsáveis pela dispersão desses elementos recém-sintetizados no meio interestelar, enriquecendo-o com uma variedade maior de elementos químicos. Além disso, as estrelas mais massivas podem perder suas camadas externas durante suas fases finais, lançando-as no espaço como vento estelar. Esses materiais enriquecidos compõem o meio interestelar, que é composto por gás (principalmente hidrogênio e hélio) e poeira interestelar (pequenas partículas sólidas, como grãos de carbono e sílica). Esse meio interestelar torna-se o berço para a formação de novas estrelas e sistemas planetários (Maciel, 2020).

As abundâncias químicas no Universo resultam do conjunto de todos os processos de nucleossíntese: a primordial, a estelar, a explosiva e a interestelar. Assim sendo, o meio interestelar se nutre de todos eles. Quando combinados, esses processos resultam em uma distribuição de abundância de elementos que pode ser verificada de distintas maneiras: nos meteoritos aqui na Terra, nas estrelas como o Sol, nos aglomerados estelares, nas nebulosas ou mesmo em galáxias inteiras. Distintos ambientes e histórias vão resultar em abundâncias relativas diferentes: a Terra, por exemplo, tem uma abundância de óxidos e silicatos muito maior que Júpiter ou Saturno, cuja composição é muito semelhante à do Sol e onde o hidrogênio e o hélio predominam. Acredita-se que o processo de formação do Sistema Solar tenha produzido essa diferença, espalhando elementos leves para formar os planetas gigantes, enquanto os grãos de poeira mais pesados foram responsáveis pela composição dos chamados “planetas telúricos”, rochosos e sem grande quantidade de hidrogênio e hélio (Galante *et al.*, 2016, p. 58).

Em suma, o universo apresenta uma gama variada de elementos, que de acordo com Maciel (2004):

têm uma distribuição surpreendentemente semelhante, tanto no sistema solar, como nas estrelas, nebulosas e galáxias. A semelhança é tão grande que os astrônomos costumam usar como referência uma distribuição às vezes chamada ‘abundância cósmica’ (Maciel, 2004, p. 1).

## 2.1 Importância do meio interestelar na origem da vida

Além de influenciar a formação de estrelas e planetas, o meio interestelar também é relevante na busca pela origem da vida. O espaço interplanetário contém moléculas orgânicas complexas, como hidrocarbonetos e aminoácidos, que são os blocos de construção fundamentais da vida (Milone *et al.*, 2018).

Cometas são corpos celestes compostos principalmente de gelo (Milone *et al.*, 2007), podem ter transportado essas moléculas orgânicas para a Terra primitiva por meio de colisões. Esse fenômeno, conhecido como panspermia, teoriza que a vida na Terra pode ter sido “semeada” por moléculas orgânicas vindas do espaço (Galante *et al.*, 2016). Segundo Tyson, “Os elementos químicos do universo são forjados no fogo de estrelas de grande massa que

encerraram sua vida em explosões titânicas, enriquecendo suas galáxias hospedeiras com o arsenal químico da vida como a conhecemos” (Tyson, 2017, p. 175).

### 3 Origem da vida

A origem da vida é um dos temas centrais da Astrobiologia. Teorias e experimentos têm sido propostos para explicar como os primeiros organismos surgiram na Terra, e essa pesquisa pode fornecer *insights* valiosos para compreender a possibilidade de vida em outros mundos. Com o avanço da ciência, diversas teorias têm sido propostas para explicar a origem da vida na Terra. Essas teorias fornecem uma base para entender a possibilidade de vida em outros planetas, sendo um ponto de interseção com a Astrobiologia (Galante *et al.*, 2016).

A definição darwiniana prescreve que a vida precisa apenas possuir um sistema de armazenamento e transferência de informações - transmitindo as instruções genéticas para a próxima geração. A vida é definida pelo que ela faz, não pelo que é feita. [...] Os processos de mutação, competição, morte e evolução são os mesmos, apenas o meio de suporte é diferente (Dartnell, 2007, p. 2-3).

Dentre as concepções e definições de teorias, a panspermia é uma teoria que propõe que a vida na Terra (ou em outros planetas) pode ter surgido a partir de microrganismos trazidos do espaço exterior. Esses microrganismos poderiam ter viajado através do espaço em asteroides, cometas ou poeira cósmica. Essa ideia sugere que a vida pode ser um fenômeno mais universal do que inicialmente imaginávamos. A possibilidade de que a vida possa ser dispersa pelo universo aumenta as expectativas na busca por vida em outros corpos celestes, como luas e planetas fora do nosso sistema solar, através da análise de meteoritos e amostras espaciais (Galante *et al.*, 2016).

A teoria da panspermia, que significa literalmente “sementes por toda parte”, foi amplamente discutida pela primeira vez no início do século XX. Pensava-se que células microscópicas resistentes, como os esporos bacterianos, poderiam estar dispersas por toda a galáxia, sopradas pela pressão de radiação da sua estrela. A teoria original caiu em desuso, uma vez que as células desprotegidas nunca sobreviveriam às eras de tempo necessários para viajar entre as estrelas. Mas a essência da ideia, adaptada à noção de que as células poderiam ser transportadas entre planetas e luas a bordo de meteoritos, foi recentemente ressuscitada e está a reunir rapidamente provas encorajadoras (Dartnell, 2007, p. 46-47, tradução própria).

De acordo com Galante *et al.* (2016), a abiogênese é a “hipótese científica que se refere à origem da vida a partir da matéria inanimada, pelo aumento da complexidade química do meio, auto-organização e surgimento de uma entidade autopoiética” (Galante *et al.*, 2016, p. 121), embora a abiogênese tenha sido refutada por experimentos como os de Pasteur.

Uma teoria que emergiu foi a Hipótese do Mundo de RNA, proposta por Walter Gilbert em 1986. De acordo com essa hipótese, o RNA (ácido ribonucleico) teria sido a primeira molécula autorreplicante e catalisadora de reações químicas, desempenhando um papel fundamental nos estágios iniciais da evolução biológica. Essa teoria sugere que a vida pode ter surgido a partir de moléculas orgânicas simples presentes na Terra primitiva. Essa ideia encontra eco na busca por vida extraterrestre, pois a presença de RNA em outros mundos poderia indicar a possibilidade de formas de vida similares às que surgiram na Terra. Homologia bioquímica é a descoberta de que todos os seres vivos compartilham um código genético semelhante e usam moléculas orgânicas comuns, como o DNA e o RNA, sugere uma origem comum da vida e se baseia nos estudos de Gilbert (Souza *et al.*, 2011).

A teoria mais amplamente aceita sobre a origem da vida na Terra é a da Hipótese da Biogênese (Evolução Química ou Terra Primitiva), que surgiu com o experimento de Louis Pasteur, que consistia na demonstração do desenvolvimento de organismos em um meio esterilizado previamente. Em 1859, Darwin dá origem à Teoria da Evolução, que defende que todos os organismos atuais surgiram de uma longa evolução biológica a partir de um organismo primitivo. Anos depois, Aleksandr Oparin e John B. S. Haldane desenvolvem e publicam sua teoria da Evolução Química, na qual a vida emergiu de forma gradual a partir de reações químicas complexas que ocorreram há bilhões de anos, sendo as condições primitivas da Terra muito diferentes das atuais, com uma atmosfera rica em gases como metano, amônia, hidrogênio e vapor de água (Souza *et al.*, 2011).

Essa atmosfera, combinada com a energia fornecida por raios, radiação ultravioleta do sol e atividade vulcânica, possibilitou a formação de moléculas orgânicas simples, como aminoácidos e nucleotídeos. Estas são as unidades fundamentais das proteínas e do ácido desoxirribonucleico (DNA), respectivamente, que são essenciais para a vida como a conhecemos. Gradualmente, essas moléculas orgânicas se acumularam em ambientes aquáticos, como mares e lagos, formando os chamados caldos primordiais. Ao longo de milhões de anos, essas moléculas tornaram-se mais complexas e organizadas, levando ao surgimento de estruturas primitivas semelhantes a células, que eventualmente deram origem aos primeiros organismos unicelulares (Galante *et al.*, 2016).

Embora não possamos observar diretamente os eventos que levaram ao surgimento da vida na Terra, existem várias evidências que sustentam a teoria da evolução química, como por exemplo os Experimentos de Miller-Urey. Em 1953, Stanley Miller e Harold Urey realizaram um experimento pioneiro que simulava as condições primitivas da Terra. Eles submeteram uma

mistura de gases à energia elétrica para simular relâmpagos e descobriram a formação de aminoácidos, blocos fundamentais da vida (Souza *et al.*, 2011).

Para Souza et al. (2011), “Urey e Miller concluíram que as moléculas orgânicas poderiam se formar em uma atmosfera livre de oxigênio e que as condições para o surgimento da forma de vida mais simples não estariam longe” (Souza *et al.*, 2011, p. 80). Fósseis de estromatólitos, que são micro-organismos de natureza procarionte que fazem fotossíntese, datados de aproximadamente 3,5 bilhões de anos, foram encontrados em rochas antigas na África do Sul e Austrália, fornecendo evidências da existência de vida primitiva na Terra (Souza *et al.*, 2011).

#### **4 Ambientes habitáveis, zonas habitáveis e exoplanetas**

A identificação de ambientes potencialmente habitáveis é fundamental na busca por vida extraterrestre. A presença de água líquida é um dos principais critérios considerados, pois é essencial para a vida como a conhecemos (Galante *et al.*, 2016).

Na busca por ambientes habitáveis em nosso próprio sistema solar, muita atenção tem sido dada a Marte e às luas geladas de Júpiter e Saturno. Sobre Europa, uma das luas de Júpiter, Greenberg (2005, p. 7) afirma que “bem na superfície a água fica congelada porque, sem uma atmosfera isolante significativa, o calor irradia rapidamente no espaço. Mas, abaixo da superfície, grande parte da camada de água é provavelmente líquida, de acordo com a estimativa do aquecimento interno das marés”.

O estudo dos extremófilos, organismos que vivem em ambientes extremos na Terra, é essencial para compreender os limites da vida e os possíveis habitats extraterrestres. A busca por exoplanetas na zona habitável de suas estrelas é uma área de grande interesse na Astrobiologia (Galante *et al.*, 2016).

A zona habitável é a região ao redor de uma estrela onde as condições podem ser adequadas para a existência de água líquida em uma superfície planetária.

A definição de Zona Habitável (ZH) foi introduzida em 1959 [...] como sendo a região ao redor de uma estrela em que o ciclo de fusão de H em He seja estável por alguns bilhões de anos, permitindo que um planeta possa manter água, no estado líquido, em sua superfície. A estrela fornece a energia e a água funciona como um solvente eficiente que participa ativamente das reações químicas. Posteriormente foi introduzida a ideia de uma Zona Habitável Galáctica, definida como a região mais provável da vida emergir em uma galáxia [...]. Nessa região o enriquecimento químico contém abundância adequada de CHONPS e a quantidade de eventos catastróficos capazes de interromper o processo de formação de vida (ou sua sobrevivência) é baixa comparada com a escala de tempo evolutivo terrestre (Vieira *et al.*, 2018, p. 6).

Vários métodos de detecção de exoplanetas têm sido desenvolvidos, e a missão Kepler da NASA foi pioneira na identificação de inúmeros candidatos a exoplanetas habitáveis, com a descoberta confirmada de mais de 2600 exoplanetas, muitos dos quais poderiam ser lugares promissores para a vida (NASA, s. d.).

## 5 Biosferas e assinaturas de vida

A busca por assinaturas de vida extraterrestre é uma das principais áreas de interesse na Astrobiologia. A detecção de moléculas orgânicas complexas em exoplanetas é considerada uma pista importante para a existência de vida, pois essas moléculas muitas vezes estão associadas a atividades biológicas na Terra (Galante *et al.*, 2016).

Para Galante *et al.* (2016, p. 225),

bioassinatura é um sinal, o mais inequívoco possível, de atividade biológica e, em geral, consiste em moléculas que são produtos do metabolismo de organismos vivos. [...] Para que seja caracterizada como bioassinatura, é importante que essa molécula sobreviva às condições do ambiente e que seja indicativo claro de atividade biológica, ou seja, não pode ser sintetizado de forma abiótica.

Uma das formas mais promissoras de detectar assinaturas de vida em exoplanetas é por meio da análise de suas atmosferas. A presença de certos gases na atmosfera pode indicar a atividade biológica em um planeta. Por exemplo, o metano é um gás que pode ser produzido tanto por processos biológicos quanto por processos geológicos. Em nosso próprio planeta, ele é produzido por organismos vivos, como certas bactérias, mas também pode ser gerado por reações geológicas, como vulcanismo. A detecção de metano em um exoplaneta, portanto, não é uma prova definitiva de vida, mas certamente é uma pista interessante que justifica uma investigação mais aprofundada (Galante *et al.*, 2016).

Outro gás relevante é o oxigênio. Na Terra, o oxigênio é produzido principalmente por fotossíntese, um processo realizado por plantas e algumas bactérias. Se o oxigênio fosse detectado em grandes quantidades em um exoplaneta, isso poderia sugerir a presença de organismos fotossintéticos ou outras formas de vida que liberam oxigênio na atmosfera. Além disso, o ozônio também é um indicador potencial de vida, pois é formado pela interação de oxigênio com a radiação ultravioleta do sol. O ozônio desempenha um papel importante na proteção da vida na Terra, filtrando a maior parte dos raios ultravioletas prejudiciais. Portanto, a presença de ozônio em uma atmosfera exoplanetária poderia sugerir a presença de organismos produtores de oxigênio (Galante *et al.*, 2016).

Para detectar essas assinaturas atmosféricas, os astrônomos utilizam a espectroscopia. Essa técnica consiste em analisar a luz emitida ou refletida pelos corpos celestes em diferentes comprimentos de onda. Cada molécula absorve e emite luz em comprimentos de onda específicos, gerando um padrão característico no espectro que pode ser identificado pelos cientistas. Telescópios espaciais, como o Telescópio Espacial Hubble e o Telescópio Espacial James Webb, são instrumentos fundamentais na busca por assinaturas de vida extraterrestre. Esses telescópios são capazes de observar o espectro de luz de exoplanetas e analisar as características de suas atmosferas (Galante *et al.*, 2016). O Telescópio Espacial James Webb, em particular, está revolucionando a pesquisa astrobiológica com sua capacidade de análise atmosférica de exoplanetas distantes.

Até o momento, a busca por bioassinaturas em exoplanetas é um campo desafiador, ainda que em rápida expansão. Algumas descobertas recentes têm instigado a comunidade científica. Em 2019, pesquisadores relataram a detecção de vapor de água na atmosfera de K2-18b, um exoplaneta localizado na zona habitável de sua estrela. Essa descoberta trouxe grande entusiasmo, pois sugeriu que o exoplaneta pode ter condições adequadas para abrigar água líquida, um elemento vital para a vida como a conhecemos (Tsiaras *et al.*, 2019).

Em 2022, pouco tempo depois de entrar em operação, o telescópio Espacial James Webb fez uma leitura espectral do Exoplaneta WASP 96b, um exoplaneta gasoso localizado a cerca de 1.2 anos-luz da Terra, na Constelação de Phoenix. Segundo essa leitura, o espectro mostrou a presença de água e nuvens (NASA, s. d.).

Por outro lado, existem desafios significativos na busca por bioassinaturas. Detectar gases como metano, oxigênio e ozônio em exoplanetas muito distantes é extremamente difícil, especialmente quando a luz das estrelas próximas pode ofuscar os sinais fracos provenientes dos exoplanetas, porém dados iniciais do telescópio Espacial James Webb demonstra que ele é capaz de detectar assinaturas mesmo em condições desfavoráveis. Além disso, é preciso levar em consideração que certas reações químicas e processos geológicos também podem produzir esses gases, dificultando a interpretação dos dados (NASA, s. d.).

O Telescópio Espacial James Webb, aliado ao aprimoramento contínuo das técnicas de espectroscopia e análise de dados, vem surpreendendo a comunidade científica com a descobertas feitas pela análise espectroscópica dos exoplanetas parecidos com a Terra, no intuito de encontrar evidências de possíveis formas de vida. A combinação da pesquisa astrobiológica com avanços na tecnologia espacial promete abrir novos horizontes em nossa compreensão da vida no universo (NASA, s. d.).

## 6 Equação de Drake e a estimativa da existência de civilizações extraterrestres inteligentes

O astrônomo Frank Drake, em seu trabalho pioneiro na década de 1960, formulou a Equação de Drake para estimar o número de civilizações extraterrestres inteligentes na nossa galáxia. Tal equação é um argumento probabilístico e considera fatores como a taxa de formação de estrelas, a fração de estrelas com sistemas planetários e a fração de planetas que podem sustentar vida inteligente.

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Em que:

$N$  é o número de civilizações extraterrestres em nossa galáxia com as quais poderíamos ter chances de estabelecer comunicação.

$R^*$  é a taxa de formação de estrelas em nossa galáxia, estimado em 1/ano.

$f_p$  é a fração de tais estrelas que possuem planetas em órbita, estimado entre 0,2 e 0,5.

$n_e$  é o número médio de planetas que potencialmente permitem o desenvolvimento de vida por estrela que tem planetas, entre 1 e 5.

$f_l$  é a fração dos planetas com potencial para vida que realmente desenvolvem vida, estimado em 1.

$f_i$  é a fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente, estimado em 1.

$f_c$  é a fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente e que têm o desejo e os meios necessários para estabelecer comunicação, estimado em 0,1 a 0,2.

$L$  é o tempo esperado de vida de tal civilização, estimado entre 1000 e 100,000,000 de anos.

Drake forneceu os valores acima citados, de acordo com suas pesquisas. No entanto, essa equação não foi formulada com o intuito de quantificar o número de civilizações inteligentes, mas como um artifício para o diálogo científico que ocorreu durante a primeira reunião científica do programa SETI.

Quando Frank Drake propôs inicialmente essa fórmula, havia tantos dados desconhecidos que os resultados não passavam de especulação. As estimativas do número de civilizações na galáxia abarcavam de dezenas de milhares a milhões. Hoje, porém, com a enxurrada de exoplanetas encontrados espaço afora, pode-se chegar a uma estimativa bem mais realista. A boa notícia é que todo ano os astrônomos tornam mais exatos os vários componentes da equação de Drake. Hoje sabe-se que ao menos uma em cada cinco estrelas semelhantes ao Sol na Via Láctea tem planetas como a Terra em sua órbita. De acordo com a equação, há mais de 20 bilhões de planetas semelhantes à Terra em nossa galáxia (Kaku, 2019, p. 220).

Tanto na concepção matemática proposta por Drake (1961) quanto na proposição descrita por Kaku (2019), evidenciamos que existem planetas como a Terra capazes de sustentar vida, porém a probabilidade de haver vida inteligente é mais rara.

## 6.1 Paradoxo de Fermi

O Paradoxo de Fermi é uma questão ainda não resolvida que se baseia na aparente contradição entre a alta probabilidade de existência de vida extraterrestre inteligente e a falta de evidência ou contato com essas civilizações. Podendo ser resumida da seguinte forma: o universo é vasto e contém uma enorme quantidade de estrelas e planetas, muitos dos quais são similares à Terra. A questão levantada por Fermi é “Onde está todo mundo?” (Nogueira, 2014).

Observe que o paradoxo não é que não existam civilizações extraterrestres. (Eu não tenho ideia se Fermi acreditava na existência de extraterrestres inteligentes, mas suspeito que, como aconteceu com muitos físicos, ele o fez.) Em vez disso, o paradoxo – ou pelo menos a versão expandida do paradoxo, que observa que não apenas eles não estão aqui, mas também não tivemos notícias deles ou vimos qualquer evidência a evidência de sua atividade na Galáxia – é que não observamos nenhum sinal deles quando poderíamos esperar. Uma explicação do paradoxo é, de fato, que são a única civilização avançada – mas é apenas uma das várias explicações (Webb, 2015, p. 26).

Dadas as condições propícias à vida em outros lugares, é razoável assumir que a vida tenha se desenvolvido em outros planetas. Algumas dessas civilizações extraterrestres, se existirem, podem ter se desenvolvido muito antes da humanidade e, portanto, teriam tido tempo suficiente para explorar e/ou colonizar a galáxia. Se essas civilizações fossem suficientemente avançadas, seria possível que suas tecnologias permitissem a exploração interplanetária ou mesmo interestelar. No entanto, não temos evidências concretas de qualquer contato com essas civilizações ou de suas atividades exploratórias (Tyson; Goldsmith, 2015).

Webb (2015) analisa algumas hipóteses e explicações, incluindo de outros autores, para tentar resolver o paradoxo, como:

- A vida extraterrestre é rara: talvez a evolução da vida inteligente seja um evento extremamente raro e, portanto, não haja muitas outras civilizações além da nossa.
- A vida extraterrestre é efêmera: pode ser que as civilizações avançadas se autodestruam antes de alcançar a capacidade de viagens interestelares, tornando-as invisíveis para nós.
- Limitações tecnológicas: as distâncias astronômicas são enormes, e a velocidade da luz é o limite máximo de velocidade conhecido. Portanto, as viagens interestelares podem ser tão desafiadoras que nenhuma civilização conseguiu superar essas limitações.
- A preservação de vida é uma prioridade: talvez as civilizações avançadas optem por não interferir com outras espécies menos desenvolvidas para evitar perturbações ou até mesmo para preservar nossa diversidade biológica (Webb, 2015).

Até o momento, o Paradoxo de Fermi permanece sem uma solução definitiva e continua a ser objeto de debate e especulação entre cientistas, filósofos e entusiastas da busca por vida extraterrestre. A exploração espacial e o avanço da tecnologia podem, eventualmente, fornecer novas informações e ajudar a esclarecer esse enigma (Nogueira, 2014).

## 7 Ética e implicações filosóficas

A descoberta de vida extraterrestre, seja ela microbiana ou inteligente, traria implicações filosóficas, éticas e socioculturais significativas. Questões como a origem da vida, a diversidade do universo e o lugar da humanidade no cosmos seriam reavaliadas. Carl Sagan foi um cientista planetário, astrônomo, astrobiólogo, astrofísico, escritor e divulgador científico. Em sua obra *Cosmos* (1980), Sagan reflete sobre a possibilidade de vida inteligente em outros mundos e a importância de sermos responsáveis no contato com eventuais civilizações alienígenas.

Questões éticas e filosóficas são expostas de tempos em tempos, camufladas sob a ótica da ficção científica em séries, filmes e na literatura. Podemos usar como exemplo os filmes *Contato*, *A Chegada*, *Independence Day* e *O dia em que a Terra parou*. Já entre as séries, temos *Star Trek*, *Outra Vida*, *V: Visitantes* e *O homem que caiu na Terra*. Em todos eles surgem um ponto em comum, como agiriam caso houvesse contato com uma vida extraterrestre.

Em *Star Trek*, o contato com outras formas de vida feita de forma irresponsável pode gerar grandes problemas no desenvolvimento daquela civilização. Para evitar tais problemas, a Federação dos Planetas Unidos utiliza a Primeira Diretriz, que rege o primeiro contato dos Oficiais da Frota Estelar com novas civilizações, que tem como redação:

DIRETRIZ 1 - Considerando que o direito de cada espécie consciente de viver de acordo com a sua evolução cultural normal é sagrado, nenhum membro da Frota Estelar pode interferir com o desenvolvimento normal e saudável da vida e da cultura de uma espécie alienígena. Essa interferência inclui a introdução de conhecimentos, força ou tecnologia superiores num mundo cujo a sociedade é ainda incapaz de lidar com essas vantagens sabiamente. Os membros da Frota Estelar não podem violar esta Primeira Diretriz, mesmo para salvar as suas vidas e/ou a sua nave, a não ser que eles estejam a corrigir uma anterior violação ou contaminação desta diretriz. Esta diretriz tem precedência sobre todas as outras considerações, e carrega consigo a maior obrigação moral (Star Trek, 1966-2023).

Ao analisar antropologicamente os efeitos dessa diretriz, podemos chegar ao consenso de que ela foi criada a partir das experiências dos seres humanos durante sua história.

Star Trek tornou-se cultuada graças à abordagem humanista que fez de temas essenciais e à crença iluminista na ciência, na tecnologia e na democracia. A odisseia da Enterprise por galáxias 'nunca antes navegadas' é uma metáfora da aventura humana ao longo dos séculos no nosso próprio planeta, principalmente na era das

grandes navegações e de descobrimentos de novos mundos, povos e culturas. E essa aventura traz os mais nobres ideais da modernidade, como a luta pela democracia contra a tirania e do conhecimento científico contra a intolerância e os fanatismos religiosos. E existem ainda vários aspectos econômicos, estéticos e culturais; que tornam a franquia Star Trek bastante relevante para os estudos narrativos: o pioneirismo em termos de ficção científica na televisão; os esquemas narrativos e discursivos que passaram a ser adotados por outros seriados de televisão; a participação da audiência através de fãs clubes e eventos periódicos; para citar os mais significativos (Gomes, 2016, p. 21).

Ainda observando de uma perspectiva antropológica, pode-se analisar a visão de um primeiro contato feito entre civilizações com diferentes níveis tecnológicos e suas consequências, como é identificado na Figura 1.

**Figura 1:** Conquista de México por Cortés



**Fonte:** Domínio Público/ Creative Commons/ Wikimedia Commons.

A Figura mostra a conquista de Tenochtitlán por Cortez, que utilizou de sua superioridade bélica, técnicas militares e a exposição dos Astecas a epidemias às quais não tinham imunidade foram algumas das possíveis razões da derrota desse grande império americano. Segundo Ribeiro *et al.* (2018, p. 187):

Tenochtitlán, o centro do poder, era repleta de templos, palácios e riquezas e com uma população de cerca de 25 milhões e fora conquistada pela Espanha em 13 de agosto de 1521, com a captura do novo governante, Cuauhtémoc, e a total dissolução do Império Asteca, entrando para a História também como símbolo de choque de culturas e valores de sociedades.

Vieram de terras distantes de que ninguém ouvira falar, em naves estranhas e espantosas, usando uma tecnologia com a qual só poderíamos sonhar. Vieram com armaduras e escudos mais fortes do que qualquer coisa que já tivéssemos visto. Falavam uma língua desconhecida e, com eles, trouxeram estranhas bestas. Todos se perguntavam: Quem são? De onde vêm? Alguns diziam serem mensageiros das estrelas. Outros sussurravam que eram como deuses vindos do céu. Infelizmente, estavam todos errados. Corria o fatídico ano de 1519 quando Montezuma conheceu Hernán Cortés e os impérios asteca e espanhol entraram em choque. Cortés e seus conquistadores não eram mensageiros dos deuses, mas assassinos sedentos de ouro e do que mais pudessem pilhar. A civilização asteca levou milhares de anos para sair de dentro da floresta. Armada apenas de tecnologia da Idade do Bronze, contudo, foi

dominada e esmagada em questão de meses por soldados espanhóis. Ao avançarmos espaço adentro, uma lição a aprender desse trágico exemplo é a de que devemos ser cautelosos. Os astecas, afinal, estavam apenas alguns séculos atrás dos conquistadores espanhóis em termos de tecnologia (Kaku, 2019, p. 217).

Ao se observar a história da humanidade, pode-se idealizar o que aconteceria caso houvesse contato com civilizações extraterrestres. Conforme Liu “Não sabemos como é uma civilização extraterrestre, mas sabemos como é a humanidade” (Liu, 2016, p. 257).

## 8 Conclusão

A Astrobiologia é uma ciência que nos desafia a explorar os mistérios do universo e nossa própria existência. A busca por vida além da Terra é um empreendimento multidisciplinar que tem implicações profundas em nossa compreensão da vida, da evolução e do lugar da humanidade no cosmos.

Por meio de inúmeras pesquisas e descobertas, avançamos significativamente em nossa compreensão dos processos biológicos e dos ambientes que podem abrigar vida extraterrestre. As tecnologias avançadas de detecção e exploração espacial nos aproximam cada vez mais de respostas concretas. Contudo, é fundamental abordar a questão com responsabilidade ética e cultural. A busca por vida extraterrestre requer cautela para evitar a contaminação inadvertida e para lidar com as implicações de uma possível descoberta.

Sendo assim, a Astrobiologia continua a nos inspirar e desafiar, levando-nos a novas descobertas e a uma apreciação cada vez maior da diversidade e complexidade do universo. No entanto, é importante abordar a questão com responsabilidade ética e cultural. A busca por vida extraterrestre requer cautela para evitar a contaminação inadvertida e para lidar com as implicações de uma possível descoberta.

A descoberta de vida extraterrestre, seja ela microbiana ou inteligente, traria implicações filosóficas, éticas e socioculturais significativas e seria um evento revolucionário que mudaria para sempre a nossa compreensão do universo. É importante estarmos preparados para esse evento e para lidar com as implicações que ele traria. Questões como a origem da vida, a diversidade do universo e o lugar da humanidade no cosmos seriam reavaliadas.

O contato com uma civilização extraterrestre teria um impacto profundo na nossa cultura e sociedade. É importante considerar as implicações éticas e filosóficas de tal contato antes que ele se torne uma realidade. Deve-se observar a nossa história de perto, visto que temos tantos exemplos de encontro entre civilizações em diferentes níveis de tecnologia e cultura, em que a

civilização menos evoluída foi destruída, escravizada ou incorporada à civilização mais evoluída.

Porém, devido à sua complexidade e multidisciplinaridade, o estudo da astrobiologia apresenta desafios a serem superados. No contexto da **origem da vida**, é necessário compreender como a vida surgiu na Terra é um enigma fundamental da Astrobiologia. O processo exato pelo qual moléculas inorgânicas evoluíram para organismos vivos ainda não é completamente conhecido. Sobre as **condições extremas**, busca por vida extraterrestre muitas vezes se concentra em ambientes extremos, como os oceanos subterrâneos de luas geladas (por exemplo, Europa e Encelado) ou em exoplanetas com condições extremas. Descobrir a vida em ambientes tão hostis é um grande desafio.

Quanto à procura por **vida extraterrestre**, é preciso identificar sinais inequívocos de vida em outros planetas ou luas é complicado, uma vez que precisamos desenvolver tecnologias e instrumentos avançados capazes de detectar formas de vida muito diferentes daquelas encontradas na Terra. Sobre a **contaminação interplanetária**, à medida que exploramos outros planetas e luas, devemos ter cuidado para evitar a contaminação biológica desses ambientes com organismos terrestres e, também, evitar trazer inadvertidamente material biológico extraterrestre para a Terra.

Em relação às **distâncias astronômicas** entre a Terra e exoplanetas potencialmente habitáveis, elas são imensas, dificultando a realização de missões para estudá-los de perto. A comunicação também é um desafio, pois as mensagens de rádio podem levar anos ou mesmo séculos para chegar a destinos distantes. Sobre **financiamento e suporte**, a pesquisa em Astrobiologia requer recursos financeiros significativos e apoio contínuo de governos, instituições e agências espaciais. A competição por financiamento pode ser acirrada, o que pode afetar o progresso da pesquisa.

Em relação à **ética da exploração espacial**, a busca por vida extraterrestre levanta questões éticas sobre como devemos nos comportar se encontrarmos evidências de vida em outros mundos. Precisamos considerar as implicações éticas e morais de nossas ações. Por fim, consideramos as **limitações tecnológicas** atuais para a realização de missões astrobiológicas ambiciosas. Avanços tecnológicos são essenciais para superar esses desafios.

## Referências

CARAMASCHI, L., **O malho e o cinzel**: temas maçônicos. Piraju: Editora Sociedade Filosófica Luiz Caramaschi, 2006.

CERINI, M. F. **Simulações ambientais e caracterização espectroscópica *in situ* de potenciais bioassinaturas moleculares para aplicação em missões espaciais**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) —Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: [teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-24092018-143528/pt-br.php](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-24092018-143528/pt-br.php). Acesso em: 21 mar. 2024.

DAMIÃO, A. P. O Renascimento e as origens da ciência moderna: Interfaces históricas e epistemológicas. **Revista PUC-SP**, v. 17, p. 22-49, 2018. DOI: [doi.org/10.23925/2178-2911.2018v17p22-49](https://doi.org/10.23925/2178-2911.2018v17p22-49). Disponível em: [revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/34411/25535](https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/34411/25535). Acesso em: 21 mar. 2024.

DARTNELL, L. **Life in the Universe A Beginner's Guide**. Oxford: Oneworld Publications, 2007.

DRAKE, F. Radio emission from the planets. **Physics Today**, [on-line], v. 14, n. 4, p. 30-34, abr. 1961. DOI: [doi.org/10.1063/1.3057498](https://doi.org/10.1063/1.3057498).

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Homepage**. Disponível em: [esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Webb](https://esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb). Acesso em: 21 nov. 2023

GALANTE, D. *et al.* **Astrobiologia: uma ciência emergente**. São Paulo: Tikinet Edição: IAG/USP, 2016.

GILBERT, W. Origin of Life: The RNA world. **Nature**, [on-line], v. 319, p. 618, 20 Feb. 1986. DOI: [doi.org/10.1038/319618a0](https://doi.org/10.1038/319618a0). Disponível em: [nature.com/articles/319618a0.pdf](https://nature.com/articles/319618a0.pdf). Acesso em: 21 mar. 2024.

GOMES, M. B. **Universos sci-fi audiovisuais: estudos narrativos transmídia II**. João Pessoa: Marca de Fantasia, 2016.

GREENBERG, R. **Europe: The Ocean Moon**. Springer Science & Business Media, 2005.

KAKU, M., **O futuro da humanidade: Marte, viagens interestelares, imortalidade e nosso destino para além da Terra**. 2019. Edição do Kindle.

NASA. Kepler Exoplanet Mission. **JLP Jet Propulsion Laboratory**. Disponível em: [jpl.nasa.gov/missions/kepler](https://jpl.nasa.gov/missions/kepler). Acesso em: 27 ago. 2023.

LIU, C. **O problema dos três corpos**. Tradução de Leonardo Alves. Rio de Janeiro: Suma, 2016.

MACIEL, W. J. Formação dos elementos químicos. **Revista USP**, São Paulo, n. 62, p. 66-73, jun/ago 2004. DOI: [doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i62p66-73](https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i62p66-73). Disponível em: [astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/artigos/elementos/elementos.html](https://astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/artigos/elementos/elementos.html). Acesso em: 21 mar. 2024.

MACIEL, W. J. **Fundamentos de evolução química da Galáxia**. São Paulo: IAG-USP. 2020.

- MILONE, A. C. *et al.* **Introdução à Astronomia e Astrofísica**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Divisão de Astrofísica, São José dos Campos, 2018. Disponível em: [inpe.br/ciaa2018/arquivos/pdfs/apostila\\_completa\\_2018.pdf](http://inpe.br/ciaa2018/arquivos/pdfs/apostila_completa_2018.pdf). Acesso em: 14 mar. 2024.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **James Webb Space Telescope**, [s. d.]. Disponível em: [www.nasa.gov/mission\\_pages/webb/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/webb/main/index.html). Acesso em: 21 nov. 2023.
- NOGUEIRA, S. **Extraterrestres: onde eles estão e como a Ciência tenta encontrá-los**. São Paulo: Abril, 2014. 256 p. il. color.; 23 cm. (Superinteressante).
- OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Evolução Final das Estrelas**. [S. l.]: UFRGS, 2022. Disponível em: [astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm](http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm). Acesso em: 14 mar. 2024.
- PILLING, S.; ROCHA, W. R. M. **3 - O meio interestelar e as estrelas**. São José dos Campos: UniVap, 2009. Disponível em: [www1.univap.br/spilling/AQ/Aula%2003%20-%20Estrelas%20e%20o%20meio%20interestelar.pdf](http://www1.univap.br/spilling/AQ/Aula%2003%20-%20Estrelas%20e%20o%20meio%20interestelar.pdf). Acesso em: 14 mar. 2024.
- RIBEIRO, A. F. M. *et al.* As razões da conquista de Tenochtitlán (1519-1521) contidas na narrativa de Hernan Cortez. **Revista Thema**, Pelotas, v. 15, n. 1, p. 186-196, 2018. DOI: 10.15536/thema.15.2018.186-196.772. DOI: [doi.org/10.15536/thema.15.2018.186-196.772](https://doi.org/10.15536/thema.15.2018.186-196.772). Disponível em: [periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/772/732](http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/772/732). Acesso em: 27 ago. 2023.
- SOUZA, I. R. *et al.* **Genética evolutiva**. Florianópolis: UFSC, 2011.
- STAR TREK. Direção: Gene Roddenberry. Roteiro: Gene Roddenberry. Estados Unidos: Paramount Television, 1966-2023.
- TSIARAS, A. *et al.* Water vapour in the atmosphere of the habitable-zone eight-Earth-mass planet K2-18 b. **Nature Astronomy**, v. 3, p. 1086-1091, 2019. DOI: [doi.org/10.1038/s41550-019-0878-9](https://doi.org/10.1038/s41550-019-0878-9).
- TYSON, N. D. **Astrofísica para apressados**. Tradução de Alexandre Martins. 3. ed. São Paulo: Planeta do Brasil, 2017.
- TYSON, N. D.; GOLDSMITH, D. **Origens: catorze bilhões de anos de evolução cósmica**, Tradução de Rosaura Eichenberg. 14. ed. São Paulo: Planeta do Brasil, 2015.
- VIEIRA, F. *et al.* Habitabilidade cósmica e a possibilidade de existência de vida em outros locais do universo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4308, 2018. DOI: [doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0325](https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0325). Disponível em: [scielo.br/j/rbef/a/wmQmmnwkxMk49x6mMSpRzKc/?format=pdf](http://scielo.br/j/rbef/a/wmQmmnwkxMk49x6mMSpRzKc/?format=pdf). Acesso em: 21 mar. 2024.
- WEBB, S. **If the Universe is teeming with Alien... Where is everybody?** Seventy-five solutions to the Fermi Paradox and the Problem of Extraterrestrial. 2. ed. Londres: Springer Nature, 2015. DOI: [doi.org/10.1007/978-3-319-13236-5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-13236-5).