

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FELIPE OLIVEIRA DA CUNHA SILVA

As Origens:

Uma história de 13,7 bilhões de anos.

Uberlândia

2024

FELIPE OLIVEIRA DA CUNHA SILVA

As origens:

Uma história de 13,7 bilhões de anos.

Trabalho de Conclusão de Curso do
Instituto de Ciências Biológicas da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
licenciado em Ciências Biológicas

Área de concentração: Paleontologia

Orientador: Victor Alberto Tagliacollo

Uberlândia

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

FELIPE OLIVEIRA DA CUNHA SILVA

As Origens:

Uma história de 13,7 bilhões de anos.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biologia da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
licenciado em Ciência Biológicas

Área de concentração: Paleontologia

Uberlândia, 14 de novembro de 2024

Banca Examinadora:

Victor Alberto Tagliacollo – Doutor (UFU)

Daniela Franco Carvalho – Doutora (UFU)

André Barcelos Silveira – Doutor (UFU)

Dedico este trabalho aos meus pais,
pelo empenho na minha criação, estímulo,
carinho e compreensão, a meus avós, a quem
sempre muito me ensinaram e ficaram muito
orgulhosos de minhas conquistas. E em
especial a minha esposa por todo apoio e
amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço também a meus pais, Sirlene Silva de Oliveira Cunha e Valdemir José da Cunha Silva, que do modo simples de viver, jamais desistiram de mim e sempre fizeram tudo que puderam para que eu atingisse meus objetivos. A meu irmão Yan, por me fazer sempre servir de exemplo, me tornando uma pessoa melhor.

Agradeço minha esposa Renata Oliveira Crosara Alvim, por todo carinho, dedicação, amor e compreensão. Uma mulher guerreira que me ensina a todo dia como ser forte, resiliente e sempre perseverar.

Agradeço ao professor e amigo Victor Alberto Tagliacollo pelo incentivo, motivação, orientação e apoio no retorno para esta caminhada acadêmica, com sua paciência e compreensão sob minhas condições, soube me guiar e instruir nesta conquista.

Agradeço a Profa. Dra. Celine de Melo, minha primeira orientadora, por me ensinar o que é ciência de verdade.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica concedida durante os anos do curso.

Agradeço também, a coordenação do Instituto de Biologia, e ao Colegiado do curso de Biologia da Universidade federal de Uberlândia, por permitir o meu retorno as atividades após meu afastamento.

“A ausência da evidência não
significa evidência da ausência.”

(William Wrigth, 1895)

RESUMO

A origem do universo e a formação do planeta Terra são temas centrais nas ciências biológicas, especialmente na paleontologia, pois ajudam a compreender a evolução da vida. A nucleossíntese, processo de formação de elementos químicos em ambientes astrofísicos, ocorre predominantemente nas estrelas. Entre as décadas de 1940 e 1950, surgiram as hipóteses principais sobre a origem dos elementos no sistema solar. A primeira, a nucleossíntese do Big Bang, explica a formação de elementos leves, como hidrogênio e hélio, logo após a criação do universo. No entanto, não consegue justificar a formação de elementos mais pesados, como carbono e oxigênio, essenciais para a vida. A segunda hipótese, a nucleossíntese estelar, descreve como as estrelas produzem elementos pesados por meio de reações nucleares e, ao explodirem em supernovas, dispersam materiais enriquecidos no espaço, formando novas estrelas e planetas. A formação da Terra ocorreu em regiões conhecidas como nebulosas, onde a gravidade supera a pressão do gás, resultando na formação de novas estrelas e discos protoplanetários. Material rochoso próximo à estrela forma planetas terrestres, enquanto em distâncias maiores, gases e gelo se acumulam, gerando gigantes gasosos. Meteoritos de Marte indicam que este planeta pode ter abrigado água em estado líquido, levando à hipótese de que a vida poderia ter surgido em Marte, levantando a possibilidade de panspermia, onde a vida poderia ter uma origem comum entre os dois planetas. O Modelo do Impacto Gigante explica a formação da Lua, sugerindo que um objeto do tamanho de Marte colidiu com a Terra primitiva, resultando na ejeção de detritos que formaram a Lua. Após o impacto, a Terra esfriou, permitindo a formação de oceanos, essenciais para a vida. Para que a vida exista, são necessários água líquida, matéria orgânica e condições adequadas para a formação de nucleotídeos. O experimento de Stanley Miller em 1953 demonstrou que moléculas orgânicas básicas podem ser sintetizadas em condições simulando a Terra primitiva, apoiando a teoria da abiogênese. A panspermia sugere que a vida poderia ter sido trazida à Terra por meteoritos. A transição da matéria orgânica para formas de vida autossustentáveis continua a ser um grande mistério da ciência. A nucleossíntese, a formação estelar e as condições para a vida estão interligadas, moldando a Terra e o universo, e suas investigações iluminam as origens de nossa existência.

Palavras-chave: Origem; Nucleossíntese; Terra; vida; universo; panspermia.

ABSTRACT

The origins of the universe and the formation of planet Earth are central themes in the biological sciences, especially in paleontology, as they help us understand the evolution of life. Nucleosynthesis, the process of forming chemical elements in astrophysical environments, predominantly occurs within stars. In the 1940s and 1950s, the primary hypotheses regarding the origin of elements in the solar system emerged. The first, Big Bang nucleosynthesis, explains the formation of light elements, such as hydrogen and helium, shortly after the creation of the universe. However, it does not account for the formation of heavier elements, such as carbon and oxygen, which are essential for life. The second hypothesis, stellar nucleosynthesis, describes how stars produce heavier elements through nuclear reactions and, upon exploding as supernovae, disperse enriched materials into space, contributing to the formation of new stars and planets. Earth's formation took place in regions known as nebulae, where gravity overcomes gas pressure, leading to the birth of new stars and protoplanetary disks. Rocky material near the star coalesces to form terrestrial planets, while gases and ice at greater distances accumulate to create gas giants. Martian meteorites indicate that Mars may have once harbored liquid water, leading to the hypothesis that life could have originated on Mars. This raises the possibility of panspermia, the idea that life on Earth and Mars may share a common origin. The Giant Impact Hypothesis, which explains the Moon's formation, suggests that an object the size of Mars collided with early Earth, ejecting debris that eventually formed the Moon. Following this impact, Earth cooled, enabling the formation of oceans, which are essential for life. For life to exist, liquid water, organic matter, and suitable conditions for nucleotide formation are necessary. Stanley Miller's 1953 experiment demonstrated that basic organic molecules can be synthesized under conditions mimicking those of early Earth, supporting the theory of abiogenesis. The panspermia hypothesis suggests that life may have been delivered to Earth by meteorites. The transition from organic matter to self-sustaining life forms remains one of science's greatest mysteries. Nucleosynthesis, stellar formation, and the conditions required for life are interconnected, shaping both Earth and the universe, and their study illuminates the origins of our existence.

Keywords: Origins; Nucleosynthesis; Earth; life; universe; panspermia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	A sequência de cadeias da reação no Big Bang	19
Figura 2 -	Remanescente de supernova W49B	22
Figura 3 -	Nebulosa da de Órion	23
Figura 4 -	Valles Marineris, superfície de Marte vista do espaço.....	27
Figura 5 -	Foto da Lua por um telescópio na Terra.....	29
Figura 6 -	Estomatólitos, lago Thetis, Austrália.....	33
Figura 7 -	Estrutura do DNA.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
UA	Unidade Astronômica
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
RNA	Ácido Ribonucleico
DNA	Ácido Desoxirribonucleico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	DESENVOLVIMENTO	14
4	METODOLOGIA	15
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1	Origem da matéria	17
5.1.1	Nucleossíntese	17
5.1.2	Nucleossíntese do Big Bang e a origem dos átomos	18
5.1.3	Fusão Nuclear e a Nucleossíntese Estelar	19
5.1.4	Nucleossíntese em Supernovas e Processos de Captura de Nêutrons	20
5.2	Nebulosas e formação das estrelas	21
5.2.1	Origem do Sistema Solar	24
5.3	Origem de Marte	25
5.4	Origem da Lua	27
5.5	Origem da Terra	28
5.6	Origem da Vida	29
5.6.1	O DNA é vida, ou RNA?	31
6	CONCLUSÃO	36
7	GLOSSÁRIO	36

1 INTRODUÇÃO

A origem do universo e a formação do planeta Terra são temas fundamentais no estudo das ciências naturais e, em particular, da paleontologia, especialmente no contexto da compreensão da origem e evolução da vida. A paleontologia, ao investigar fósseis e a evolução das formas de vida extintas, proporciona uma visão ampla e contextualizada sobre as condições que permitiram o surgimento e o desenvolvimento dos seres vivos, desde os microrganismos até os maiores tetrápodes que habitaram o planeta. De fato, estudar paleontologia é compreender a história dos seres vivos e nossa própria história, inserida em um complexo processo que abrange, entre outros aspectos, a evolução da cultura, das linguagens, dos valores, das crenças e da própria ciência acadêmica (SANTOS; FARIAS, 2023). Esse processo é moldado pela interação contínua entre vida e ambiente ao longo de milhões de anos. Nesse sentido, a paleontologia desempenha um papel fundamental ao oferecer uma perspectiva abrangente e temporal sobre as transformações biológicas e os processos geológicos que caracterizaram as diferentes épocas da Terra, moldando os padrões evolutivos e ligando o passado ao presente por meio do estudo de registros fósseis e de outros vestígios de tempos remotos (COSTA; SCHEID, 2022).

Considerando o atual cenário da educação no Brasil, marcado pela deficiência no conhecimento científico e pela disseminação de fake news nas mídias sociais, torna-se fundamental contextualizar a evolução biológica e geológica para os estudantes visto que, as fake news têm trazido para as Ciências, e especificamente para a Biologia, diversos problemas em sua epistemologia e na sua confiabilidade como um todo (Pinto, B. C. T. et al., 2022). Dessa forma, surge a necessidade de uma proposta pedagógica para o ensino de paleontologia, com material atualizado e personalizado para atender às diferentes demandas regionais dos cursos de graduação em Ciências Biológicas. Esta monografia visa desenvolver materiais didáticos, textos de apoio, planos de aula e questões de reforço de conteúdo, concebidos de forma transversal e alinhados com as diretrizes do Ministério da Educação, para serem utilizados em aulas de paleontologia. O objetivo é, especificamente, abordar um tema raramente explorado nas disciplinas de paleontologia: a origem do universo, desde sua formação há aproximadamente 13,7 bilhões de anos. Ao traçar esse percurso, desde o surgimento das primeiras galáxias até a formação do planeta Terra e as primeiras formas de vida, o material ilustra como a paleontologia pode oferecer insights sobre as condições ideais que possibilitaram o surgimento da vida que conhecemos atualmente. Para atingir esse objetivo, torna-se necessário realizar revisões bibliográficas aprofundadas. Em áreas como a paleontologia, essas

revisões desempenham um papel central na construção do conhecimento, pois permitem a reavaliação de conceitos e descobertas anteriores, agregando novas interpretações baseadas em dados mais recentes. Com isso, consolidam e atualizam saberes, enriquecendo a formação acadêmica e promovendo um aprendizado contínuo e reflexivo.

A proposta pedagógica desta monografia inclui a elaboração de um capítulo introdutório para um livro didático, destinado a auxiliar alunos e docentes no ensino da disciplina de Paleontologia para o curso de Ciências Biológicas. Esse capítulo abordará a origem do universo e a formação da Terra, introduzindo como os elementos e condições necessários para a vida se estabeleceram em nosso planeta há bilhões de anos atrás. Esse enfoque visa oferecer uma base sólida para a compreensão de temas complexos, como a evolução biológica, através de uma abordagem interdisciplinar que integra conhecimentos de física, química e ciências da Terra. Além do conteúdo teórico como o texto de apoio para as aulas, a monografia inclui recursos como um plano de aula, um glossário e questões avaliativas, que têm como objetivo reforçar a compreensão dos alunos e facilitar a prática pedagógica dos docentes. Esses recursos foram projetados para otimizar o processo de ensino e aprendizado, fornecendo informações e atividades que conectam o conhecimento teórico à aplicação prática. Dessa forma, os alunos chegarão às aulas com uma compreensão prévia sobre o tema, promovendo uma interação mais enriquecedora e produtiva com o docente. Espera-se que esta monografia beneficie os estudantes da disciplina de paleontologia ao proporcionar uma compreensão completa sobre a história do planeta e a importância das descobertas paleontológicas para a ciência.

2 DESENVOLVIMENTO

Na busca incansável para explicar a magnitude do universo, a humanidade, ao longo dos séculos, formulou teorias que tentam desvendar os mistérios das origens. Essa jornada nos leva a explorar desde a gênese das menores partículas da matéria até o magnífico planeta que habitamos: a Terra. Assim como na obra “De Primatas a Astronautas”, de Leonard Mlodinow (2015), esta monografia apresenta uma viagem pela história cósmica, revelando a complexidade e a beleza do universo, que se desdobram em cada nível, desde as partículas subatômicas até os vastos sistemas galácticos. Para compreender a origem do nosso planeta, é fundamental reconhecermos uma regra: tudo no universo é constituído por átomos. Esses átomos são as unidades fundamentais da matéria e são formados através de processos complexos que ocorreram em escalas de tempo cósmico. A jornada para a formação dos átomos começa no início do universo, em um evento conhecido como Big Bang, que ocorreu há aproximadamente 13,7 bilhões de anos (NOWATZKI, 1997). Este evento deu origem ao espaço e ao tempo e lançou as bases para a formação dos elementos químicos que compõem tudo o que existe.

Os primeiros minutos após o Big Bang foram marcados pela nucleossíntese primordial, um processo em que as condições extremas permitiram a fusão de prótons e nêutrons, formando os primeiros núcleos atômicos de hidrogênio, hélio e pequenas quantidades de lítio e berílio (Figura 1).

Esse processo estabeleceu a abundância relativa dos elementos que compõem o universo. Com o passar do tempo, à medida que o universo se expandia e esfriava, essas partículas se combinaram para formar átomos, que mais tarde se aglomerariam em estrelas. A nucleossíntese estelar ocorre dentro das estrelas, onde a fusão nuclear transforma elementos mais leves em elementos mais pesados, como carbono, oxigênio e ferro. Quando essas estrelas massivas chegam ao fim de suas vidas, explodem em eventos cataclísmicos conhecidos como supernovas. Esses fenômenos dispersam os elementos recém-formados no espaço, e semeiam o cosmos com materiais que eventualmente formarão novas estrelas, planetas e até mesmo as condições ideais para a origem da vida nos planetas.

As nebulosas, nuvens de gás e poeira, são os berços das estrelas, onde a gravidade inicia o processo de formação estelar. Essas regiões de formação estelar desempenham um papel na origem do Sistema Solar. Formado há cerca de 4,6 bilhões de anos a partir de uma nebulosa primordial, o Sistema Solar se organizou através de processos de acreção, resultando na formação dos planetas, incluindo a Terra (STEINER, 2006). A origem da Lua, segundo o

modelo do impacto gigante, sugere que a Terra colidiu com um corpo do tamanho de Marte, resultando na formação do nosso satélite natural. Este impacto moldou a geologia da Terra e influenciou seu ambiente, estabilizando a inclinação axial do planeta e permitindo o desenvolvimento de um clima favorável à vida como conhecemos.

A história da Terra, desde sua formação como um corpo planetário quente e em fusão, passando pela prototerra e pelas primeiras rochas, é uma narrativa complexa que culmina na origem da vida. A busca por entender como a vida surgiu em nosso planeta é um dos maiores desafios da ciência. Várias teorias foram propostas, incluindo a hipótese de que a vida pode ter surgido em ambientes extremos, como fontes hidrotermais ou nas superfícies de asteroides que colidiram com a Terra primitiva. Ao explorarmos a história do universo, desde a nucleossíntese até a formação da vida, entendemos que somos feitos das mesmas estrelas que iluminam o céu. O estudo da origem do universo e da vida não é apenas uma investigação científica; é também uma reflexão sobre nossa própria existência e lugar no cosmos. Cada descoberta nos aproxima mais das respostas que buscamos sobre nossas origens, revelando a interconexão entre todos os elementos do universo. Através desta monografia, espero iluminar os caminhos que nos levaram a este ponto, em uma jornada que abrange bilhões de anos e que continua a se desenrolar à medida que exploramos os mistérios do cosmos.

4 METODOLOGIA

A construção do capítulo foi realizada com uma abordagem qualitativa, orientada pela revisão crítica de livros didáticos, artigos científicos e demais textos acadêmicos disponibilizados pelo professor orientador. A metodologia seguiu as seguintes etapas principais:

- **Levantamento de Referências:** Com o apoio do professor, foi feito um levantamento inicial de materiais relevantes, priorizando fontes confiáveis e com embasamento científico sobre o tema da origem do universo e formação da Terra.
- **Avaliação e Interpretação do Conteúdo:** As referências foram analisadas detalhadamente para identificar conceitos fundamentais e novas perspectivas sobre o tema. Essa avaliação permitiu a seleção de informações-chave para compor o material de apoio de forma contextualizada e precisa.
- **Estruturação dos Conteúdos:** Com base na análise dos materiais, os principais pontos foram organizados em uma sequência lógica, definindo tópicos e subtemas que facilitam

a compreensão gradual do tema, desde a formação do universo até as condições que possibilitaram o surgimento da vida.

- **Redação e Revisão do Capítulo:** A redação foi conduzida em etapas, com revisões frequentes para garantir a clareza e fidelidade das informações. O conteúdo foi organizado em uma sequência que inclui introdução, desenvolvimento e conclusões. Após cada versão, foi realizada uma revisão minuciosa, incorporando sugestões do professor para assegurar um conteúdo de alta qualidade.

Esse processo metodológico buscou garantir que o capítulo produzido oferecesse uma visão clara e informativa sobre a origem do universo e as bases para o surgimento da vida, servindo como um material educativo valioso para professores e estudantes interessados no tema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Origem da matéria

Ao pensarmos em qualquer elemento à nossa volta, seja um objeto, alimento ou até mesmo outra pessoa, estamos nos referindo a algo constituído de matéria. O universo inteiro que conhecemos é feito dessa substância, mas o que é exatamente a matéria? De forma simplificada, a matéria é formada por átomos, as pequenas partículas que compõem tudo à nossa volta, desde o ar que respiramos até aos materiais de uso diário (VASCONCELOS & MEIRELLES, 2024), que se organizam de maneiras específicas para compor tudo no universo. Mas, se toda a matéria é composta por átomos, como esses átomos foram gerados? A resposta remonta à origem do universo e aos processos que explicam a origem dos elementos químicos, conhecidos coletivamente como nucleossíntese. A nucleossíntese refere-se à formação de novos núcleos atômicos, processo que ocorreu em diferentes fases do universo e explica a criação dos 118 elementos químicos conhecidos (incluindo os aproximadamente 80 que ocorrem naturalmente), bem como seus 339 isótopos. Essas etapas de formação nuclear são categorizadas em três tipos principais: Nucleossíntese do Big Bang, Nucleossíntese Estelar e a Nucleossíntese de Supernova. Esses processos nucleares ao longo de bilhões de anos permitiram a formação dos elementos que, atualmente, constituem a diversidade de materiais e seres que encontramos no universo. A compreensão da nucleossíntese é, portanto, essencial para a paleontologia e outras ciências, pois ajuda a elucidar as origens dos elementos essenciais à formação de planetas e à vida.

5.1.1 Nucleossíntese

Entre todas as teorias elaboradas para explicar a origem do universo, a que mais se destaca é a do Big Bang. O termo "Big Bang", ou Grande Explosão, foi cunhado em 1950 pelo astrônomo britânico Fred Hoyle. No entanto, a base desse modelo foi estabelecida ainda em 1927, quando o padre jesuíta belga Georges Lemaître propôs a teoria do "átomo primordial". Com base na Teoria da Relatividade Geral de Einstein e nas ideias do matemático e físico russo Aleksander Friedmann sobre um universo em expansão, Lemaître sugeriu que o universo surgiu de um único ponto extremamente denso e quente que começou a se expandir. Conforme essas teorias modernas da cosmologia descrevem, independentemente da forma exata do início, toda a energia e matéria que compõem o universo surgiram de uma "singularidade" que se expandiu rapidamente em uma fração de segundo, aproximadamente em 10^{-35} segundos (Turner, 2010).

Esse evento fundamental ocorreu há cerca de 13,7 bilhões de anos, data estimada com base na observação da radiação cósmica de fundo e na expansão das galáxias.

Após o Big Bang, uma série de processos nucleares começaram a ocorrer, dando origem a toda a matéria existente no universo. Esses processos são chamados de nucleossíntese e descrevem a formação dos núcleos atômicos e, conseqüentemente, de todos os elementos químicos. A nucleossíntese também explica como esses elementos interagem com a energia, outros átomos e a radiação cósmica. Esse campo de estudo permanece uma área de investigação ativa dentro da astrofísica e, especialmente, da física de partículas. No decorrer do século XX, com o advento das tecnologias, descobriram que os elementos como conhecemos não surgiram todos de uma única só vez. Na verdade, eles foram surgindo aos poucos, na medida em que as condições do espaço foram se tornando ideais para sua formação (BURBIDGE et al., 1957). Compreende-se que hoje existem três momentos diferentes de formação, ou três teorias de nucleossíntese diferentes. A primeira delas, a Nucleossíntese do Big Bang, primordial que deu origem aos elementos mais leves, em seguida, a Nucleossíntese Estelar, que ocorre dentro das estrelas já formadas e, por fim, as Supernovas, dando origem aos elementos mais pesados e com maior número atômico.

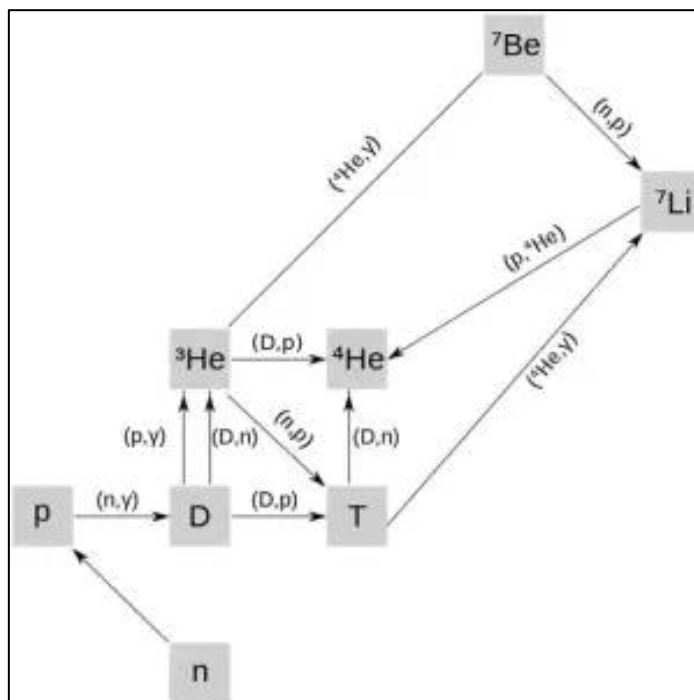
5.1.2 Nucleossíntese do Big Bang e a origem dos átomos

Desde meados do século XX, o Big Bang é amplamente reconhecido como o evento responsável pela criação do universo tal como o conhecemos. Como descrito por (Turner, 2010), graças ao trabalho pioneiro de físicos e pesquisadores nucleares, nossa compreensão dos processos que ocorreram desde o primeiro milissegundo de existência do universo até o presente se ampliou consideravelmente. Em 1948, o físico George Gamow propôs que os elementos químicos se formaram a partir de partículas elementares oriundas de um universo extremamente quente e denso, uma ideia corroborada mais tarde pela descoberta da Radiação Cósmica de Fundo. Esse fenômeno foi previsto por Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman, e detectado em 1965 pelos cientistas Arno Penzias e Robert Wilson. Entre aproximadamente 10⁻⁶ segundos e alguns segundos após o Big Bang, partículas fundamentais como os quarks começaram a se combinar para formar hádrons (como prótons e nêutrons) e bárions, os blocos constituintes da matéria.

Um processo crucial nessa fase inicial foi a chamada Assimetria Bariônica, um fenômeno em que quantidades ligeiramente diferentes de matéria e antimatéria foram criadas. Embora a

matéria e a antimatéria tenham surgido em quantidades quase iguais, a pequena diferença observada, de cerca de uma partícula de antimatéria para cada 10^{10} partículas de matéria (Canetti et al., 2012), permitiu que uma fração de matéria sobrevivesse após as aniquilações iniciais. Poucos segundos após o Big Bang, em um intervalo de tempo entre 10 e 103 segundos, a temperatura e a densidade do universo eram suficientemente altas para que os núcleos dos primeiros elementos se formassem. Nessa fase, surgiram hidrogênio-1 (o isótopo mais simples do hidrogênio), deutério (um isótopo de hidrogênio com um nêutron adicional), hélio-3, hélio-4 e lítio-7. Esses elementos iniciais formaram a base para a síntese de todos os outros elementos conhecidos no universo em condições específicas e durante fases posteriores.

Figura 1- A sequência de cadeias da reação no Big Bang



Fonte: ROSSETTI (2016).

A nucleossíntese do Big Bang indica que apenas os elementos mais leves foram criados durante essa fase inicial. Outra característica é que o processo de nucleossíntese é determinado pelas condições da fase inicial do universo, de forma independentemente do que aconteceu antes (ROSSETTI, 2016). À medida que o universo esfriava, prótons e nêutrons começaram a se combinar, formando núcleos leves como hidrogênio e hélio. Esses eventos ocorreram nos primeiros minutos após o Big Bang, e a energia liberada durante essas reações foi suficiente para dar origem à matéria que constitui o universo atual. A união de prótons e nêutrons formou

elementos até o limite do lítio-7. Ao tentar adicionar prótons ao lítio-7, os núcleos resultantes eram instáveis e rapidamente se decompunham de volta em núcleos de hélio, devido à insuficiência energética para estabilizar o “lítio-8” ou elementos mais pesados (BURBIDGE et al., 1957). Para a criação de elementos mais pesados que o lítio, foi necessário um ambiente mais complexo e estável, um processo que só poderia ocorrer dentro das estrelas, na chamada Nucleossíntese Estelar.

5.1.3 Fusão Nuclear e a Nucleossíntese Estelar

No interior das estrelas, ocorre o processo de fusão nuclear, responsável pela formação de elementos mais leves que o ferro-56. As estrelas, devido à sua enorme massa, consistem em aglomerados superaquecidos de hidrogênio e hélio. Enquanto a estrela estiver na SP (sequência principal), a transformação de hidrogênio em hélio no núcleo da estrela é o principal mecanismo de geração de energia. A uma temperatura mínima de cerca de 10^7 ° Kelvin, a sequência de reações nucleares que transforma quatro núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio é chamada de ciclo próton-próton (ou ciclo p-p) (DA CONCEIÇÃO & ORTIZ, 2024). Essa energia é essencial para sustentar a pressão interna que impede o colapso gravitacional da estrela e para viabilizar a formação de novos átomos. Resumidamente, dentro das estrelas, isótopos de hidrogênio como o deutério (hidrogênio-2, com um nêutron) e o trítio (hidrogênio-3, com dois nêutrons) se unem para formar hélio-4, uma reação que libera um nêutron e energia em forma de radiação. Conforme as reações de fusão progredirem, os núcleos atômicos resultantes se tornam progressivamente mais pesados, formando elementos até o ferro-56. Esse elemento específico é particularmente estável devido à sua configuração nuclear equilibrada entre forças atrativas e repulsivas, o que limita a liberação de energia através de fusão.

Para os elementos que estão à esquerda do ferro-56 na tabela periódica, a nucleossíntese estelar é suficiente para formá-los, pois a fusão libera energia ao formar núcleos mais pesados. Entretanto, ao atingir o ferro-56, a liberação de energia por fusão cessa. A partir desse ponto, o núcleo da estrela passa a acumular ferro e níquel, elementos pesados produzidos pelas reações internas e depositados no centro da estrela. Esse acúmulo progressivo marca a fase final da vida da estrela. Sem mais energia liberada pela fusão para sustentar o núcleo, a estrela começa a perder seu “combustível” e entra em colapso gravitacional. Esse estágio é conhecido como a “morte” da estrela. Quando a estrela esgota seu combustível nuclear, seu núcleo colapsa rapidamente. A enorme quantidade de nêutrons livres, carregados de energia, começa a interagir

em reações violentas. Nos momentos finais, a estrela se explode como uma supernova, liberando uma quantidade imensa de energia, sendo um dos eventos mais energéticos do universo.

5.1.4 Nucleossíntese em Supernovas e Processos de Captura de Nêutrons

Durante as explosões de supernova (Figura 2), elementos mais pesados que o ferro-56 são sintetizados através de processos intensos de captura de nêutrons e prótons. A fusão nuclear que ocorre nas estrelas gera elementos até o ferro-56, o restante na explosão das supernovas (BERTOLAMI & GOMES, 2018). Esses processos são conhecidos como captura rápida de nêutrons (processo-r), captura lenta de nêutrons (processo-s) e captura de prótons (processo-p). Cada um desses mecanismos é fundamental para a diversidade de elementos que observamos no universo.

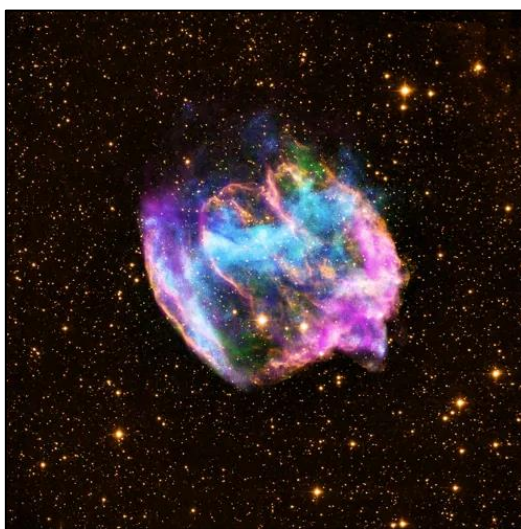
O processo-s (*slow neutron capture*, ou captura lenta de nêutrons) ocorre predominantemente em estrelas de massa elevada durante as fases finais de sua vida. Neste processo, nêutrons são adicionados gradualmente aos núcleos atômicos existentes. Por ser lento, ele permite que núcleos intermediários se estabilizem antes de capturar novos nêutrons (BURBIDGE et al., 1957). Um exemplo é o elemento prata com massa 109 (prata-109). Ao capturar um nêutron, ele se transforma em prata-110, que é instável e decai para cádmio-110. O processo segue com a captura de nêutrons adicionais, formando diferentes isótopos do cádmio (como cádmio-111, cádmio-112, etc.), até atingir uma configuração estável como o cádmio-114. No entanto, ao tentar adicionar um nêutron extra para formar cádmio-115, o núcleo se torna instável e decai para o índio-115, demonstrando que o processo-s possui limites de estabilidade. Esse processo é responsável pela formação de muitos isótopos estáveis, mas não é capaz de gerar isótopos mais pesados como o cádmio-116, o que exige um mecanismo diferente.

Para explicar a formação de isótopos mais pesados e instáveis, como o cádmio-116, ocorre o processo-r (*rapid neutron capture*, ou captura rápida de nêutrons). Esse processo se distingue pela captura de nêutrons em uma velocidade tão alta que os núcleos não têm tempo de decair antes de capturar nêutrons adicionais. Esse fenômeno ocorre em ambientes extremamente energéticos, como as explosões de supernova, onde a alta densidade de nêutrons livres permite a criação de elementos pesados e complexos rapidamente. No processo-r, núcleos

instáveis, como o cádmio-115, capturam nêutrons adicionais antes de decair para uma forma mais estável, permitindo que elementos pesados e ricos em nêutrons se formem, incluindo metais preciosos como ouro e platina. Este processo, exclusivo de ambientes de supernova, é crucial para a abundância de elementos pesados no universo.

Além dos processos s e r, existe o processo-p (proton capture, ou captura de prótons), que ocorre em ambientes onde há uma alta proporção de prótons em relação a nêutrons livres. Esse processo é responsável pela criação de elementos com uma alta razão de prótons para nêutrons, como o estanho-112. O processo-p requer condições altamente específicas e é relativamente raro, pois depende de uma abundância elevada de prótons e uma barreira energética que favoreça sua captura. Esse processo ocorre em algumas fases da evolução estelar e também em supernovas, contribuindo para a formação de elementos que são menos comuns devido às dificuldades energéticas de sua formação.

Figura 2-Remanescente de supernova W49B



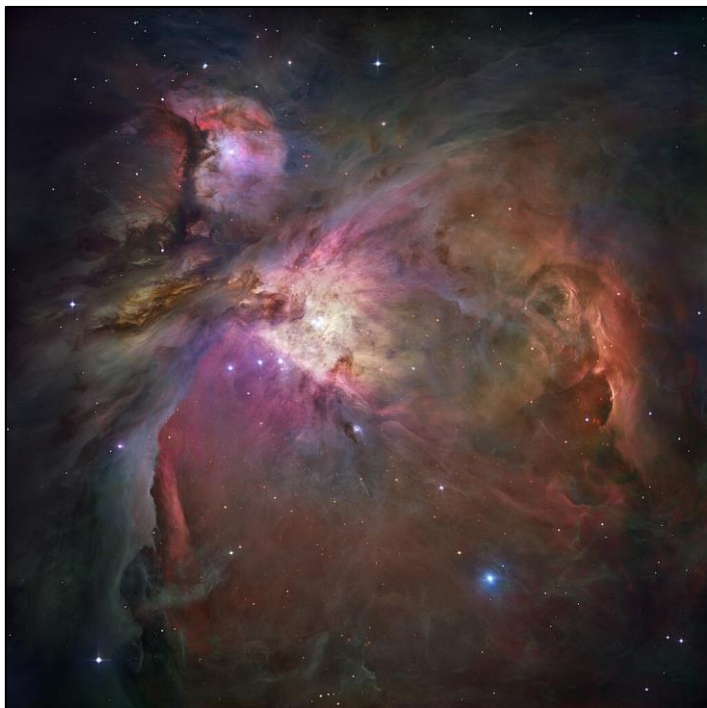
Fonte: NASA/CXC/MIT/L.Lopez et al.

5.2 Nebulosas e formação das estrelas

Acredita-se que o Big Bang tenha ocorrido há cerca de 13,7 bilhões de anos. Desde então, processos de nucleossíntese ocorreram continuamente, formando grandes quantidades de hidrogênio, hélio e outros elementos essenciais que permeiam o espaço. Esses elementos gasosos não se distribuem de forma homogênea no universo, mas, sob a influência da gravidade, tendem a agrupar-se, formando galáxias como a Via Láctea. Dentro das galáxias, esses elementos se concentram ainda mais em regiões chamadas nebulosas, que são aglomerados

densos de gases e poeira onde ocorre a formação estelar. Embora sejam regiões com grandes concentrações de gás, as nebulosas não são visíveis a olho nu, exceto com o auxílio de telescópios. Um exemplo famoso é a constelação de Órion, cuja nebulosa se torna visível apenas ao observarmos seu cinturão com um telescópio, ampliando a imagem.

Figura 3– Nebulosa da de Órion



Fonte: NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team, 2006.

As nebulosas, vastas em escala, são medidas em unidades de anos-luz e podem se estender por milhares de anos-luz, uma dimensão muito além do que a mente humana pode facilmente compreender (SANDSTROM et al., 1999). Embora pareçam ser regiões calmas quando vistas de longe, as nebulosas são, na realidade, áreas de intensa atividade energética. Dentro delas, ocorrem processos fundamentais, como a formação de estrelas e explosões de supernova. Mesmo com altas concentrações de gás, as nebulosas requerem ainda mais compressão gravitacional para formar estrelas e sistemas planetários. Apesar de a gravidade agir para concentrar o gás dentro das nebulosas, existe uma força oposta, a pressão térmica do gás, que atua para impedir o colapso total da nuvem. No entanto, nebulosas são sistemas dinâmicos, nos quais, ocasionalmente, os gases podem se comprimir a tal ponto que a força gravitacional supera a pressão do gás, resultando no colapso gravitacional. Esse evento desencadeia o nascimento de uma nova estrela.

Um exemplo clássico desse processo pode ser visto nas imagens da Nebulosa da Águia, capturadas pelo Telescópio Espacial Hubble. Nessa nebulosa, ventos estelares intensos, provenientes de estrelas massivas próximas, criam uma espécie de bolha ao redor da região de formação estelar. Esses ventos dispersam o gás em torno das estrelas, em um processo chamado de fotoevaporação, e também comprimem os gases em certas regiões, desencadeando o colapso gravitacional necessário para formar novas estrelas (HUBBLE, 1922). Assim que um núcleo denso se forma, seu campo gravitacional atrai uma quantidade crescente de gás ao seu redor, intensificando ainda mais a gravidade e acelerando a atração de matéria. Esse processo de agregação de massa através da força gravitacional é conhecido como acréscimo ou acréscimo gravitacional.

À medida que o gás continua a ser puxado em direção ao núcleo estelar em formação, novas estrelas surgem a partir do gás denso da nebulosa. Cada uma dessas estruturas, semelhantes a pilares ou tentáculos, contém uma estrela jovem em sua extremidade. Eventualmente, os gases ao redor da estrela recém-nascida se dispersam, tornando-a um objeto independente. Durante o processo de acreção, o material gasoso colapsa em direção à estrela, girando cada vez mais rapidamente, de forma semelhante à água em torno do ralo de uma pia. Esse movimento impede que todo o gás seja incorporado diretamente à estrela. Em vez disso, forma-se um disco de gás e poeira em rotação ao redor da estrela recém-formada, chamado de disco protoplanetário. Com o tempo, esse disco pode dar origem a planetas e outros corpos celestes, criando sistemas planetários como o nosso sistema solar.

Os ventos estelares intensos de um conjunto de estrelas massivas criam uma bolha na nebulosa. Esses ventos estelares não apenas empurram o gás cada vez mais longe da estrela em um processo conhecido como fotoevaporação, mas também comprimem os gases a um ponto em que o colapso gravitacional é desencadeado. Esse processo é essencial para a formação de uma nova estrela. Uma vez que um núcleo denso é formado, seu campo gravitacional começa a aumentar à medida que atrai mais e mais gases, o que intensifica ainda mais a força gravitacional. Esse processo de crescimento através da atração gravitacional é conhecido como acreção.

À medida que o gás é empurrado, as novas estrelas formadas emergem a partir do gás. Cada uma dessas estruturas parecidas com tentáculos contém uma estrela recém-nascida em sua ponta. Eventualmente, os gases serão limpos dos arredores da estrela formada. A acreção irá cessar e a estrela iniciará sua vida como um objeto independente. Com o passar do tempo,

os gases são colapsados em direção à estrela em crescimento. Eles rotacionam cada vez mais rápido, como água em direção a um ralo de pia ou de banheira, o que impede que todos os gases sejam acrescidos diretamente à estrela. Na verdade, um disco rotativo de gases e poeira é formado ao redor da estrela recém-formada.

5.2.1 Origem do Sistema Solar

É a partir de uma estrela em formação que os sistemas estelares se originam. Os discos de poeira e gás ao redor das estrelas jovens, também chamados de discos protoplanetários, são regiões onde os planetas se formam (FRANK et al., 2002). Nesse ambiente, partículas de poeira colidem entre si, agregando-se progressivamente em corpos cada vez maiores até dar origem a planetas e outros astros. A estrutura de disco explica por que todos os planetas do nosso sistema solar orbitam no mesmo plano em torno do Sol. Esses discos podem alcançar diâmetros de até centenas de unidades astronômicas (UA), onde uma UA corresponde à distância média entre a Terra e o Sol. Telescópios astronômicos convencionais não têm resolução suficiente para visualizar diretamente esses discos ao redor das estrelas. No entanto, ao analisar as bordas dos discos, podemos observar como a matéria proveniente da nebulosa estelar é atraída e se move em direção ao disco protoplanetário. Dentro do disco, o momento angular do material é transferido para as regiões externas, enquanto a maior parte da massa do disco deriva em direção à estrela em formação. Segundo Frank et al. (2002) em sua estrutura, principalmente na região central do disco, encontramos sólidos de diferentes tamanhos que são os precursores dos planetas. Algumas das partículas formadas durante essa fase inicial foram preservadas em meteoritos conhecidos como condritos. Esses meteoritos fornecem registros valiosos sobre a composição e a concentração de elementos presentes na época em que o sistema solar estava se formando, antes mesmo da formação dos planetas.

Nas regiões quentes próximas à estrela, partículas com tamanho entre milímetros e centímetros, conhecidas como ICA (Inclusões Ricas em Cálcio e Alumínio), condensam-se a partir dos gases circundantes. Esses elementos condensam apenas em temperaturas muito elevadas, o que indica que se formaram em ambientes extremamente quentes, característicos das regiões internas do disco. O disco protoplanetário é composto tanto por gases quanto por poeira, mas as condições variam conforme a distância em relação à estrela central (DOS SANTOS, 2014). Na parte interna do disco, próxima à estrela, as temperaturas são tão altas que o vapor de água não consegue solidificar-se em cristais de gelo. Mais distante da estrela, onde as temperaturas são mais baixas, grandes quantidades de cristais de gelo se formam, tornando-

se matéria-prima para o crescimento dos planetas (DOS SANTOS, 2014). Esse diferencial térmico tem implicações significativas: nas regiões externas do disco, onde há maior disponibilidade de gelo e gases, os planetas se formam mais rapidamente e tendem a ser maiores. Esse fenômeno explica a estrutura atual do nosso sistema solar, onde planetas rochosos e menores, como Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, se formaram nas proximidades do Sol, enquanto os gigantes gasosos, como Júpiter e Saturno, se formaram em regiões mais distantes, acumulando grandes quantidades de gás e gelo.

5.3 Origem de Marte

Marte, também denominado "planeta vermelho", é o quarto planeta a partir do Sol e possui uma órbita mais distante da Terra. Mesmo quando os dois planetas estão em seu ponto mais próximo, a distância entre eles é de pelo menos 55 milhões de quilômetros. Com um diâmetro de 6.779 km, Marte é o segundo menor planeta do Sistema Solar, superando apenas Mercúrio, que mede 4.874 km. Apesar de suas dimensões reduzidas, a história de Marte é fascinante e rica em eventos que moldaram sua geologia e atmosfera ao longo de bilhões de anos. Embora a grande distância que separa de Marte da Terra possa sugerir que pouco se conhece sobre ele, um número grande de amostras marcianas já foi trazido para a Terra. Um exemplo é o meteorito Tissint, que caiu no Marrocos em 2011.

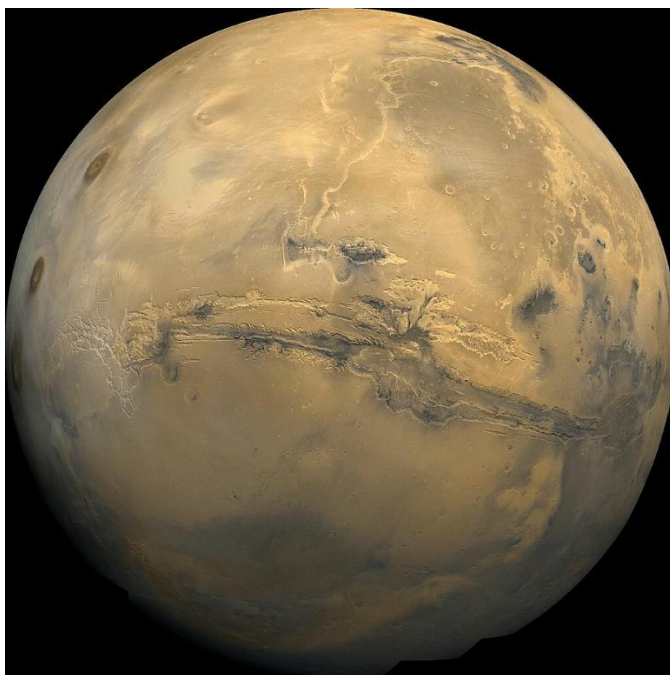
Análises dos minerais presentes nesse meteorito revelaram uma composição e estrutura distintas em comparação com outros meteoritos. Formado por rocha vulcânica similar aos basaltos da Terra, Tissint tem uma idade estimada de apenas 170 milhões de anos, contrastando fortemente com os 4,5 bilhões de anos típicos dos meteoritos mais antigos (CALLAHAN, Michael P. et al. 2013). Esse jovem meteorito sugere que sua origem é de um local com atividade vulcânica recente no Sistema Solar, e Marte é o candidato mais viável. O planeta vermelho é conhecido por ter experimentado atividades vulcânicas, uma atmosfera rarefeita e um histórico de impactos de meteoritos devido à sua proximidade com o cinturão de asteroides.

Desde a aterrissagem das sondas Viking da NASA na década de 1970, nossa compreensão da composição atmosférica de Marte e suas características geológicas avançou consideravelmente. As amostras de Tissint e de outras origens marcianas revelam uma similaridade na composição dos gases aprisionados nas rochas (AOUDJEHANE, H. Chennaoui et al. 2012). O hemisfério norte de Marte apresenta uma quantidade menor de crateras em comparação com a Lua, sugerindo que essa região experimentou uma atividade geológica muito

mais intensa. Apesar de Marte estar mais exposto a impactos devido à sua localização, a relativa ausência de crateras no hemisfério norte indica que processos geológicos ativos, como erosão e sedimentação, podem ter coberto ou destruído essas formações ao longo do tempo.

Uma das características mais impressionantes de Marte é o cânion Valles Marineris (Figura 4), que se estende por 3.500 km e possui mais de 12 km de profundidade. Para efeito de comparação, o Grand Canyon nos Estados Unidos tem apenas 1.600 km de comprimento e profundidade de cerca de 1,6 km. Estudos indicam que o Valles Marineris pode ter abrigado água em algum momento, com evidências de que o fluxo de água ao longo desse cânion poderia ter atingido um pico de 5 km cúbicos por segundo, aproximadamente 25 mil vezes mais do que o fluxo de água do Rio Amazonas durante sua estação chuvosa (LUCCHITTA, Baerbel K. et al. 1994). A presença histórica de água em Marte é importante para a busca por vida. Sabemos que a vida, como a conhecemos, depende da água. Assim, a evidência de que Marte teve condições adequadas para abrigar água em abundância no passado levanta a possibilidade de que o planeta pode ter suportado formas de vida, ou ainda possa suportá-las.

Figura 4- Valles Marineris, superfície de Marte vista do espaço



Fonte: By NASA / USGS (see PIA04304 catalog page)

Imagens de Marte também revelam a presença de água, como as nuvens de vapor d'água sobre o Monte Olimpo, a montanha mais alta do Sistema Solar, e as calotas polares no hemisfério norte, compostas não apenas de água, mas também de gelo de dióxido de carbono (CO₂). Além disso, há indícios de que água líquida pode ter estado presente em Marte em

tempos mais recentes. Há características geológicas que sugerem a ocorrência de fluxos líquidos que depositaram sedimentos em campos de dunas. A interpretação mais aceita é que essas formações resultaram da atividade de água corrente após a formação das dunas. Essa evidência reforça a ideia de que água, em estado líquido, tem circulado sobre e abaixo da superfície de Marte.

A questão que precisamos responder é não somente se a existência de água tornou possível a vida existir, mas sim, se a vida já existe ou existiu em Marte. Até agora, nós não sabemos a resposta. Tudo o que sabemos é que isso é uma possibilidade. Como os meteoritos marcianos chegaram até a Terra? Marte está bem próximo ao cinturão de asteroides e com isso, tem sofrido muitos impactos ao longo de sua história. Os impactos retiraram fragmentos da superfície de Marte e mandaram-nos através da fina atmosfera dele, até alcançarem órbita livre ao redor do Sol.

Apesar da atmosfera e do campo de gravidade tornarem isso mais difícil, é basicamente o mesmo processo que resulta em meteoritos de asteroides. Uma vez que um objeto escapa do campo gravitacional de Marte, ele inicia uma órbita ao redor do Sol. Ele irá permanecer em órbita ao redor do Sol até atingir alguma coisa ou possivelmente sair do Sistema Solar. E uma vez que a Terra é o planeta mais próximo, cerca de 25% dos fragmentos de Marte acabam acertando a superfície terrestre. Normalmente demora vários milhões de anos até que a órbita seja perturbada suficientemente para que acerte a Terra, mas ainda sim é impressionante que 25% do material esteja sendo direcionado ao nosso planeta. Infelizmente, apenas uma minoria dos fragmentos que chegam à Terra é encontrada. Apesar da maioria dos meteoritos demorarem milhões de anos para viajar até a Terra, alguns deles provavelmente chegam aqui muito mais rápido.

Simulações nos mostraram que o primeiro fragmento geralmente chega à Terra dentro de um ano. Se existem formas de vida primitivas na rocha, parece bem provável que elas não somente sobrevivam ao processo de serem expelidas de Marte e acabam chegando à Terra, mas elas facilmente sobreviveriam até um ano no espaço. Dessa forma, a vida poderia ter se espalhado de um planeta para outro dentro de nosso Sistema Solar. Se existem formas de vida em Marte, elas devem ser parecidas com a vida da Terra. Ou talvez, e ainda mais interessante, é possível que a Vida da Terra tenha vindo originalmente de Marte. Nós podemos ser todos marcianos.

5.4 Origem da Lua

A Lua é um corpo celeste fascinante e bastante peculiar (Figura x). Em comparação com seus planetas vizinhos, é a maior lua orbitando um planeta no Sistema Solar. Além disso, a Lua é considerada a única lua verdadeira, caracterizada por sua falta de atmosfera e pelo fato de que sua superfície é impactada por meteoritos. Um aspecto notável é que a Lua apresenta um núcleo metálico muito pequeno ou pode ser até mesmo desprovida dele, o que a diferencia das luas de outros planetas.

O modelo mais amplamente aceito para explicar a origem da Lua é o chamado Modelo do Impacto Gigante, também conhecido como "Big Splash". Resultados recentes de simulação numérica sobre a formação da Lua, consideram que um corpo celeste com massa aproximadamente igual a de Marte (embora valores um pouco maiores e menores produzam o mesmo resultado por ajuste simultâneo da velocidade de colisão) colidiu com a Terra original, há 4,5 bilhões de anos, atirando para o espaço uma parte do material mais leve do nosso planeta original (FARIA, 2024). Este modelo sugere que a Lua se formou a partir dos detritos resultantes do impacto com o objeto nomeado por Theia. Essa colisão, teria sido um dos eventos mais significativos na história do nosso Sistema Solar. De acordo com simulações computacionais, sob certas condições, o núcleo de Theia poderia ter se fundido com o núcleo da Terra, enquanto o manto do objeto, juntamente com uma parte do manto terrestre, formou uma nuvem de detritos que ficou em órbita ao redor da Terra. Esses detritos eventualmente se aglutinaram, formando a Lua. Como resultado, a Terra se tornou um planeta ligeiramente mais rico em metais, enquanto a Lua ficou empobrecida em elementos metálicos.

Figura 5: Foto da Lua por um telescópio na Terra



Fonte: Celestron 9.25 Schmidt-Cassegrain telescope

Embora impactos de grande escala tenham sido mais comuns durante a formação inicial do Sistema Solar, a Terra e outros planetas ainda enfrentam riscos de impactos de meteoros. Estudos mostram que impactos catastróficos ocorrem aproximadamente uma vez a cada 100 milhões de anos. O evento mais notável na história recente da Terra foi o impacto que ocorreu há 66 milhões de anos, quando um asteroide de cerca de dez quilômetros atingiu o planeta. Esse impacto resultou na extinção em massa de aproximadamente 75% das espécies da Terra, incluindo os dinossauros, e é amplamente aceito como a causa principal dessa extinção.

5.4 Origem da Terra

O Grande Impacto formador da lua foi tão grande, que ambos os corpos foram parcialmente vaporizados. Com as partículas sendo espalhadas em um disco circular que rapidamente foi fusionado de volta em uma Terra muito quente e derretida. Entender como esse impacto aconteceu e os efeitos resultantes que isso teve na formação da Terra requer simulações de computador complexas como descrito por (FARIA, 2024). Sabemos que as condições e energia gerada no impacto foram tão grandes, que chegaram ao ponto de derreter toda a composição do nosso planeta e da lua formada.

Inicialmente derretida, em uma mistura homogênea, os componentes desses “protoplanetas” começaram a se diferenciar, com os elementos metálicos, mais densos, se fundindo em direção ao centro dos planetas, e formando um núcleo metálico. O restante do material derretido, tanto da prototerra, quanto do objeto que a atingiu, foram vaporizados em um anel de detritos em volta do novo núcleo. Agora os detritos estão misturados e completamente homogeneizados. Até cerca de 1.000 anos após esse impacto que formou a lua, a Terra esteve envolta nessa atmosfera quente, que esfriou devagar e se solidificou. À medida que a Terra se resfriava e os vapores se condensavam, eles faziam isso na ordem do ponto de fusão de seus elementos.

Elementos como silício, ferro, magnésio, cálcio e alumínio, foram condensados primeiro. Um oceano homogêneo de magma provavelmente envolvido por uma camada fina de crosta de rocha. Moléculas voláteis, como o CO₂, dióxido de carbono, ou a água, foram provavelmente perdidos em sua maioria para o espaço durante o Grande Impacto e o que sobrou deve ter sido retido em uma atmosfera densa até que a Terra esfriasse ainda mais. O oceano de magma solidificou e as temperaturas da Terra diminuíram, até serem menores que a temperatura de fusão da água. Então os oceanos líquidos puderam, na verdade chover através de nossa atmosfera. Essa diferenciação ocorreu muito rápido, e então, estabilizou.

Como apresentado por Marques (2006), a verdade, a Terra moderna ainda é caracterizada por esse tipo de diferenciação química. O núcleo, feito em sua maioria de ferro, é sólido no meio, onde sua pressão é máxima. E líquido na porção mais externa, onde ele se conecta, formando o campo magnético ao redor da Terra. O Manto, que consiste na maior parte da massa da Terra, é composto por rochas ígneas intrusivas, que são muito ricas em ferro e magnésio, chamadas peridotitas. A crosta, a camada mais externa e fina, contém as rochas menos densas do planeta. E provavelmente, a primeira crosta formada a partir do Manto muito quente e ativo magmaticamente, foi um basalto, que é um pouco menos rico em ferro e magnésio e um pouco mais rico em silício do que a rocha peridotítica que compõe o Manto. Não temos nenhum vestígio dessa crosta basáltica ancestral. As rochas Hadeanas, (idade referente a Hades, o deus grego do inferno) que nós temos fragmentos disponíveis não vêm de basaltos, mas de granitos. O conglomerado Jack Hills do oeste da Austrália é formado por pequenos grãos de areia e cascalho que são derivados de rochas mais antigas, depositados cerca de 3,4 bilhões de anos atrás. E alguns desses grãos são feitos de um mineral chamado zircônio.

Zircônio é um mineral fantástico por duas razões. Primeiro, ele é um mineral extremamente forte. Ele pode sofrer uma série de processos geológicos e se manter com praticamente a mesma composição que ele tinha quando foi formado. E segundo, apesar de ser composto quase inteiramente dos elementos zircônio, silício e oxigênio, ele tem um tipo de estrutura mineral em que outros elementos podem substituir o zircônio. Um dos elementos que substitui o zircônio é o urânio. Este tem um monte de isótopos radioativos que decaem para formar os produtos tório e chumbo. Isso significa que podemos datar esse mineral, de modo que os grãos de zircônio encontrados nas rochas de Jackson Hill na Austrália têm entre 4,1 e 4,4 bilhões de anos. É com base na química desses zircônios ancestrais, que chegamos à ideia de que a Terra tenha esfriado o suficiente em seus primeiros 150 milhões de anos de existência para que a água condensasse a partir da atmosfera em oceanos líquidos. Uma vez que um ambiente com oceanos estáveis apareceu, o surgimento da vida se tornou possível em virtualmente qualquer ambiente próximo à superfície da Terra. Certamente possível a vida na terra, a pelo menos 4,4 bilhões de anos, mas teria sido uma existência muito precária. E ainda sim, em um planeta que não se parecia nada com a Terra atual.

5.6 Origem da Vida

A origem da vida na Terra está intrinsecamente ligada à formação do planeta. Os elementos que compõem os seres vivos, desde os constituintes do nosso corpo até o ar que

respiramos e a água que bebemos, resultam dos materiais acumulados no disco protoplanetário ao redor do Sol. Portanto, para compreender como a vida surgiu e evoluiu, é essencial entender a dinâmica e a evolução da Terra, que, até onde sabemos, é o único planeta do nosso universo conhecido que oferece as condições necessárias para a existência de vida.

Entre as características marcantes que tornam a Terra habitável, destacam-se a presença de água líquida na superfície, temperaturas moderadamente estáveis, uma atmosfera protetora contra radiações solares nocivas e um campo gravitacional adequado. Esses fatores ajudam a explicar a existência da vida, mas não são suficientes para responder perguntas cruciais sobre como, quando e onde a vida surgiu. A questão mais complexa entre essas três é, sem dúvida, como a vida se originou. Observando a diversidade de organismos que habitam a Terra hoje, desde as profundezas das fossas oceânicas até os desertos áridos e as calotas polares, é razoável aplicar a Lei do Uniformitarismo aos processos biológicos. Se a vida é uma constante na Terra atual, ela também deve ter existido em épocas passadas e evoluído de formas menos complexas para organismos mais elaborados. Assim como o registro geológico é a chave para entender a história da Terra, o registro fóssil é fundamental para desvendar sua história evolutiva.

A definição mais simples de um fóssil é a evidência de formas de vida passadas registradas nas rochas. Para descobrir quando a vida começou, devemos examinar o registro fóssil em busca dos organismos mais antigos. Contudo, é necessário primeiro definir o que constitui uma evidência de vida e em quais tipos de rochas podemos esperar encontrá-las. A evidência mais direta consiste em remanescentes físicos, como esqueletos de animais extintos. Além disso, a atividade de organismos também pode ser registrada no registro geológico. Exemplos de icnofósseis, como pegadas, rastros de tocas e marcas de arranhões, oferecem pistas sobre a existência de vida. Um outro exemplo importante de evidência é o oxigênio presente na atmosfera, que representa cerca de 20% do ar que respiramos e é um subproduto da fotossíntese, processo realizado pelas plantas que convertem dióxido de carbono em matéria orgânica e oxigênio.

Os locais mais promissores para encontrar as evidências mais antigas de vida são as rochas formadas na superfície da Terra, onde a vida é mais abundante. Fósseis e rastros fósseis de organismos unicelulares com até 3,5 bilhões de anos foram descobertos. Esses fósseis, principalmente registros microbianos, estão preservados em uma rocha sedimentar química chamada quartzo, formada pela cristalização de sedimentos ricos em sílica, ou em estruturas sedimentares distintas chamadas estromatólitos (Figura 6), formadas por emaranhados de algas.

Figura 6: Estromatólitos, lago Thetis, Austrália



Fonte: Ruth Ellison - <https://www.flickr.com/photos/laruth/153584043/>

Os estromatólitos fornecem evidências robustas de vida, que datam do Arqueano Médio, embora a validade de muitos espécimes ainda seja debatida. A razão para essa controvérsia é que, embora muitas dessas características pareçam ter origem biológica, existem processos abióticos que poderiam gerar estruturas semelhantes, tornando a identificação conclusiva como fósseis desafiadora.

Um local intrigante para o estudo da origem da vida é o "Cinturão Supracrustal de Isua" (Rosing et al., 2018), na Groenlândia. Esta região é composta por rochas formadas entre 3,7 e 3,8 bilhões de anos atrás e contém uma mistura de sedimentos e rochas vulcânicas, representando algumas das rochas superficiais mais antigas da Terra. Infelizmente, essas rochas foram submetidas a metamorfismo a temperaturas superiores a 500 °C desde sua deposição. No entanto, algumas partes dessas rochas ainda estão bem preservadas. Um exemplo é o metassedimento de Isua, que apresenta camadas escuras ricas em pequenos grãos de grafite. O grafite é composto exclusivamente por carbono, que pode ter origem em fontes inorgânicas dentro da Terra ou resultar da metamorfose de matéria orgânica enterrada no fundo do oceano. A presença de grafite em sedimentos oceânicos metamorfizados sugere que sua origem é mais provável de ser biológica. A análise isotópica do carbono pode fornecer insights adicionais sobre sua origem. Os isótopos de carbono, como ^{12}C e ^{13}C , ajudam os cientistas a datar amostras e a entender a deposição das argilas em Isua. Com base nessas evidências e na idade das rochas,

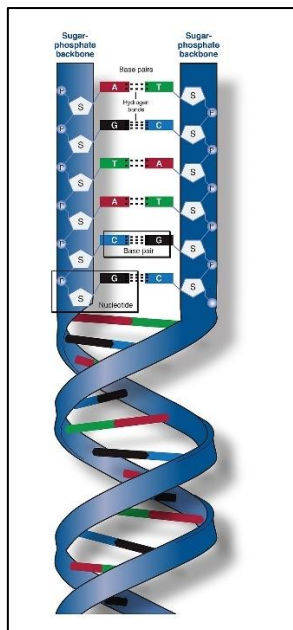
acredita-se que um oceano existia há 3,8 bilhões de anos, provavelmente o berço do surgimento da vida.

5.6.1 O DNA é vida, ou RNA?

A filósofa Carol Cleland, da Universidade do Colorado, a dificuldade em definir a vida se deve à falta de uma linguagem adequada. A definição mais amplamente aceita é que os organismos vivos utilizam energia para construir estruturas moleculares e reproduzir-se. Para isso, eles possuem um metabolismo, que lhes permite produzir biomoléculas a partir de uma fonte de energia e matéria do ambiente. Esses processos biológicos seguem um código específico, o DNA, que contém as instruções necessárias para que os organismos utilizem os recursos disponíveis, cresçam e gerem cópias de si mesmos. O DNA é uma molécula complexa cuja função primária é codificar a sequência de aminoácidos, os componentes fundamentais da vida.

Mas como o DNA "cria" vida? Por exemplo, em seu trabalho pioneiro WATSON, J. D.; CRICK, F. H. C. (1953) descreveram pela primeira vez sua estrutura, sendo composta por pares de bases nitrogenadas, conhecidas como nucleotídeos (Figura 2). No DNA, essas bases incluem adenina (A) e timina (T), guanina (G) e citosina (C); no RNA, a timina é substituída pela uracila (U). Esses pares, unidos a desoxirribose, açúcares estruturais de cinco carbonos, formam uma dupla hélice, uma forma compacta ideal para armazenar grandes volumes de informação dentro do núcleo celular. Quando uma célula recebe um sinal para produzir proteínas ou enzimas, a informação armazenada no DNA é acessada. Primeiro, a helicase (uma enzima) separa as fitas da dupla hélice, e em seguida, a RNA polimerase se liga ao DNA e começa a sintetizar uma fita de RNA que é complementar à fita molde (LODISH et al., 2012). Este RNA mensageiro (mRNA) então é utilizado nos ribossomos, onde as informações são traduzidas em proteínas, essenciais para a manutenção da vida. Resumidamente, o DNA armazena informações, enquanto o RNA transporta e fabrica moléculas. Mas como se produz RNA a partir de substâncias não relacionadas? O RNA, embora complexo, é mais simples que o DNA ou as proteínas e é formado por longas cadeias de nucleotídeos. As origens exatas das primeiras moléculas orgânicas ainda são um mistério.

Figura 7: Estrutura do DNA



Fonte: National Human Genome Research Institute.

O experimento seminal de Stanley Miller e Harold Urey em 1953 demonstrou que moléculas orgânicas poderiam ser formadas abioticamente em condições que simulavam a atmosfera primitiva da Terra. Eles misturaram metano, amônia, hidrogênio e monóxido de carbono em uma câmara de vidro, fervendo a mistura e aplicando descargas elétricas. Após alguns dias, a água na câmara adquiriu uma coloração amarelada, indicando a formação de compostos orgânicos. Embora muitos mecanismos ainda sejam incertos, acredita-se que as condições adequadas, como a presença de água líquida e uma atmosfera rica em elementos primordiais, foram cruciais para a formação das biomoléculas para o surgimento da vida. A análise de amostras geológicas, como as dos Jack Hills, sugere que a água líquida estava presente durante o Hadeano, enquanto estudos sobre a Lua indicam frequentes impactos de meteoros, trazendo uma diversidade de novos elementos. Ainda assim, o ar da Terra primitiva provavelmente não continha oxigênio livre, um componente que surgiu mais tarde, devido à atividade de organismos fotossintetizantes. Isso sugere que as formas de vida primitivas eram quimiossintetizantes. Além disso, o resfriamento da Terra ainda gerava fontes geotermiais, que liberavam nutrientes do interior do manto para os oceanos, enriquecendo a famosa "Sopa Primordial" proposta pelo bioquímico russo Alexander Oparin em 1924.

Uma segunda teoria para a origem da vida é a Panspermia Cósmica, sugerida por Anaxágoras Clazômenas, no século V antes de Cristo na antiga Grécia, sugere que a vida pode

ter se originado em outro lugar do sistema solar e posteriormente ter sido transferida para a Terra, onde encontrou as condições ideais para prosperar. Essa teoria propõe que os componentes fundamentais da vida, como os aminoácidos e outras biomoléculas essenciais, poderiam ter sido transportados por cometas, asteroides ou partículas de poeira cósmica que colidiram com a Terra primitiva. Segundo Marlaire (2015), os blocos fundamentais da vida foram reproduzidos em laboratório pela NASA, além de que pirimidinas poderiam ter se formado em gigantes vermelhas.

Essa ideia leva a implicações fascinantes sobre a possibilidade de vida em outros planetas e luas, como Marte ou Europa, uma lua de Júpiter, onde condições adequadas para a vida poderiam existir. A presença de água líquida, a existência de ambientes subterrâneos e a detecção de compostos orgânicos em outras partes do sistema solar reforçam essa perspectiva, incentivando missões espaciais que buscam sinais de vida.

Além disso, a Panspermia Cósmica levanta questões sobre a resiliência da vida em condições extremas. Estudos têm mostrado que microrganismos, como as bactérias do gênero *Deinococcus*, podem sobreviver a condições extremas de radiação e temperaturas extremas, o que sugere que formas de vida simples poderiam ter sobrevivido à viagem através do espaço. Experimentos realizados em ambientes simulando o espaço, como a exposição de microrganismos à radiação cósmica, demonstraram que algumas formas de vida são capazes de resistir a longos períodos de desidratação e radiação, fortalecendo a hipótese de que a vida poderia ter viajado entre os planetas. Entretanto, apesar de todos os avanços tecnológicos e estudos recentes, a transição da matéria orgânica para formas de vida continua a ser um mistério intrigante e um campo ativo de pesquisa científica. A busca por respostas abrange várias disciplinas, incluindo biologia, astrobiologia, química e geologia, e envolve investigações sobre a formação de biomoléculas em ambientes extraterrestres, o impacto de meteoros e cometas na biogênese e a possibilidade de vida microbiana sobrevivendo em condições adversas.

6 CONCLUSÃO

Ao observarmos a disposição da disciplina de Paleontologia na grade curricular dos cursos de Biologia, Geografia e Geologia nas universidades, frequentemente a encontramos como um tema transversal, dialogando com disciplinas como Geologia Introdutória, Zoologia, Botânica,

Sistemática Filogenética e Evolução. Essa inter-relação evidencia a relevância da paleontologia dentro do contexto acadêmico, abrangendo temas cruciais que permeiam essas outras áreas do conhecimento. Entretanto, é notório que essa disciplina não recebe a devida atenção, frequentemente apresentando materiais de apoio obsoletos ou desatualizados.

Diante dessa realidade, a proposta de um texto de apoio didático focado nesta disciplina, especialmente em um tema raramente abordado, como a origem do planeta, revela-se extremamente valiosa. Isso se torna mais relevante em um momento em que a tecnologia avança, proporcionando dados mais precisos e necessários, ao mesmo tempo em que a disseminação de informações equivocadas pode confundir os discentes e prejudicar o ensino em geral.

Esta monografia, além dos textos explicativos, propõe apresentar um plano de aula (Anexo I), um glossário e perguntas norteadoras sobre o tema em questão, no caso: as origens dos planetas e da vida. Esses recursos foram elaborados para facilitar a aplicabilidade do material em sala de aula, permitindo que professores possam utilizá-lo de forma eficaz. A expectativa é que esse material enriqueça a prática docente e desperte nos discentes um interesse renovado pela paleontologia, proporcionando uma compreensão mais ampla e crítica sobre a história da vida e as descobertas que moldaram nossa compreensão científica do mundo.

Ao integrar conhecimentos interdisciplinares e oferecer recursos didáticos atualizados, esta monografia busca contribuir para a formação de profissionais mais bem preparados e informados, capazes de enfrentar os desafios do conhecimento científico contemporâneo e disseminar a importância da paleontologia na educação e na pesquisa dos discentes, particularmente aqueles do curso de Ciências Biológicas.

7. GLOSSÁRIO

Acreção: processo de acúmulo de matéria para a formação de objetos maiores no espaço

Biomoléculas: moléculas que ocorrem em organismos vivos.

Campo gravitacional: região ao redor de um objeto com massa onde sua gravidade influencia outros objetos.

Cânion: é uma região de grande profundidade que se difere da paisagem ao seu redor.

Catastrófico: atividade que causa muitos danos, impactos e destruição ao que foi atingido.

Cinturão de asteroides: região que contém uma grande quantidade de asteroides e outros pequenos corpos.

Condrito: tipo de meteorito que contém pequenas esferas de minerais.

Declividade: nível de inclinação de uma área ou terreno.

Eventos cósmicos: fenômenos que acontecem no universo, como explosões de estrelas, chuvas de meteoros, etc.

Homogeneizado: processo pelo qual uma mistura de diferentes substâncias é feita de maneira uniforme.

Inexoravelmente: algo que ocorre de forma inevitável, implacável ou que não pode ser impedido.

Isótopos: átomos de um mesmo elemento químico que possuem o mesmo número de prótons e número diferente de nêutrons.

Ionização: se refere a radiações ou partículas que têm energia suficiente para remover elétrons de átomos ou moléculas.

Lei do Uniformitarismo: formulada por James Hutton, afirma que os processos naturais que ocorrem atualmente, como erosão e sedimentação, também aconteceram no passado de maneira similar. Esse princípio sugere que as leis que regem a Terra são constantes ao longo do tempo, permitindo a compreensão da história geológica.

Manto: uma das camadas do núcleo da Terra que afeta muitos dos processos geológicos do planeta.

Meteorito: um pedaço de rocha ou metal que vem do espaço.

Nêutrons: partículas subatômicas que fazem parte do núcleo de um átomo.

Nebulosas: grandes nuvens de gás e poeira no espaço, importantes para a formação de novos planetas.

Nucleossíntese: processo no qual se explica a formação dos núcleos atômicos.

Orbitando: movimento de um objeto ao redor de outro devido à força da gravidade.

Proeminente: algo que sobressai do que está ao seu redor, como uma elevação em uma montanha.

Prótons: partículas subatômicas com carga elétrica positiva que ficam no núcleo de um átomo.

Proto-planetas: momento em que ainda ocorre a acreção de material em um planeta em formação, geralmente um condensado de rochas, minerais e poeira espacial derretidos, aglomerados pela gravidade em uma esfera.

Reação nuclear: processo de liberação de energia pela alteração do núcleo de um átomo.

Recondensar: substância que estava em estado gasoso se transforma novamente em estado líquido ou sólido.

Vaporizado: transformação de uma substância do estado sólido ou líquido para o estado gasoso.

7. QUESTÕES

1 - Qual é a função dos processos de nucleossíntese?

- (A) Descrever a formação de buracos negros.
- (B) Descrever a formação dos elementos químicos em ambientes astrofísicos.
- (C) Explicar a expansão do universo.
- (D) Estudar a composição de planetas gasosos.

Resposta: B

2- Qual barreira foi encontrada no modelo de nucleossíntese do Big Bang?

- (A) A impossibilidade de formar elementos mais pesados a partir de certo ponto.
- (B) A criação de elementos leves em quantidades muito pequenas.
- (C) A ausência de formação de hidrogênio e hélio.
- (D) A explicação da abundância de matéria escura.

Resposta: A

3- Qual é a hipótese principal para a existência de água em Marte no passado?

- (A) A presença de oceanos subterrâneos.
- (B) A formação de canais e rios na superfície.
- (C) O impacto de cometas ricos em água.
- (D) A formação de grandes geleiras nas calotas polares.

Resposta: B

4- Qual elemento é mencionado como o mais abundante produzido na nucleossíntese do Big Bang?

- (A) Oxigênio.
- (B) Hidrogênio.
- (C) Carbono.

(D) Urânio.

Resposta: B

5- O que permitiu a formação dos oceanos na Terra primitiva?

(A) A fusão da crosta terrestre.

(B) O resfriamento da atmosfera a uma temperatura abaixo do ponto de fusão da água.

(C) A colisão de cometas ricos em água.

(D) A formação de grandes cadeias montanhosas.

Resposta: B

6- Qual hipótese explica a formação da Lua?

(A) O Modelo de Nucleossíntese Estelar.

(B) O Impacto de um asteroide gigante.

(C) A Colisão entre dois planetas gasosos.

(D) O Modelo Impacto Gigante.

Resposta: D

7- O que explica a nucleossíntese estelar (B²FH)?

- (A) A formação dos primeiros planetas rochosos.
- (B) A síntese dos elementos mais leves.
- (C) A formação dos elementos mais pesados dentro das estrelas.
- (D) A criação das primeiras galáxias.

Resposta: C

8- O que caracteriza a nucleossíntese do Big Bang?

- (A) A formação de todos os elementos pesados.
- (B) A síntese de elementos a partir de explosões estelares.
- (C) A formação de hidrogênio e hélio nos primeiros instantes do universo.
- (D) A criação dos planetas gasosos do sistema solar.

Resposta: C

9- Qual a importância do impacto gigante que formou a Lua, segundo o texto?

- (A) Ele ajudou a definir a química da Terra, formando um núcleo metálico.
- (B) Ele causou a extinção dos dinossauros.

(C) Ele formou os continentes da Terra.

(D) Ele fez com que Marte perdesse parte de sua atmosfera.

Resposta: A

10- O que acontece quando os gases nas nebulosas são comprimidos a um ponto em que a gravidade é mais forte que a pressão dos gases?

(A) Os gases se dispersam no espaço.

(B) Ocorre uma explosão estelar.

(C) A nebulosa colapsa gravitacionalmente, formando uma nova estrela.

(D) Formam-se buracos negros.

Resposta: C

REFERÊNCIAS

- AOUDJEHANE, H. Chennaoui et al. Tissint Martian meteorite: A fresh look at the interior, surface, and atmosphere of Mars. **Science**, v. 338, n. 6108, p. 785-788, 2012.
- BERTOLAMI, Orfeu; GOMES, Cláudio. A origem do universo. Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto Edições, 2018. Disponível em: https://web.ist.utl.pt/orfeu.bertolami/Origem_Universo.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.
- BURBIDGE, E. Margaret; BURBIDGE, G. R.; FOWLER, William A.; HOYLE, F. Synthesis of the elements in stars. **Reviews of Modern Physics**, v. 29, n. 4, p. 547-650, out. 1957.
- CALLAHAN, Michael P. et al. A search for amino acids and nucleobases in the Martian meteorite Roberts Massif 04262 using liquid chromatography-mass spectrometry. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 48, n. 5, p. 786-795, 2013.
- CANETTI, Laurent; DREWES, Marco; SHAPOSHNIKOV, Mikhail. Matter and antimatter in the universe. **New Journal of Physics**, v. 14, p. 01-16, set. 2012.
- CLAYTON, D. D. **Principles of stellar evolution and nucleosynthesis**. 1. ed. New York: McGraw-Hill; University of Chicago, 1968.
- DA CONCEIÇÃO, Luana R.; ORTIZ, Roberto. A nucleossíntese estelar e os elementos químicos essenciais para a vida. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 89-94, maio 2024.
- DOS SANTOS, Luiz Henrique Guimarães. Estudo da interação entre o disco protoplanetário e os planetas: simulações numéricas. 2014.
- FARIA, R. B. Como os novos resultados de simulação da formação da lua afetam a probabilidade de surgimento de vida em planetas assemelhados à Terra. **Química Nova**, v. 47, n. 8, e-20240043, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20240043>. Disponível em: <https://quimicanova.sbq.org.br/pdf/AG2023-0229>. Acesso em: 18 set. 2024.

FRANK, Juhan; KING, Andrew; RAINE, Derek. **Accretion power in astrophysics**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 978-0-521-62957-7.

HUBBLE, E. P. The source of luminosity in galactic nebulae. **Astrophysical Journal**, v. 56, p. 400-438, dez. 1922. DOI: <https://doi.org/10.1086/142713>.

LODISH, H. et al. **Molecular cell biology**. 7. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2012.

LUCCHITTA, Baerbel K.; ISBELL, N. K.; HOWINGTON-KRAUS, A. Topography of Valles Marineris: Implications for erosional and structural history. **Journal of Geophysical Research: Planets**, v. 99, n. E2, p. 3783-3798, 1994.

MARLAIRE, Ruth. NASA Ames reproduces the building blocks of life in laboratory. **NASA**, 3 mar. 2015. Disponível em: <https://www.nasa.gov/ames-reproduces-building-blocks-life>. Acesso em: 5 mar. 2015.

MARQUES, L. S. O interior da Terra. **Revista USP**, São Paulo, n. 71, p. 20-29, set./nov. 2006.

MILLER, S. L. A production of amino acids under possible primitive Earth conditions. **Science**, v. 117, n. 3046, p. 528-529, maio 1953. DOI: <10.1126/science.117.3046.528>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.117.3046.528>. Acesso em: 18 set. 2024.

MLODINOW, L. **De primatas a astronautas: a jornada do homem em busca do conhecimento**. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2015.

NASA; ESA; ROBERTO, M.; SPACE TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE; HUBBLE SPACE TELESCOPE ORION TREASURY PROJECT TEAM. **Orion Treasury Project**, 2006. (Fotografia). Disponível em: <http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2006/01/>. Acesso em: 31 out. 2024.

NOWATZKI, C. Teorias sobre a origem do universo. **Academia.edu**, 2024. Disponível em: https://www.academia.edu/38174643/Teorias_sobre_a_origem_do_Universo_pdf. Acesso em: 31 out. 2024.

OPARIN, A. I. **The origin of life on Earth**. 3. ed. Edinburgh & London, 1957. Disponível em: <https://www.uv.es/~orilife/textos/The%20Origin%20of%20Life.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

PINTO, B. C. T.; SILVA, R. B. da; MEDEIROS, R. C. de. As fake news influenciam o processo ensino e aprendizagem na educação de ciências e biologia?. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, v. 15, n. 2, p. 1011-1030, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46667/renbio.v15i2.760>. Disponível em: <https://renbio.org.br/index.php/sbenbio/article/view/760/300>. Acesso em: 18 set. 2024.

ROSSETTI, V. A tabela periódica e a nucleossíntese dos elementos. **NetNature**, 2016. Disponível em: <https://netnature.wordpress.com/2016/12/01/a-tabela-periodica-e-a-nucleossintese-dos-elementos/>. Acesso em: 30 out. 2024.

SANDSTROM, Karin M.; PEEK, J. E. G.; BOWER, Geoffrey C.; BOLATTO, Alberto D.; PLAMBECK, Richard L. A parallactic distance of $389-21+24$ parsecs to the Orion Nebula Cluster from Very Long Baseline Array observations. **The Astrophysical Journal**, v. 667, n. 2, p. 1161-1169, 1999.

SANTOS, A. M. dos; FARIAS, F. R. O estudo da paleontologia na educação básica: alfabetizando e construindo o conhecimento. **Seven Editora**, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/2604>. Acesso em: 31 out. 2024.

SILVA, B. F. A origem dos átomos: a ciência da criação. **YouTube**, 10 jul. 2024. 19:28. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IgeKAZhucFw>. Acesso em: 18 set. 2024.

STEINER, J. E. A origem do universo e do homem. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 58, p. 232-248, set. 2006.

TURNER, M. S. A origem do universo. **Scientific American Brasil**, ed. 41, 2010. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Big-Bang---Teoria-da-origem-do-universo.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

VASCONCELOS, C.; MEIRELLES, G. Átomos em ação: Oppenheimer e a energia nuclear. **Açores Magazine, Cê de ciência**, p. 30, 16 jun. 2024. Disponível em: https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/7070/1/CÊciencia_2024JUN16.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

WATSON, J. D.; CRICK, F. H. C. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. **Nature**, v. 171, n. 4356, p. 737-738, abr

ANEXO 1 - PLANO DE AULA

Professor	Felipe Oliveira da Cunha Silva
Informação Geral	Nível: Graduação Nº de alunos: 60
Objetivo Principal	<p>Ao final da aula, os alunos serão capazes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Assimilar os conceitos que levaram a compreensão da origem do universo como conhecemos; . Compreender como surgiu o planeta e suas características; . Discernir dentre todos os fatores, que fazem a Terra sustentar vida.
Problemas antecipados	<p>Possíveis dúvidas que são necessários serem sanadas durante a aula:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Partículas e processos que se deram, até formar cada átomo; . Probabilidade de que haja vida em outros astros no universo; . Se aplica as mesmas ideias para formação de todos os planetas e sistemas solares aqui e em outras galáxias.
Possíveis soluções	<ul style="list-style-type: none"> . Partículas e processos que se deram, até formar cada átomo: <p>Enfatizar a estrutura atômica e como ela pode se modificar em condições específicas;</p> <p>Exemplificar de modo mais simples o decaimento e acreção de nêutrons.</p> <ul style="list-style-type: none"> . Probabilidade de que haja vida em outros astros no universo? <p>Elucidar sobre a magnitude do universo e instigar os alunos a fazer uma busca sobre as condições ideais para existir vida;</p>

	<p>Se aplica as mesmas ideias para formação de todos os planetas e sistemas solares aqui e em outras galáxias.</p> <p>. Relembrar que as observações do espaço na maioria das vezes não se dão no nosso sistema solar apenas, e sim, nebulosas distantes, galáxias ou até mesmo buracos negros em outros pontos super distantes de nós.</p>
--	---

Tempo	Atividade/técnica/procedimento	Recursos e materiais	Interações
5 min	<p>Aquecimento</p> <p>Perguntas gerais para introduzir o tema e fazer refletir:</p> <p>Como o átomo se forma? Um planeta é feito de que? Já pensaram de onde vem a vida?</p>	N/A	Individual (questões)
N/A	<p>Temas abordados:</p> <p>A origem do universo;</p> <p>Origem das estrelas e dos planetas;</p> <p>Como surgiu a vida;</p> <p>O DNA.</p>	Projektor/Slides	Coletivo
N/A	<p>Material de suporte:</p> <p>Material de leitura complementar</p> <p>Links de trabalhos e vídeos referências sobre o assunto</p>	Projektor/Lupas	N/A
30 min	<p>Tema: Nucleossíntese</p> <p>Estrutura atômica</p> <p>Abundancia dos elementos</p> <p>Nucleossíntese Estelar e o Big Bang</p>	Projektor/Slides	Discussão coletiva
20 min	<p>Tema: Enfoque no Big Bang</p> <p>Pesquisadores e descobertas</p> <p>Como se deu seu processo</p>	Projektor/Slides	Discussão coletiva
30 min	Tema: Formação das estrelas	Projektor/Slides	Discussão

	Nebulosas e distribuição da matéria no universo Reações no núcleo		coletiva
20 min	Tema: Formação dos planetas Disco proto-planetário Influência das estrelas e da gravidade Modelos de formação	Projetor/Slides	Discussão coletiva
30 min	Tema: A Lua e a Terra Proto-terra Corpo celeste que se choca Reações e fusão dos núcleos Cinturão de detritos Resfriamento	Projetor/Slides	Discussão coletiva
30 min	Tema: Origem da vida e suas hipóteses Condições ambientais Elementos químicos precisos Panspermia DNA	Projetor/Slides	Discussão coletiva
20 min	Avaliação - Aula Didática: Elaborar um texto resumo de 2 páginas, elucidando brevemente a origem do universo.	Word/caderno/Caneta	individual
N/A	Auto avaliação: Observar por meio da interação e das respostas da atividade dos alunos o entendimento e fixação do conteúdo, buscando formas de melhorar e efetivar o processo de ensino-aprendizagem.	N/A	N/A

