



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação em Astronomia



RODRIGO DE QUEIROZ OLIVEIRA

ENSINO DE BIOLOGIA CONTEXTUALIZADO NA ASTRONOMIA:
contribuições da expografia de microrganismos extremófilos

Feira de Santana - Bahia
2024

RODRIGO DE QUEIROZ OLIVEIRA

ENSINO DE BIOLOGIA CONTEXTUALIZADO NA ASTRONOMIA:
contribuições da expografia de microrganismos extremófilos

Dissertação apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Astronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marildo Geraldête Pereira

Feira de Santana
2024

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

O51 Oliveira, Rodrigo de Queiroz

Ensino de biologia contextualizado na astronomia : contribuições da expografia de microrganismos extremófilos / Rodrigo de Queiroz Oliveira. – 2024.

189 f. : il.

Orientador: Marildo Geraldête Pereira

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Astronomia, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2024.

1. Astrobiologia. 2. Biologia. 3. Astronomia. 4. Ensino médio. 5. Interdisciplinaridade. 6. Microrganismos extremófilos. 7. Divulgação científica. I. Título. II. Pereira, Marildo Geraldête, orient. III. Departamento de Física. IV. Programa de Pós-graduação em Astronomia. V. Universidade Estadual de Feira de Santana.

CDU 573:52(07)



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CANDIDATO (A): RODRIGO DE QUEIROZ OLIVEIRA
DATA DA DEFESA: 23 de agosto de 2024 LOCAL: Sala 03 do LABOFIS
HORÁRIO DE INÍCIO: 16:19

MEMBROS DA BANCA	FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO			
MARILDO GERALDÊTE PEREIRA	Presidente	DR	UEFS
CARLOS ALBERTO DE LIMA RIBEIRO	Membro Interno	DR	UEFS
MARINA RODRIGUES MARTINS	Membro Externo	DR	UFRB

TÍTULO DEFINITIVO DA DISSERTAÇÃO*: ENSINO DE BIOLOGIA CONTEXTUALIZADO NA ASTRONOMIA - CONTRIBUIÇÕES DA EXPOGRAFIA DE MICRORGANISMOS EXTREMÓFILOS. *Anexo: produto(s) educacional(ic) gerado(s) neste trabalho.

Em sessão pública, após exposição de 40 min, o(a) candidato(a) foi argüido(a) oralmente pelos membros da banca, durante o período de 1:05h. A banca chegou ao seguinte resultado**:

- APROVADO(A)
 INSUFICIENTE
 REPROVADO(A)

** Recomendações¹: _____

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada, pelo candidato e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Feira de Santana, 23 de Agosto de 2024

Presidente: [Assinatura]
Membro 1: [Assinatura]
Membro 2: [Assinatura]
Membro 3: _____
Candidato (a): [Assinatura]
Coordenador do PGAstro: [Assinatura]

¹ O aluno deverá encaminhar à Coordenação do PGAstro, no prazo máximo de 60 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da Dissertação, após realizadas as correções sugeridas pela banca.



**ANEXO DA ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:
PRODUTO(S) EDUCACIONAL(IS) GERADO(S) NO TRABALHO FINAL DE CURSO**

CANDIDATO (A): RODRIGO DE QUEIROZ OLIVEIRA

DATA DA DEFESA: 23 de agosto de 2024 LOCAL: Sala 03 do LABOFIS

HORÁRIO DE INÍCIO: 16:14

- EBOOK SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DA
ASTROBIOLOGIA
- EBOOK RODAS DE CONVERSAS COM ESTUDANTES SOBRE ASTROBIOLOGIA
- EBOOK CADERNO DE RESUMOS E PÔSTERS
- EBOOK EXPOSIÇÃO - ASTROBIOLOGIA VAI À ESCOLA

Feira de Santana, 23 de Agosto de 2024.

Presidente: [Assinatura]
Membro 1: Paulo Alberto de Jesus Ribeiro
Membro 2: [Assinatura]
Membro 3: _____
Candidato (a): Rodrigo de Queiroz Oliveira
Coordenador do PGAstro: Paulo César de Rêgo



Fonte: Arquivo pessoal

Para meus pais, Gilson (1956-2023) e Maria Eneusa, para meu irmão Ronaldo, para minha esposa, Charlene, e para meus filhos Lara e Lucas que me ensinam coisas importantes.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), ao Programa de Pós-Graduação em Astronomia - Mestrado Profissional (MPAstro) da UEFS, a Secretaria de Educação do Estado da Bahia, ao Centro Estadual de Educação Profissional (CEEP) em Saúde do Centro Baiano, ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia da UEFS, ao Observatório Astronômico Antares da UEFS, ao Museu Interativo de Ciência e Tecnologia Estação Ciência do Serviço Social da Indústria, e ao Museu Geológico da Bahia.

Ao meu orientador Professor Doutor Marildo Geraldete Pereira, a 3ª série da Educação Profissional Integrada ao Ensino Médio do Curso Técnico em Química do CEEP em Saúde do Centro Baiano, a 9ª turma do MPAstro, ao Prof. Dr. Paulo César da Rocha Poppe (UEFS), a Profa. Dra. Vera Aparecida Fernandes Martin (UEFS), ao Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima Ribeiro (UEFS), a Sra. Fernanda Gomes de Oliveira (UEFS), ao Prof. Dr. Jairo Cavalcanti Amaral (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB), aos professores do MPAstro, aos membros das qualificações e da defesa, aos educadores museais, a gestão, coordenação, professores e demais funcionários e estudantes do CEEP em Saúde do Centro Baiano.

Aos amigos e familiares.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado (Processo:130961/2023-0).



Fonte: Arquivo pessoal

“E quando vejo o mar
Existe algo que diz
Que a vida continua e se entregar é uma bobagem”

Dado Villa-Lobos / Renato Russo / Marcelo Bonfá

RESUMO

A Astrobiologia emerge como área fascinante de investigação científica e cria um ambiente interdisciplinar para ensino, aprendizagem e divulgação sobre origem, evolução, distribuição e futuro da vida na Terra e fora dela. Na Educação Básica a Astrobiologia está prevista na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e funciona como um eixo integrador do conhecimento, articulando os componentes curriculares de Biologia, Física e Química. De tal modo, neste estudo exploratório, de abordagem qualitativa, complementada com quantitativa, objetivou-se possibilitar o entendimento sobre a busca de vida em ambientes extraterrestres análogos a Terra. Para tanto, a metodologia adotada consistiu em mobilizar estudantes de uma turma do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio de uma escola pública em debate, rodas de conversa, visitas a museus de ciência, composição de poema, observação de corpos celestes e oficinas para concepção, montagem e monitoria de uma exposição sobre microrganismos extremófilos como modelos para busca de vida fora da Terra. Para análise dos dados, adotou-se a Análise de Discurso, Análise de Conteúdo, técnica do Discurso do Sujeito Coletivo e o coeficiente de alfa de Cronbach. Os resultados indicam que o debate promoveu processos de argumentação e consenso de que existe vida fora da Terra; os questionamentos nas rodas de conversa implicaram em como a ciência, tecnologia e inovação em astronomia pode impactar no cotidiano; as visitas aos museus de ciência oportunizaram aprendizado científico, cultural e socializador; a composição de poema demonstrou apropriação de conteúdos astronômicos e a criação de pontes imaginativas conduzidas pela emoção; a observação de corpos celestes produziu evidências de alvos astrobiológicos; as oficinas demonstraram o modelo mais recente para a origem da vida e a busca dela fora da Terra; a exposição possibilitou o encontro entre visitante e conjunto expositivo abarcando a Astrobiologia; e a participação em eventos constituiu estratégia de iniciação científica, divulgação e popularização da Astrobiologia. Além disso, 87,5% dos estudantes concordam totalmente que a transposição de um modelo científico para um modelo didático da possível existência de vida na lua Europa de Júpiter, propõe adquirir conhecimento sobre origem da vida. Esse dado, sugere que, a escola é um espaço privilegiado para articular e aprofundar os recentes conhecimentos fornecidos pela Astrobiologia e o Mestrado Profissional em Ensino possibilita essa articulação dialógica entre professor e estudante e cientista. Conclui-se que a concepção, montagem e avaliação da expografia contribuiu para divulgação e popularização da Astrobiologia ao articular conteúdos de natureza científico e culturais para o entendimento interdisciplinar sobre a busca de vida em ambientes extraterrestres análogos a Terra. Por meio deste estudo foram gerados os *e-books* “Sequência didática para o ensino e aprendizagem da Astrobiologia”, “Rodas de conversa com estudantes sobre Astrobiologia”, “Caderno de resumos e pôsteres de trabalhos científicos sobre Astrobiologia apresentados em eventos” e “Exposição Astrobiologia vai à Escola”, como produtos educacionais a serem utilizados por profissionais envolvidos com ensino.

Palavras-chave: Astrobiologia; Interdisciplinaridade; Popularização da ciência; Produto educacional.

ABSTRACT

Astrobiology emerges as a fascinating area of scientific research. It creates an interdisciplinary environment for teaching, learning and dissemination about the origin, evolution, distribution and future of life on Earth and beyond. In Basic Education, Astrobiology is included in the National Common Curricular Base (BNCC) and functions as an integrating axis of knowledge, articulating the curricular components of Biology, Physics and Chemistry. Therefore, in this exploratory study, with a qualitative approach, complemented with a quantitative one, the objective was to enable an understanding of the search for life in extraterrestrial environments similar to Earth. To this end, the methodology adopted consisted of mobilizing students from a class of the Technical Course in Chemistry Integrated to High School at a public school in debate, conversation circles, visits to science museums, composition of a poem, observation of celestial bodies and workshops for conception, assembly and monitoring of an exhibition on extremophile microorganisms as models for the search for life beyond Earth. For data analysis, Discourse Analysis, Content Analysis, Collective Subject Discourse technique and Cronbach's alpha coefficient were adopted. The results indicate that the debate promoted processes of argumentation and consensus that life exists outside Earth; the questions in the conversation circles involved how science, technology and innovation in astronomy can impact everyday life; visits to science museums provided opportunities for scientific, cultural and socializing learning; the poem composition demonstrated the appropriation of astronomical content and the creation of imaginative bridges driven by emotion; observation of celestial bodies has produced evidence of astrobiological targets; the workshops demonstrated the most recent model for the origin of life and the search for it beyond Earth; the exhibition enabled a meeting between the visitor and the exhibition group covering Astrobiology; and participation in events constituted a strategy for scientific initiation, dissemination and popularization of Astrobiology. Furthermore, 87.5% of students completely agree that the transposition of a scientific model to a didactic model of the possible existence of life on Jupiter's moon Europa proposes acquiring knowledge about the origin of life. This data suggests that the school is a privileged space to articulate and deepen the recent knowledge provided by Astrobiology and the Professional Master's in Teaching enables this dialogical articulation between teacher and student and scientists. It is concluded that the design, assembly and evaluation of the expography contributed to the dissemination and popularization of Astrobiology by articulating scientific and cultural content for the interdisciplinary understanding of the search for life in extraterrestrial environments analogous to Earth. Through this study, the e-books "Didactic sequence for teaching and learning Astrobiology", "Conversation circles with students about Astrobiology", "Booklet of summaries and posters of scientific works on Astrobiology presented at events" and "Astrobiology Exhibition goes to School", as educational products to be used by professionals involved in teaching.

Keywords: Astrobiology; Interdisciplinarity; Popularization of Science; Educational product.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 BREVE HISTÓRIA DA ASTROBIOLOGIA.....	16
2.2 ASTROBIOLOGIA EM DOCUMENTO NORMATIVO PARA O ENSINO MÉDIO.....	20
2.3 FORMAÇÃO INICIAL E CONTINUADA DOS EDUCADORES PARA O ENSINO DE ASTROBIOLOGIA.....	23
2.4 ASTROBIOLOGIA EM RECURSOS DIDÁTICOS.....	24
2.4.1 Astrobiologia no Livro Didático.....	24
2.4.2 Produtos Educacionais relacionados à Astrobiologia.....	29
2.5 ASTROBIOLOGIA PARA ALÉM DA SALA DE AULA, COMO OS MUSEUS....	31
2.6 BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO, DO SISTEMA SOLAR, DO PLANETA TERRA E DA VIDA COMO A CONHECEMOS.....	33
2.7 MICRORGANISMOS COMO OBJETO DE ESTUDO DA ASTROBIOLOGIA...	48
2.8 HABITABILIDADE E BIOASSINATURAS EM EXOPLANETAS.....	54
2.9 ALVOS TRADICIONAIS DA BUSCA POR VIDA FORA DA TERRA.....	62
2.9.1 Possível habitabilidade passada do planeta Marte.....	68
2.9.2 Persistência da habitabilidade das nuvens do planeta Vênus.....	70
2.9.3 Potencial habitabilidade em luas geladas do Sistema Solar.....	73
3 METODOLOGIA.....	77
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	77
3.2 SUJEITOS E CONTEXTO DE PESQUISA.....	77
3.3 INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA.....	79
3.4 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	80
3.4.1 Debate.....	80
3.4.2 Rodas de conversa.....	83
3.4.3 Visitas guiadas a museus de ciência.....	84
3.4.4 Composição de poema.....	86
3.4.5 Observação de corpos celestes.....	87
3.4.6 Oficinas.....	87

3.4.7 Representação gráfica.....	88
3.4.8 Extroversão.....	89
3.4.9 Apresentação de trabalho científico em eventos.....	90
3.4.10 Produtos Educacionais.....	90
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
4.1 DEBATE.....	91
4.2. RODAS DE CONVERSA.....	99
4.2.1 Roda de conversa sobre o tema “Astrobiologia: vida no Universo”	99
4.2.2 Roda de conversa sobre o tema “Divulgação científica da Astrobiologia nos museus de ciência”	105
4.2.3 Roda de conversas sobre o tema “Futuro da vida na Terra e no Universo”	110
4.2.4 Discutindo as rodas de conversa.....	115
4.3 VISITAS GUIADAS A MUSEUS DE CIÊNCIA.....	118
4.3.1 Discutindo as visitas guiadas a museus de ciência.....	126
4.4 COMPOSIÇÃO DE POEMA.....	127
4.5 OBSERVAÇÃO DE CORPOS CELESTES.....	133
4.6 OFICINAS.....	135
4.7 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA.....	140
4.8 EXTROVERSÃO.....	141
4.9 APRESENTAÇÃO DE TRABALHO CIENTÍFICO EM EVENTO.....	142
4.10 PRODUTOS EDUCACIONAIS.....	144
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146
REFERÊNCIAS.....	149
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	160
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS SOBRE VISITAS AOS MUSEUS DE CIÊNCIA.....	161
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO SOBRE OFICINAS PARA TRANSPOSIÇÃO DE UM MODELO CIENTÍFICO PARA UM MODELO DIDÁTICO.....	162
APÊNDICE D – CONVITE EXPOSIÇÃO ASTROBIOLOGIA VAI À ESCOLA.....	163
APÊNDICE E – TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, LEVANTADOS E ANALISADOS POR ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DA REDE ESTADUAL	

DE ENSINO, TENDO EM VISTA A PRODUÇÃO DO DEBATE SOBRE AS POSSIBILIDADES DE EXISTÊNCIA DE VIDA FORA DA TERRA.....	164
APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES.....	166
ANEXO A – TRILHA ANCESTRAL: ORIGENS.....	177
ANEXO B – EXPLORANDO O TEMA: ASTROBIOLOGIA.....	178
ANEXO C – TERMO DE CIÊNCIA DOS PAIS OU RESPONSÁVEIS PARA SAÍDA DE ESTUDANTE PARA AÇÕES EXTERNAS.....	180
ANEXO D – ASTROBIOLOGIA: VIDA NO UNIVERSO.....	181
ANEXO E – DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DA ASTROBIOLOGIA NOS MUSEUS DE CIÊNCIA.....	182
ANEXO F – FUTURO DA VIDA NA TERRA E NO UNIVERSO.....	183
ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO.....	184

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Tive a oportunidade quando criança de frequentar a fazenda dos meus avós no município de Capela do Alto Alegre na Bahia, BA. Nesse espaço iniciei uma imersão na natureza e no Universo. Me lembro que durante a luz do dia o verde me alegrava e a noite quando o candeeiro se apagava o Universo ascendia para contemplação e grandes questões. Eram nos períodos de férias que em agradáveis rodas de conversa em família que, por mais simples que fosse, obtinha breves respostas populares as grandes questões. Desejando estudar essas questões e respostas mais a fundo, busquei conhecimentos sobre a natureza, a vida e o Universo nas publicações de Carl Sagan (Sagan, 2017), Stephen Hawking (Hawking, 2018) e Neil deGrasse Tyson (Tyson, 2020). Mais tarde, meu fascínio pela Arte, Ciência e Filosofia, por assim dizer, me conduziu para a carreira acadêmica em práticas pedagógicas para o ensino e comunicação em Astrobiologia que, por sua vez, pressupõe o estudo interdisciplinar da vida no Universo. Dito de outra forma, a Astrobiologia é definida como um campo de pesquisa dedicado a entender a origem, a evolução, a distribuição e o futuro da vida, na Terra ou fora dela (Blumberg, 2003).

Segundo Martins *et al.* (2017) como o acesso ao Universo é limitado, os cientistas utilizam a Terra como ferramenta para a Astrobiologia, conduzindo estudos com analogia para investigar habitabilidade e bioassinaturas em ambientes extraterrestres semelhantes aos ambientes terrestres. No estado atual, os microrganismos terrestres adaptados aos mais extremos da Terra (temperatura, salinidade, pH, pressão, disponibilidade de água, radiação ultravioleta entre outros fatores), ou seja, extremófilos, são modelos potenciais para a compreensão, sobretudo devido ao fato de que as primeiras formas de vida na Terra eram microbianas e há suposição de que, se existe alguma vida extraterrestre, ela deve ser organismos unicelulares.

Assim, reportando-se às condições da Terra primitiva e sob o impulso da descoberta dos extremófilos, em 1997, Michael J. Russell e Alan J. Hall, da Universidade de Glasgow, Escócia, publicaram uma proposta detalhada de como a vida poderia ter surgido há 4,2 mil milhões de anos no oceano Hadeano, rico em íons ferro (Dias; Maia, 2012). Os autores propunham que a vida surgiu na Terra a partir de membranas de sulfeto de ferro nas imediações de fonte hidrotermal submarina (Russell; Hall, 1997).

Para Nascimento-Dias *et al.* (2023) a analogia é necessária visto que não possuímos nenhuma amostra de microrganismos extraterrestres, além disso a própria vida na Terra habita em ambientes onde inicialmente acreditava-se não haver vida alguma. Nessa perspectiva, a Terra primitiva poderá não ter sido muito diferente do que no início foi o planeta Marte, ou de que são atualmente algumas das luas dos planetas Júpiter e Saturno (Dias; Maia, 2012). Deste modo, há evidências sugerindo que a vida pode também existir ou já ter existido, em planetas e luas de nosso Sistema Solar, em particular em ambientes subterrâneos em Marte (Westall *et al.*, 2013), atmosfera de Vênus (Westall *et al.*, 2023), e nas luas geladas de Júpiter (por exemplo, Europa) e Saturno (Encélado e Titã) (Russell; Murray; Hand, 2017), e em planetas que se encontram fora do Sistema Solar, em órbita de outras estrelas, chamados de exoplanetas (Schwieterman *et al.*, 2018). Além disso, o bom momento da Astrobiologia está ligado a expansão na exploração espacial (PRATO DO DIA..., 2017).

Para Hays (2015) o sucesso da Astrobiologia depende da coordenação de diversas disciplinas, de programas científicos e de divulgação pública no contexto da sala de aula e outros espaços, por exemplo museus de ciência, para educar e inspirar futuras gerações de cientistas, tecnólogos e cidadãos informados.

De tal modo, não é de estranhar o fato da criação de um contexto favorável para que professores e estudantes se apropriem do conhecimento sobre o fenômeno da vida e a exploração do Universo, conteúdo de ensino previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química (Brasil, 2018). Assim sendo, numa contextualização social, histórica e cultural, pretende-se responder a seguinte pergunta de pesquisa: como diferentes estratégias para abordar sobre microrganismos em ambientes extremos da Terra podem possibilitar o entendimento da busca de vida fora da Terra por estudantes do curso de Técnico em Química?

Desse modo, esta pesquisa teve como objetivo geral possibilitar o entendimento sobre a busca de vida em ambientes extraterrestres análogos a Terra. Ao mesmo tempo que os objetivos específicos foram: 1) Realizar debate sobre a possibilidade de existência de vida fora da Terra; 2) Realizar rodas de conversa com cientistas a respeito da Astrobiologia; 3) Investigar em museus de ciência temas

abordados pela Astrobiologia; 4) Escrever poema sobre o Universo com ênfase na Astrobiologia; 5) Observar corpos celestes com interesse astrobiológico por meio de telescópios; 6) Realizar oficinas para transposição de um modelo científico para um modelo didático da possível existência de vida na lua Europa de Júpiter; 7) Analisar as implicações da concepção, montagem e avaliação da expografia para promoção de uma educação da Astrobiologia; 8) Confeccionar produtos educacionais para divulgação da Astrobiologia.

Diante disso, os produtos educacionais gerados neste trabalho foram quatro *e-books*. O primeiro *e-book* “Sequência didática para o ensino e aprendizagem da Astrobiologia” tem a pretensão da divulgação científica em escola, universidade e museus de ciência através de diferentes modalidades didáticas. Já o segundo *e-book* “Rodas de conversa com estudantes sobre Astrobiologia” provoca aprendizagem mediada pela curiosidade e diálogo, pois estaria a origem do conhecimento nas perguntas. O terceiro *e-book* “Caderno de resumos e pôsteres de trabalhos científicos sobre Astrobiologia apresentados em eventos” busca a socialização dos conhecimentos científicos produzidos. O quarto e último *e-book* “Exposição Astrobiologia vai à Escola” impulsiona a imaginação e antecipa questões, por exemplo, quais as implicações se não estivermos sós no Universo?

Por fim, o trabalho foi organizado em cinco capítulos. No caso deste primeiro capítulo foi feita uma apresentação adiantando ao leitor um pouco do que o espera sobre o tema Astrobiologia. No segundo capítulo se resgatará parte do que se tem investigado a respeito da Astrobiologia como Ciência e a Astrobiologia como componente curricular integrador que extrapola a escola. No terceiro capítulo será apresentada a metodologia adotada nesse trabalho, discorrendo sobre as peculiaridades de cada modalidade didática que faz parte da intervenção pedagógica, bem como sobre os procedimentos adotados para análise dos dados. O quarto capítulo contempla os resultados e discussão crítica das descobertas obtidas durante o estudo. O quinto e último capítulo, dedicado as considerações finais, apresento as principais conclusões deste estudo.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este Referencial Teórico está dividido em seções. A seção 2.1 apresenta o florescer da Astrobiologia como ciência. A seção 2.2 procura mostrar a Astrobiologia como um eixo integrador do conhecimento na área Ciências da Natureza e suas Tecnologias na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Por outro lado, a limitação na oferta de curso específico de formação de professores em Astrobiologia é discutida na seção 2.3. A seção 2.4 trata da seleção de conteúdos e das propostas de condução das atividades para o processo de ensino e aprendizagem da Astrobiologia. Na seção 2.5 procura-se mostrar o museu como espaço para crítica, apreciação e fruição da Astrobiologia. A seção 2.6 é dedicada a uma breve história do Universo, do Sistema Solar, do planeta Terra e da vida como a conhecemos, procura-se mostrar os componentes essenciais, as etapas e os cenários geológicos que levaram ao surgimento da vida. A seção 2.7 apresenta os extremófilos como possibilidade para a Astrobiologia existir como ciência. A seção 2.8 estabelece a concepção de habitabilidade e as bioassinaturas que possam ser captadas em exoplanetas por instrumentos. Finalmente, a seção 2.9 apresenta os tradicionais alvos para a busca de vida fora da Terra e as expectativas envolvendo as missões.

2.1 BREVE HISTÓRIA DA ASTROBIOLOGIA

Segundo Galante *et al.* (2016), a moderna Astrobiologia deriva da antiga área de pesquisa chamada Exobiologia, a busca científica de vida extraterrestre, iniciada em 1959, quando se definiu a primeira versão da hipótese exobiológica, sendo seus principais proponentes, astrônomos e físicos (Quillfeldt, 2010).

[...] primeira versão da hipótese exobiológica: se existir vida inteligente na forma de uma civilização tecnológica, esta certamente conhecerá o espectro eletromagnético e, em particular, empregará as ondas de rádio nas telecomunicações [...] (Quillfeldt, 2010, p.689).

Entretanto devido à dificuldade na detecção de sinais de civilizações extraterrestres e por não possuir um objeto de estudo conhecido (um exemplar de vida extraterrestre), houve mudança do enfoque “exo” para “Astrobiologia”, que aceita e investiga a possibilidade de vida extraterrestre microscópica e unicelular atual ou extinta (Quillfeldt, 2010).

Segundo Galante *et al.* (2016), em essência a Astrobiologia é uma área de pesquisa multi e interdisciplinar, onde físicos, astrônomos, químicos, geólogos, biólogos e outros, incluindo pesquisadores das engenharias e ciências humanas, procuram maneiras novas para entender o fenômeno da vida no Universo, sua origem, evolução, distribuição e futuro.

Aqui cabe relatar que para Santos (2007) nas pesquisas multidisciplinares as disciplinas distintas se unem em torno de um objetivo comum, no entanto, as fronteiras conceituais e metodológicas são mantidas. Ainda segundo a autora, diferentemente da pesquisa multidisciplinar, a interdisciplinar parte da integração das disciplinas, com a consequente construção de novo aparato conceitual e metodológico na explicação ou interpretação de um novo objeto, podendo haver predominância ou não de uma das disciplinas envolvidas.

Para Blumberg (2003) a visão atual da Astrobiologia se deu em 1998, quando a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA, *National Aeronautics and Space Administration*) dos Estados Unidos das Américas (USA, *United States of America*) reestruturou e ampliou o escopo do seu antigo programa de Exobiologia, dedicado a procurar vida fora da Terra, renomeando como programa de Astrobiologia e criando o Instituto de Astrobiologia da NASA (NAI, *NASA Astrobiology Institute*). Por outro lado, o termo Astrobiologia já vinha sendo usado em diferentes contextos, desde a década de 1940, e o primeiro registro do termo Astrobiologia no Brasil foi em 1958, pelo professor e biólogo Flávio Augusto Pereira, em seu livro intitulado “Introdução à Astrobiologia” (Rodrigues; Galante; Avellar, 2016).

Quillfeldt (2010) cita três impulsos para a visão atual da Astrobiologia: 1) quando no final dos anos 1970, biólogos descobrem microrganismos vivendo em condições impossíveis para a maioria dos demais seres vivos da Terra e ampliam os horizontes acerca do que é biologicamente verossímil, esses microrganismos são chamados de extremófilos; 2) com a astronáutica explorando, progressivamente desde os anos 1960 com Marte e Vênus, o que há em pontos mais longínquos do Sistema Solar e em que condições, por exemplo, Júpiter, Saturno e suas muitas luas, os asteroides e outros corpos remotos; 3) a partir de 1995, com a confirmação experimentalmente do primeiro planeta fora do Sistema Solar orbitando outra estrela, conhecido como exoplaneta.

O que se pode perceber é que a Astrobiologia deve ser entendida como consequência do avanço tecnológico e da exploração do Universo, resultantes das demandas políticas, sociais e financeiras da atividade humana (Chefer; Oliveira, 2022).

A Astrobiologia começou a se institucionalizar no Brasil a partir de 2006, com a organização do I Workshop Brasileiro de Astrobiologia e diversos projetos de pesquisa foram criados após essa data, com Douglas Galante na Universidade de São Paulo (USP) e Ivan Paulino-Lima na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), permitindo que o Brasil se tornasse e um membro da comunidade científica internacional em Astrobiologia (Rodrigues; Galante; Avellar, 2016).

Nesse contexto, a abundante biodiversidade brasileira, os recursos humanos altamente qualificados e interessados no assunto e, as instalações de última geração, por exemplo, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) (Figura 2.1), refletindo investimentos governamentais em ciência, tecnologia e educação, proporcionaram pesquisas relacionadas à Astrobiologia (Rodrigues *et al.*, 2012).

Figura 2.1 - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). O LNLS é responsável pela operação do Sirius, um laboratório científico extremamente sofisticado e mundialmente competitivo, que funciona como um grande microscópio que utiliza a luz síncrotron, produzida por aceleradores de partículas, que – ao revelar a estrutura molecular, atômica e eletrônica dos mais diversos materiais – permite pesquisas em praticamente qualquer área do conhecimento, com potencial de resolver grandes problemas da atualidade.



Fonte: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron [2023]. Disponível em: <<https://lnls.cnpem.br/>>. Acesso em 04 de maio de 2023.

Faz-se necessário destacar ainda que a Astrobiologia se constitui como uma das frentes de pesquisas patrocinadas pelas agências aeroespaciais com interesse

acadêmico e social. O Programa de Astrobiologia da NASA¹, apoia pesquisas no laboratório, no campo e em experimentos realizados em missões científicas planetárias, que levam a uma melhor compreensão de como a vida surgiu e evoluiu na Terra, quais condições tornam os ambientes em nosso Universo capazes de sustentar a vida e qual pode ser a distribuição de mundos habitáveis e vida além da Terra. A Agência Espacial Europeia (ESA, *European Space Agency*) com o Programa *ExoMars*, aborda a questão se a vida já existiu em Marte².

Segundo Rodrigues, Galante e Avellar (2016), em dezembro de 2011, pesquisadores do Núcleo de Apoio à Pesquisa (NAP) de Astrobiologia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), promoveram a Escola São Paulo de Astrobiologia (SPASA, *São Paulo Advanced School of Astrobiology*), primeira iniciativa brasileira de um curso em Astrobiologia. Os autores ainda destacam que com participante do país e do exterior, os contatos feitos nesse encontro possibilitaram que o Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade Estadual de São Paulo (NAP-Astrobio/USP) também se tornasse membro associado do Instituto de Astrobiologia da NASA (NAI, *NASA Astrobiology Institute*), além da Rede Europeia de Associações de Astrobiologia (EANA, *European Astrobiology Network Association*). Segundo Blumberg (2003) estão entre os objetivos do NAI, um “instituto virtual”, apoiar a pesquisa básica, a educação do público, envolver os estudantes que serão astrobiólogos e o desenvolvimento de uma cultura de colaboração.

Em 2017 foi criada a Associação Brasileira de Astrobiologia³ (SBAstroBio), entre os objetivos destacamos: estimular as pesquisas e o ensino da Astrobiologia no País e manter relações de intercâmbio com organizações internacionais.

Desta forma, a Astrobiologia abre oportunidade para envolver os alunos tanto do ensino superior quanto da educação básica, na ciência, tecnologia, engenharia e

¹ NASA ASTROBIOLOGY. [Site institucional]. Disponível em <<https://astrobiology.nasa.gov/>>, acesso em 04 de maio de 2023.

² THE EUROPEAN SPACE AGENCY. [Site institucional]. *Science & Exploration. Missions ExoMars*. Disponível em <https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars>, acesso em 04 de maio de 2023.

³ SOCIEDADE BRASILEIRA DE ASTROBIOLOGIA. [Site institucional]. Disponível em <<http://sbastrobio.org/>>, acesso em 04 de maio de 2023.

matemática, inspirando, portanto, futuras gerações de cientistas, tecnólogos e cidadãos informados (Hays, 2015).

2.2 ASTROBIOLOGIA EM DOCUMENTO NORMATIVO PARA O ENSINO MÉDIO

Segundo Ferreira *et al.* (2021) a astronomia por ser um tema popular e reconhecidamente fundante do pensamento científico moderno, diversos países a inserem em seus currículos de ciências. Por outro lado, para Filipe, Silva e Costa (2021) nessa disputa pelo saber sistematizado, as decisões sobre a formação escolar e a escolha dos conteúdos do currículo são técnicas e políticas.

No Brasil, as recentes alterações na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), em função da Lei nº 13.415/2017, e a atualização nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), em função da Resolução nº 3/2018, substituem o modelo único de currículo do Ensino Médio por um modelo diversificado e flexível, que será composto pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e por itinerários formativos acadêmicos e também da formação técnica profissional (Brasil, 2018).

A BNCC alinhada à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU)⁴ contemplam as competências gerais, competências específicas e habilidades por áreas do conhecimento, que consubstancia no âmbito pedagógico os direitos e objetivos de aprendizagem e desenvolvimento dos estudantes (Brasil, 2018). Na BNCC competência é definida como:

[...] mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho (Brasil, 2018, p. 8).

No que se refere aos itinerários formativos acadêmicos, a BNCC prevê a oferta de aprofundamento em Astrobiologia na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Esse aprofundamento está previsto, principalmente na competência específica 2 e espera-se que os alunos possam:

⁴ ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br>>. Acesso em 30 de abril de 2023.

Por outro lado, não aparece na BNCC o termo Astrobiologia, em seu lugar tem o termo exobiologia (Brasil, 2018, p.556).

Sendo assim, a Astrobiologia aparece como promissora área de investigação científica, funcionando como um eixo integrador do conhecimento na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, articulando os componentes curriculares de Biologia, Física, Química. Para Damineli e Steiner (2010), mais do que isso, a Astrobiologia envolve a área de Matemática e uma combinação de ciência, tecnologia e cultura, inspirando os jovens às carreiras científicas e tecnológicas, mostrando ao cidadão de onde viemos, onde estamos e para onde vamos. Nessa perspectiva a Astrobiologia associa-se também a área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (integrada por História, Geografia, Sociologia e Filosofia).

Diante do contexto, a Astrobiologia ocasiona uma interdisciplinaridade entre as Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, possibilitando abordagem do ambiente natural e social.

Ramos e Ferreira (2020) defende que a interdisciplinaridade se tornou um termo polissêmico e no campo da educação, anuncia interdisciplinaridade como:

[...] processo intenso e dinâmico de conexão/comunicação/interação em que a reciprocidade/mutualidade/dialogicidade possam se fazer presentes entre saberes/conhecimentos/métodos/pessoas, o que significa uma nova lógica para lidar com as disciplinas e seus contextos de produção (RAMOS; FERREIRA, 2020, p. 213-214).

Para Thiesen (2008) há um consenso no campo educativo de que a interdisciplinaridade busca superar a visão fragmentada nos processos de produção e socialização do conhecimento, podendo transformar profundamente a qualidade da educação escolar. Nesse sentido, a interdisciplinaridade será articuladora do processo de ensino e de aprendizagem na medida em que se tomará como elemento orientador do trabalho pedagógico e nas formas de organização dos ambientes para a aprendizagem.

Em consonância com as alterações dos documentos nacionais da educação, faz-se necessário subsidiar a formação inicial e continuada dos educadores e a produção de materiais didáticos.

2.3 FORMAÇÃO INICIAL E CONTINUADA DOS EDUCADORES PARA O ENSINO DE ASTROBIOLOGIA

Em consulta ao Cadastro Nacional de Cursos e Instituições de Educação Superior - Cadastro e-MEC⁵, até 2022, nenhum registro de Curso de Graduação em Astrobiologia foi encontrado no País, por outro lado, foi identificado em 2012 a oferta do Curso de Especialização em Astrobiologia na Universidade Estadual de Londrina (UEL), com quantidade total de 14 egressos e situação de funcionamento atual desativado. Em consulta a Plataforma Sucupira⁶, até 2022, nenhum registro de Curso de Mestrado (acadêmico ou profissional) e Doutorado (acadêmico ou profissional) foi encontrado com o nome Astrobiologia.

Deste modo, os estudantes que decidem seguir por essa área têm que procurar por orientadores que os acolham com um projeto sobre algum problema de interesse da Astrobiologia (Galante *et al.*, 2016).

Considerando o contexto local, a oferta do Mestrado Profissional em Astronomia⁷ (MPAstro) na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), com Área de concentração em Ensino e Difusão de Astronomia e Linha Ensino Interdisciplinar de Astronomia e a Difusão Científico-Tecnológica, possibilita capacitação de professores para atender a demanda do tema astronomia e conhecimentos relacionados a Astrobiologia (Figura 2.3), visto que não foi devidamente trabalhados ao longo de sua formação acadêmica inicial.

O MPAstro da UEFS está legitimado pelo Conselho Nacional de Educação, Resolução Nº 1 de 27 de outubro de 2020, que dispõe sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Continuada de Professores da Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Continuada de Professores da Educação Básica (BNC-Formação Continuada) (Brasil, 2020).

⁵ Disponível em <<https://emec.mec.gov.br/emec/consulta-cadastro/detalhamento/d96957f455f6405d14c6542552b0f6eb/OQ==/93916316abe23148507bd4c260e4b878/MjkzODI=>>>, acesso em 04 de maio de 2023.

⁶ Disponível em <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativoAreaAvaliacao.xhtml>>, acesso em 04 de maio de 2023.

⁷ PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA. [Site institucional]. Disponível em: <<http://www.mp-astro.uefs.br/>>, acesso em 04 de maio de 2023.

Figura 2.3 - Ementa do componente curricular optativo Astrobiologia do Mestrado Profissional em Astronomia (MPAstro) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

AST316 – ASTROBIOLOGIA

Ementa: Estudo das possibilidades de vida extraterrestre. Análise de como ambientes extraterrestres podem afetar organismos vivos. Estudo de ambientes externos para o surgimento e manutenção da vida.

Referências

- Horneck-Horneck, G. & Rettberg, P., Complete Course in Astrobiology, Wiley-VCH, 2007
 Gargaud, M., Barbier B., Martin H. & Reisse J., Lectures in Astrobiology I, part 1 – The Early Earth and Other Cosmic Habitats for life, Springer, 2006
 Gargaud, M., Barbier B., Martin H. & Reisse J., Lectures in Astrobiology I, part 2 – From Prebiotic Chemistry to Origin of Life on Earth, Springer, 2006
 Gilmour I. & Spehton M.A., An Introduction to Astrobiology, The Open University, Cambridge, 2004
 Greenberg J.M., Mendoza-Gomez C.X. & Pirronello V., The Chemistry of Life's Origin, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1993

Artigos publicados em periódicos
 Notas de aula/apostila
 Notas técnicas

Fonte: Pós-graduação em Astronomia [2023]. Disponível em: <
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=dWVmcy5icnxtcC1hc3Ryb3xneDo0MDVINDg5YmU5NTc4Mzk1>>. Acesso em 04 de maio de 2023.

2.4 ASTROBIOLOGIA EM RECURSOS DIDÁTICOS

2.4.1 Astrobiologia no Livro Didático

Além da ampliação da carga horária e da oferta dos itinerários formativos, a nova estrutura do Ensino Médio, adequou o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD). Deste modo, o PNLD 2021 organizou os livros didáticos não mais por disciplinas específicas separadas, mas por áreas do conhecimento, contemplado as competências e habilidades previstas nas orientações da BNCC. Em nosso caso as obras da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, englobam as disciplinas de Biologia, Física e Química, cujos conteúdos curriculares estão de maneira interdisciplinar no conjunto dos 6 volumes de cada obra. A forma como os volumes serão utilizados ficam a cargo do projeto pedagógico da escola.

O livro didático nas escolas públicas brasileiras é um material importante para o processo de ensino e aprendizagem e alfabetização científica, sendo muitas vezes o único material físico disponível para uso dentro e fora da sala de aula. Esses livros são aprovados no PNLD e escolhido democraticamente pelo corpo docente das escolas, com base nas orientações constantes no Guia do PNLD (Brasil, 2021). Segundo Lúcia Helena Sasseron a alfabetização científica “[...] revela-se como a capacidade construída para a análise e a avaliação de situações que

permitam ou culminem com a tomada de decisões e o posicionamento” (Sasseron, 2015, p. 56).

Na investigação de Carneiro, Santos e Mól (2005) sobre a função pedagógica do livro didático e sua relação com o professor, evidenciou que os professores manifestaram um maior incomodo com a mudança na organização dos conteúdos, por outro lado, apreciam a abordagem de temas atuais. Para os autores essa tensão precisa ser vencida, caso contrário os professores podem não se sentir à vontade para enveredar em novas propostas de trabalho. Assim, é natural o estranhamento presente nas sete obras aprovadas no PNLD 2021, relacionado aos estudos da Astrobiologia (Figura 2.4).

No Quadro 2.1 temos a articulação interdisciplinar, na qual os conhecimentos de Biologia, Física e Química se integram de modo a fortalecer a compreensão da Astrobiologia.

No Livro do Estudante de Amabis *et al.* (2020), Godoy, Dell’Agnolo e Melo (2020), Lopes e Rosso (2020), Santos *et al.* (2020), nos tópicos relacionados à Astrobiologia há abordagens que oportuniza os estudantes no que tange a influência dos microrganismos extremófilos nas pesquisas astrobiológicas (Figura 2.5).

Partindo desses pressupostos, cabe pensarmos na seleção de conteúdos de modo não arbitrário e nas propostas de articulação e condução das atividades de acordo com uma perspectiva humanística, científica e tecnológica. Nesse sentido, são inegáveis as articulações entre o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e a pedagogia dialógica de Paulo Freire (Santos; Mortimer, 2000). Segundo Strieder e Kawamura (2017):

Os parâmetros da educação CTS referem-se à *racionalidade científica, desenvolvimento tecnológico e participação social*. Os propósitos educacionais associam-se ao desenvolvimento de *percepções, questionamentos e compromissos sociais* (Strieder; Kawamura, 2017, p.27).

Segundo Carril, Natário e Zoccal (2017) nos escritos de Freire e Ausubel, a história do sujeito, os saberes já existentes, o diálogo que se estabelece no processo com as pessoas e com conhecimento prévio e o novo, contribuem para que novas relações ocorram, focalizando a aprendizagem significativa e reforçando uma concepção de educação pautada na construção de uma visão política e social.

Figura 2.4 - Volumes de obras de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que foram aprovadas no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2021 e que englobam tópicos relacionados à Astrobiologia.



LOPES, S.; ROSSO, S. *Ciências da natureza: Lopes & Rosso: Evolução e Universo*. Editora responsável Maíra Rosa Carnevalle. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.



MORTIMER, E. *et al. Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar: Origens: o Universo, a Terra e a Vida*. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2020.



FUKUI, A. *et al. Ser protagonista: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Evolução, Tempo e Espaço*. Editores responsáveis André Zamboni, Lia Monguilhott Bezerra. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2020.



SANTOS, K.C. *et al. Diálogo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: O Universo da Ciência e a Ciência do Universo*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.



AMABIS, J.M. *et al. Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Universo e Evolução*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.



GODOY, L.P.; DELL'AGNOLO, R.M.; MELO, W.C. *Multiversos: ciências da natureza: origens: ensino médio*. 1. ed. São Paulo: FTD, 2020.



THOMPSON, M. *et al. Conexões: Ciências da Natureza e Suas Tecnologias: Terra e equilíbrios*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

Fonte: Guia Digital PNLD 2021.

Quadro 2.1 - Conteúdos de sete volumes de obras de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aprovadas no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2021, que englobam tópicos relacionados à vida no contexto cósmico.

Astrobiologia	Biologia	“Condições para Existência de Vida” permite dizer que, para sua manifestação, tendo em vista as formas de vida que conhecemos, é preciso água no estado líquido, energia constante e matéria orgânica.
		“Origem da Vida na Terra” permite discussão que a vida surgiu na Terra, enquanto outros defendem que a vida em nosso planeta veio de astros que colidiram com a Terra.
		“Evolução da Vida na Terra” permite pesquisar a vida em todo o Universo sob a perspectiva da evolução biológica terrestre, essa pesquisa de forma pragmática usa como modelo os microrganismos extremófilos.
		“Evolução Humana” ajuda a pensar na importância de manter o equilíbrio ambiental para nossa sobrevivência e dos outros seres vivos.
	Química	“Elementos Químicos” permite compreender o processo de nucleossíntese em estrelas e em locais onde a vida poderia surgir e se sustentar.
		“Formação de Moléculas” procura entender como elas se formam e como elas se organizam a ponto de ter dado origem às primeiras células.
		“Classes Funcionais Orgânicas” é relevante para compreensão da estrutura química de classes de biomoléculas que constituem os seres vivos e empregadas nos estudos sobre a evolução da vida.
	Física	“Ondas Eletromagnéticas” permite compreender a procura por bioassinatura no espaço, feita por meio da detecção de sinais em diversos comprimentos de onda.
		“Gravitação Universal” permite aprender a dinâmica dos sistemas planetários e estelares e suas implicações para existência das zonas habitáveis.
		“Óptica Geométrica” permite entender parte do funcionamento dos telescópios amplamente utilizados na busca por exoplanetas com características similares a Terra.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Amabis *et al.* (2020); Fuki *et al.* (2020); Godoy, Dell’Agnolo e Melo (2020); Lopes e Rosso (2020); Mortimer *et al.* (2020); Santos *et al.* (2020); e, Thompson *et al.* (2020).

Figura 2.5 - Fragmentos de Livros do Estudante da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que foram aprovadas no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2021 que abordam diretamente a influência dos microrganismos extremófilos nas pesquisas astrobiológicas.



Figura 4 Astrobióloga coletando amostras no Lago Mono (Califórnia, EUA, 2010). Nesse local foram encontrados microrganismos vivendo em condições até então consideradas impróprias à existência de vida. A descoberta sugere ser possível existir vida em lugares inóspitos do cosmo, o que de certa forma apoia a hipótese da panspermia.

Diversas sondas e robôs já foram lançados ao planeta para auxiliar nas coletas de dados e amostras sobre suas características. Em 2018, por exemplo, foi encontrada água no estado líquido em Marte, o que despertou a curiosidade da comunidade científica, já que esse planeta não está localizado na zona habitável do Sistema Solar.

Nesse ano, um grupo de cientistas europeus detectou a presença de um grande lago de água líquida abaixo de uma camada de gelo situada no polo sul do planeta. Esse seria um provável local para encontrar vida, pois apresenta condições similares ao lago Vostok, situado na Antártida, aqui na Terra.

Em 2018, cientistas detectaram água líquida 1,5 km abaixo de uma camada de gelo próxima ao polo sul de Marte. Embora essa água seja altamente salinizada e com intensas concentrações de magnésio, cálcio e sódio, talvez ela possa abrigar vida, como a de microrganismos **extremófilos**.

De acordo com o texto, a descoberta de organismos extremófilos influenciou as pesquisas astrobiológicas? Argumente sua resposta.

Fonte: Amabis *et al.* (2020, p.18), Godoy, Dell'Agnolo e Melo (2020, p.114), Lopes e Rosso (2020, p.41) e Santos *et al.* (2020, p.137), respectivamente de cima para baixo.

2.4.2 Produtos Educacionais relacionados à Astrobiologia

No Mestrado Profissional na área de Ensino o professor-aluno mestrando deve identificar uma situação-problema e desenvolver um Produto/Processo Educacional (PE) respaldado num referencial teórico metodológico, que depois de validado por banca de defesa de dissertação, possa ser utilizado por professores e outros profissionais envolvidos com o ensino formal (da escola a universidade) e ensino não formal (em centros e museus de ciência e de arte), podendo haver situações de uso por meio do ensino informal (nas mídias de massa) (Brasil, 2013).

Produtos educacionais podem ser mídias educacionais, protótipos educacionais, materiais para atividades experimentais, propostas de ensino, material textual, materiais interativos, atividades de extensão (Brasil, 2013). Segundo Moreira *et al.* (2018) a importância desses produtos educacionais reside tanto na possibilidade de gerar ensinamentos aos alunos quanto na práxis do professor, tornando-a mais crítica, reflexiva teórico-metodologicamente e contextualizada.

Para Rizzatti *et al.* (2020) os produtos educacionais são gerados em determinado contexto sócio-histórico e podem ser usados e compartilhados de modo crítico pelos profissionais envolvidos com o ensino. Esses autores aventuram a dizer que os produtos educacionais podem ser adaptados às necessidades do público-alvo a que se destina.

Passamos a tratar a seguir dos Produtos/Processos Educacionais relacionados ao ensino e difusão de Astrobiologia, identificados nas bases de dados da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações⁸ (BDTD) e no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior⁹ (Capes).

Neitzel (2006) produziu como produto educacional um CD, onde estão contidas aulas com o formato *PowerPoint* e notas de aula no formato *Word* que abordam o histórico da Astronomia, um panorama geral da Astronomia contemporânea e a relação da Astronomia com outras disciplinas, como Física, Química e Biologia, usando como eixo a Astrobiologia. O material foi aplicado em

⁸ Disponível em <<https://bdtd.ibict.br/vufind/>>, acesso em 04 maio de 2023.

⁹ Disponível em <<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>>, acesso em 04 maio de 2023.

turma do 2º ano do ensino médio, estimulando a criatividade e a curiosidade dos alunos para o tema Astrobiologia.

Athayde (2015) elaborou fundamentado na teoria do conhecimento Vygotsky e da aprendizagem de Ausubel, um processo educacional remontando a origem da vida, seres vivos, sua interação com o ambiente físico e as perspectivas de vida em outros lugares além da Terra, para o ensino fundamental e médio.

Santos (2019) desenvolveu como produto educacional duas sequências didáticas com o tema “Origem da vida”. As atividades abordam questões sociocientíficas e contemplaram diferentes estratégias e recursos didáticos como uso da literatura contemporânea, a exibição de vídeos, o trabalho em grupo e o debate/discussão, cuja intenção foi discutir em turmas de 1º ano do ensino médio as hipóteses para o surgimento da vida à luz de uma nova temática, a Astrobiologia.

Silva (2019) desenvolveu como produto educacional uma sequência didática, baseada na metodologia dos três momentos pedagógicos, para o ensino dos aspectos físicos da Astrobiologia (como termodinâmica, gravitação, magnetismo e radiação) auxiliado por material escrito e vídeos disponíveis na internet. Essa sequência didática foi aplicada em turmas de 1º ano de ensino médio em uma escola estadual e ao realizar avaliação observou-se uma aprendizagem significativa.

Longuinhos (2020) elaborou como produtos educacionais um Guia para montagem de uma exposição de cunho itinerante (Divulgação Científica em Astrobiologia), um manual de atividades (Experimentos de Astrobiologia) e um jogo de tabuleiro (Trilha Astrobiológica). Esses produtos foram aplicados em turmas de 3º ano do ensino médio promovendo uma atuação criativa, crítica e reflexiva.

O produto educacional de Brito (2021) foi um kit didático (AstroBioBox) sobre Astrobiologia, contendo atividades sobre as características favoráveis para a existência de vida, a composição atmosférica na Terra primitiva e atual, a Evolução do oxigênio na superfície terrestre e fenômenos astronômicos que contribuíram para uma extinção em massa na História da Terra. Por causa da pandemia da doença infecciosa do coronavírus-19 (COVID-19), esse produto foi aplicado remotamente em turmas de 1º ano do ensino médio.

Russo (2021) desenvolveu uma proposta de experimento como produto educacional, a ser utilizado como introdução à ciência da Astrobiologia, com foco na temática da agricultura espacial para alunos do ensino médio. A proposta consiste

em testar o plantio de feijão e milho em amostras de solo terrestre e em solo basáltico, simulando o solo marciano.

Os elementos acima mostram que vem sendo produzidos Produtos/Processos Educacionais relacionados ao ensino e difusão de Astrobiologia, embora ainda de forma incipiente.

2.5 ASTROBIOLOGIA PARA ALÉM DA SALA DE AULA, COMO OS MUSEUS

Para Teixeira (2019) ainda que a sala de aula seja um espaço físico onde tradicionalmente convivem professores, alunos e conhecimentos, não podemos deixar de mencionar a importância de outros espaços vinculados a formação humanística. A autora cita os museus e centros de ciências como outros espaços que também envolvem não somente uma aprendizagem da Ciência, mas também um aprender a fazer Ciência e aprender sobre a Ciência.

Os museus de ciência anteriormente considerados meros armazéns de objetos destinados para poucos privilegiados, são hoje lugares de aprendizagem ativa, vinculado às questões da divulgação científica (Valente; Cazelli; Alves, 2005). Por outro lado, os museus têm enfrentado desafios, pois o visitante não busca mais uma experiência puramente contemplativa (Chelini, 2012). Além disso, a autora cita que dentre as estratégias para atrair o público, os museus têm buscado utilizar as novidades relacionadas ao campo da tecnologia da informação, é o caso, por exemplo, de alguma forma de participação ou interação com a exposição.

Para Wagensberg (2001) um museu de ciência é um espaço dedicado a criar, no visitante, estímulos por meio da interatividade manual, mental e/ou cultural, em prol do conhecimento e dos métodos científicos e dessa maneira promover a opinião científica junto dos cidadãos. Massarani *et al.* (2019) destacam que, nos museus de ciência, os visitantes mobilizam, conhecimentos prévios, referências culturais e históricos e experiências do cotidiano, construindo a sua própria narrativa e discurso sobre a exposição.

A Base Nacional Comum Curricular considera que os museus são ambientes educativos que tanto promovem o entrelaçamento de culturas e saberes quanto possibilitam aos estudantes o exercício da crítica, da apreciação e da fruição (Brasil, 2018). Contudo para Setton e Oliveira (2017) não devemos cobrar dos museus a

tarefa de uma educação formal, uma vez que o que caracteriza a educação museológica é sua capacidade de apresentar uma realidade diferente daquela a que temos acesso no dia a dia. Entretanto, para as autoras, ainda que se diga o contrário, os museus continuam sendo, infelizmente, um lazer ou um negócio para pequenos grupos.

Por sua vez, a pesquisa de Knauss (2011) aponta as conexões entre museus e escola; explicita que a preparação para o magistério incluísse o uso de museus; pontua as visitas escolares em dirigidas, livres e combinadas; e faz referência, ainda, a questionários para serem respondidos por alunos durante ou após a visita. Além disso, para Almeida e Martínez (2014) a aprendizagem em museus, diferenciadas da aprendizagem escolar, caracteriza-se pela relação com objeto museal, multisensorialidade, autonomia sobre o que aprender e em que ritmo, entre outros.

Todavia, segundo Massarani *et al.* (2022) para terem experiências de aprendizagem em museus, pautada em uma perspectiva sociocultural, é preciso negociar com os visitantes o que vão ver e como irão se envolver a partir das exposições. Nesse caso, conteúdo da Astrobiologia, na medida das possibilidades, provoca o encontro entre museus de ciência e escolas.

Na visão de Dias (2021), a expografia com seu caráter itinerante e curadoria autoral-coletiva potencializa e populariza o acesso à educação científica. Deste modo, entender o conceito de expografia é imprescindível e se faz pertinente:

A expografia [...] se ocupa da definição da linguagem e do design da exposição museológica, englobando a criação de circuitos, suportes expositivos, recursos multimeios e projeto gráfico, incluindo programação visual, diagramação de textos explicativos, imagens, legendas, além de outros recursos comunicacionais (Franco, 2008, p.61 *apud* Bauer, 2014, p.27).

Para Bauer (2014), a pesquisa arquitetônica é fundamental para se pensar no projeto expográfico, visto que, tanto as dimensões do ambiente quanto as interferências que ele possui são importantes na fundamentação das ideias pretendidas ao espaço. Além disso, para Domingo e Araújo (2017) a expografia possui uma importância fundamental para os processos de apreender e reformular conteúdos, e uma vez no ciberespaço pode impulsionar a participação do público. Para Lévy (1999), ciberespaço (ou “rede”) é um novo espaço de comunicação que

surge da interconexão mundial dos computadores e cabe a nós explorar as potencialidades.

2.6 BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO, DO SISTEMA SOLAR, DO PLANETA TERRA E DA VIDA COMO A CONHECEMOS

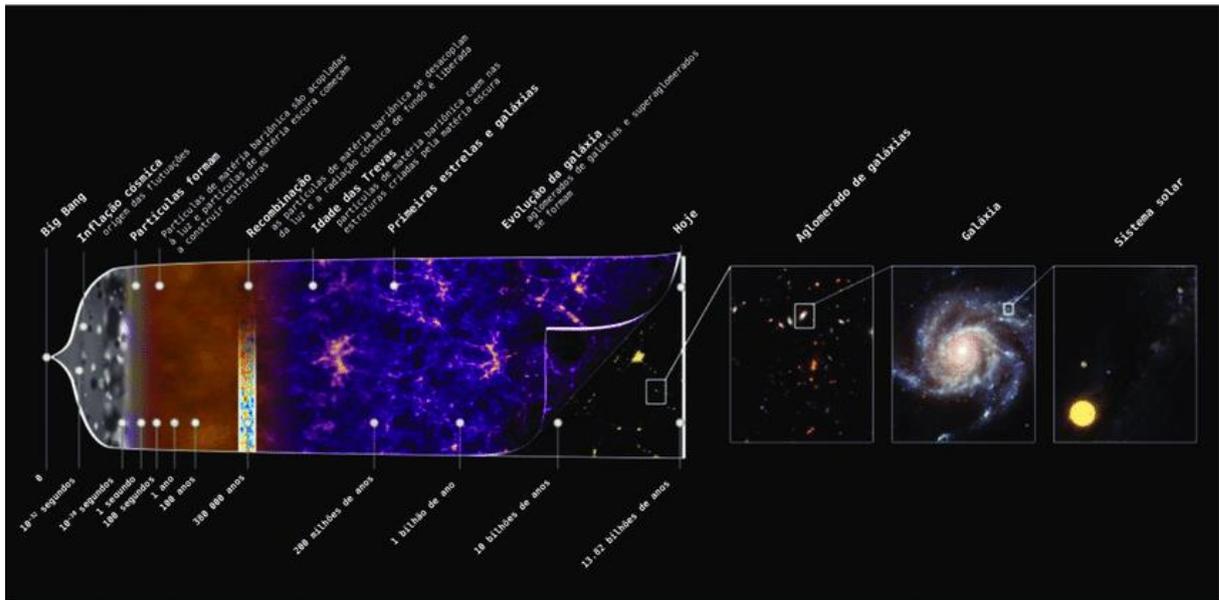
Para Steiner (2006) é papel dos cientistas, artistas, filósofos e outras pessoas criativas entender a origem e a evolução do Universo e expressar o sentido humano nele.

Segundo Margulis e Sagan (2011), é fato astrofísico o afastamento das galáxias e invertendo essa tendência mentalmente, deparamos com o modelo do *big bang*. Para Steiner (2006), as indicações são de que o *big bang* ocorreu há 13,7 (\pm 0,2) bilhões de anos e sugere semanticamente uma explosão. No entanto, tal modelo descreve um Universo se expandindo (e conseqüentemente se esfriando) a partir de um estado quente e denso inicial, com uma breve pré-história proposta pelo modelo da Inflação Cosmológica, o qual descreve uma expansão acelerada no Universo que teria durado uma fração de segundo (Graef, 2023). As medidas indicam que 68,3% do Universo é composto de energia escura, 26,8% é composto de matéria escura e apenas 4,9% é composto de matéria que conhecemos, em outras palavras desconhecemos totalmente a natureza de 95,1% do Universo (Alves-Brito; Massoni, 2019).

Para fins didáticos, a Figura 2.6 e o Quadro 2.2 sumarizam a História Térmica do Universo, ou seja, os principais processos físicos e astrofísicos, no âmbito do Modelo Cosmológico Padrão, que explicam como nosso Universo começou, há 13,8 bilhões de anos e, desde então, numa evolução não linear, galáxias, estrelas, planetas e a vida se formaram e/ou têm sido formados (Alves-Brito; Cortesi, 2021).

Segundo Alves-Brito e Massoni (2019), estima-se no Universo a existência de pelo menos 200 a 400 bilhões de galáxias, entre essa quantidade, com diferentes cores, morfologias, metalicidades e outras propriedades físicas e dinâmicas, há uma onde residimos, a Via Láctea, cuja idade é estimada em 12 bilhões de anos. Ainda segundo esses autores, na Via Láctea há, pelo menos cerca de 200 a 400 bilhões de estrelas, entre elas, o nosso Sol, com idade estimada em 4,5 bilhões de anos (Figura 2.7).

Figura 2.6 - Diagrama com a representação da História Térmica do Universo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Alves-Brito e Cortesi (2021, e20200418-7) / NASA.

Para Alves-Brito e Cortesi (2020) o nosso Sistema Solar (estrela, planetas, satélites, asteroides, cometas e outros objetos) se formou a partir de uma nuvem molecular gigante e fria de gás, temperaturas da ordem de 10-100 Kelvin (K), e poeira, composta 98% por hidrogênio e hélio e 2% por metais (todos os elementos químicos da tabela periódica acima de He), oriundos de estrelas que nasceram e morreram antes do Sol (Figura 2.8). Ainda segundo esses autores, a Terra, por sua vez, se formou há cerca de 4,5 bilhões de anos, portanto, aproximadamente a idade do Sol, em consequência do processo de acreção e em consequência das alterações geofísicas, a Terra favorece a evolução química molecular que, por sua vez, possibilita o surgimento da vida como a conhecemos pelo menos 0,5-1 bilhão de ano depois da formação do Sistema Solar (Quadro 2.3). Possivelmente a formação do nosso satélite natural, a Lua, deriva da colisão de um protoplaneta com a superfície da Terra ainda em formação, no processo uma parte do material escapou, mas ficou aprisionada pela gravidade terrestre e formou a Lua, que em órbita, influência de forma rítmica as marés (Margulis; Sagan, 2011).

Quadro 2.2 - Principais marcos da História Térmica do Universo em oito eras. De uma era para outra as mudanças físicas acontecerem de maneira rápida.

Era	Tempo-Temperatura	Principais marcos da História Térmica do Universo
Era 1: <i>big bang</i> e Era de Planck	$t^* < 10^{-43} \text{ s}^{**}$ $T^{***} = 10^{32}$ K^{****}	No Universo as forças fundamentais da natureza estavam unificadas (força gravitacional, força nuclear fraca, força nuclear forte e força eletromagnética) e não havia partículas elementares.
Era 2: Era das Teorias da Grande Unificação	$10^{-43} < t < 10^{-38} \text{ s}$ $10^{32} < T < 10^{29} \text{ K}$	O Universo passa a ter duas forças fundamentais, de um lado a gravidade, e do outro as três forças (forte, fraca e eletromagnética) juntas. Quando a força forte e a força fraca foram separadas, houve uma grande liberação de energia e o Universo experimentou uma fase de crescimento rápido, denominado <i>inflação</i> .
Era 3: Era da Interação Eletrofraca	$10^{-38} < t < 10^{-10} \text{ s}$ $10^{29} < T < 10^{15} \text{ K}$	A força eletromagnética se separa da força fraca, e depois desse momento as quatro forças fundamentais estavam finalmente atuando separadamente no Universo. É nessa fase que a teoria prevê a produção de bósons importantes.
Era 4: Era das Partículas	$10^{-10} < t < 0,001 \text{ s}$ $10^{15} < T < 10^{12} \text{ K}$	Com a diminuição da temperatura, as conversões energia-matéria se tornaram cada vez mais difíceis de ocorrer de maneira espontânea, de forma que os fótons passaram a dominar a energia do Universo, sendo transformados em partículas, incluindo os <i>quarks</i> que formam os prótons e os nêutrons, elétrons e neutrinos.
Era 5: Era da Nucleossíntese	$0,001 < t < 300 \text{ s}$ $10^{12} < T < 10^9 \text{ K}$	Prótons e nêutrons, as sobras dos processos de aniquilamento da antimatéria, começam a se fundir em núcleos mais pesados, criando o deutério (^2H), o trítio (^3H), os isótopos do hélio (^3He e ^4He) e lítio (^7Li). Após a formação do lítio, a densidade e a temperatura do Universo decrescem muito por conta da expansão, não permitindo a formação de elementos mais pesados. Cerca de 24% da massa total do Universo está na forma de hélio (^4He) e 75% de hidrogênio (^1H).
Era 6: Era da Recombinação	Após 380 mil anos $T = 3.000 \text{ K}$	Os núcleos dos átomos de hidrogênio e hélio, inicialmente ionizados devido à alta temperatura, capturam elétrons livres formando átomos estáveis neutros. Com a perda de elétrons, o meio ficou transparente à radiação e os fótons puderam espalhar pelo espaço gerando a radiação cósmica de fundo.
Era 7: Era das Estruturas (primeiras estrelas e primeiras galáxias)	$t = 1 \text{ bilhão}$ $T < 3.000 \text{ K}$	A gravidade vence a expansão cósmica, fazendo os átomos, elétrons e íons se juntarem para formar as nuvens moleculares gigantes de gás e poeira, frias (10-20 K) e com alta densidade, que serão os berçários estelares.
Era 8: Era Presente	$t = 13,8 \text{ bilhões}$ $T = 3 \text{ K}$	As subseqüentes gerações de estrelas são os responsáveis pela produção dos elementos mais pesados da tabela periódica. Muitos sistemas planetários são também formados em torno de estrelas e, em pelo menos um planeta da Via Láctea na região onde está o Sistema Solar, o planeta Terra, a vida, tal como a conhecemos, desenvolveu-se há cerca de 3,5 bilhões de anos.

* t = tempo

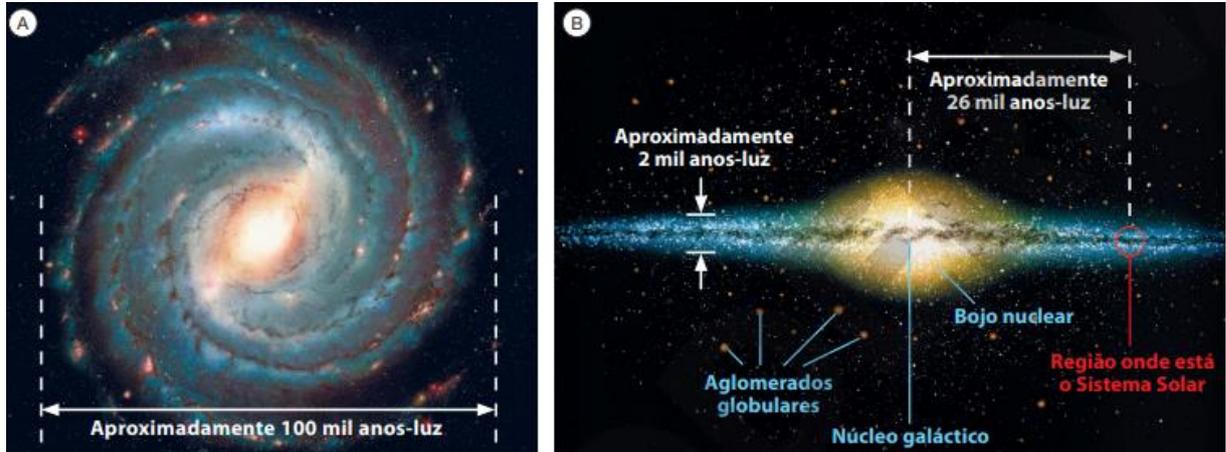
** s = segundos

*** T = Temperatura

**** K = Kelvin escala

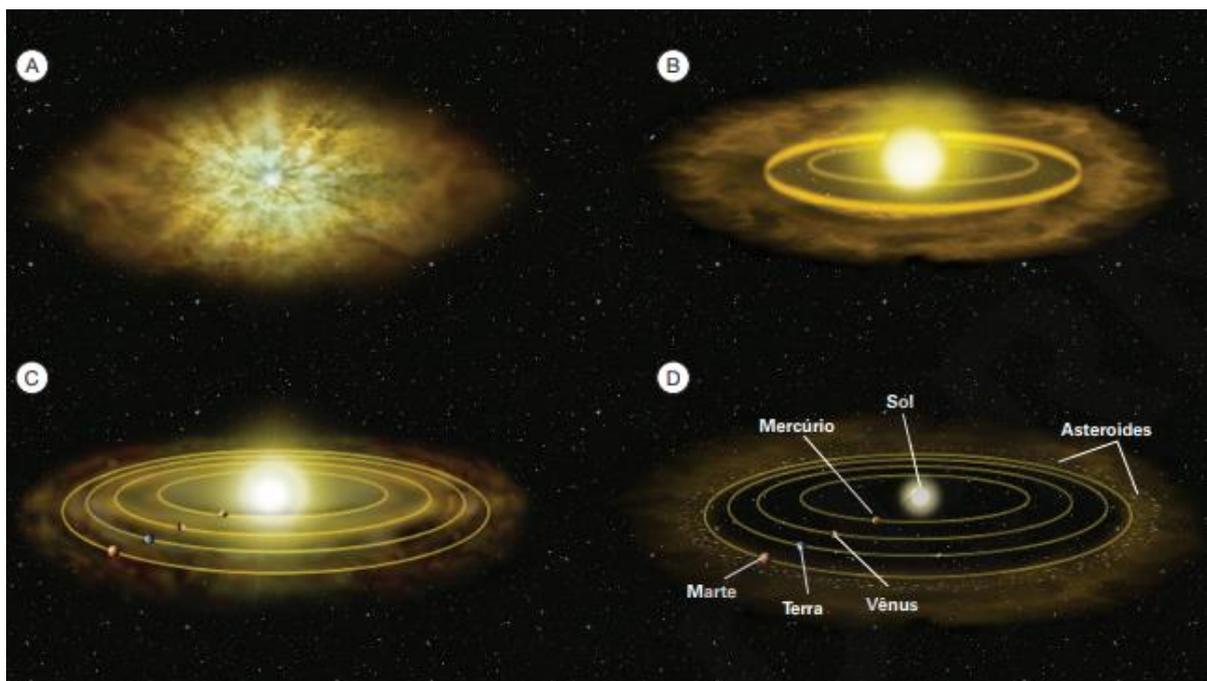
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Alves-Brito e Massoni (2019).

Figura 2.7 - Ilustração esquemática do aspecto que a Via Láctea teria para (A) um observador fora dela olhando para o centro da Galáxia perpendicularmente ao disco galáctico e (B) para um observador fora dela, posicionado no plano do disco galáctico e olhando para o centro da Galáxia por um eixo perpendicular à linha que une o Sol a esse centro. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Amabis *et al.* (2020).

Figura 2.8 - Concepção artística da formação do Sistema Solar. (A) Nebulosa primordial. (B) Condensação da matéria na região central originando o Sol, com um disco de matéria girando ao redor. (C) Condensações em pontos isolados do disco periférico teriam originado os demais corpos do Sistema Solar. (D) Parte mais interna do Sistema Solar, com o Sol, os planetas mais próximos e o cinturão de asteroides orbitando ao redor. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Amabis *et al.* (2020, p.15).

Do ponto de vista de Mello (2016), a formação de planetas é uma corrida contra o tempo, pois ao mesmo tempo em que a gravidade da nuvem molecular puxa o material sólido em direção a sua parte central, a radiação da estrela nascente evapora e expulsa esse material.

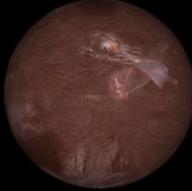
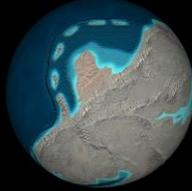
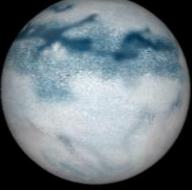
Do ponto de vista da Margulis e Sagan (2011, p.35):

[...] há cerca de 4.600 milhões de anos, a massa terrestre chamada de Terra já apresentava as condições propícias ao surgimento da vida: (1) situava-se próximo a uma fonte de energia, o Sol; (2) dos nove¹⁰ principais planetas em órbita solar, a massa terrestre não estava próxima demais, de modo que os elementos fossem dispersados como gases, nem liquefeitos como rocha fundida; tampouco estava longe demais, de modo que seus gases se transformasse em gelo, amônia e metano, como ocorre atualmente em Titã, a maior lua de Saturno; (3) a água tem forma líquida na Terra, mas não em Mercúrio, onde evaporou no espaço; nem em Júpiter, onde ocorre na forma de gelo; (4) a Terra era grande o suficiente para conservar a atmosfera e permitir o ciclo fluido dos elementos, mas não a ponto de a sua gravidade manter uma atmosfera tão densa que impedisse a entrada da luz do Sol (Margulis; Sagan, 2011, p. 35).

Segundo Martin e Russell (2003) a Terra tem aproximadamente 4,5 bilhões de anos, o primeiro oceano teria condensado por volta de 4,4 bilhões de anos e a vida surgido aqui por volta de 3,8 bilhões de anos, evidenciada pela fixação de gás carbônico (CO₂) biológico em rochas sedimentares, determinado pelo isótopo de carbono. Ainda segundo os autores, por volta de 3,5 bilhões de anos atrás, os estromatólitos estavam presentes e representam evidências conclusiva de vida na Terra. Para Madigan *et al.* (2016), os estromatólitos são massa microbianas, em camadas de procariotos filamentosos fototróficos que causam a deposição de minerais de carbonato ou silicato, promovendo a fossilização (Figura 2.9). No Museu Geológico da Bahia, um exemplo de estromatólito fornece evidências de vida microbiana remota no Brasil (Figura 2.10).

¹⁰ Em 24 de agosto de 2006, um comitê de especialistas reunido na 26ª assembleia geral da União Astronômica Internacional (UAI), realizada em Praga, República Tcheca, decidiu reclassificar Plutão como "planeta anão". Desde então, o Sistema Solar passou a ter apenas oito planetas. Disponível em < <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1155743>>, acesso em 06 de abril de 2024.

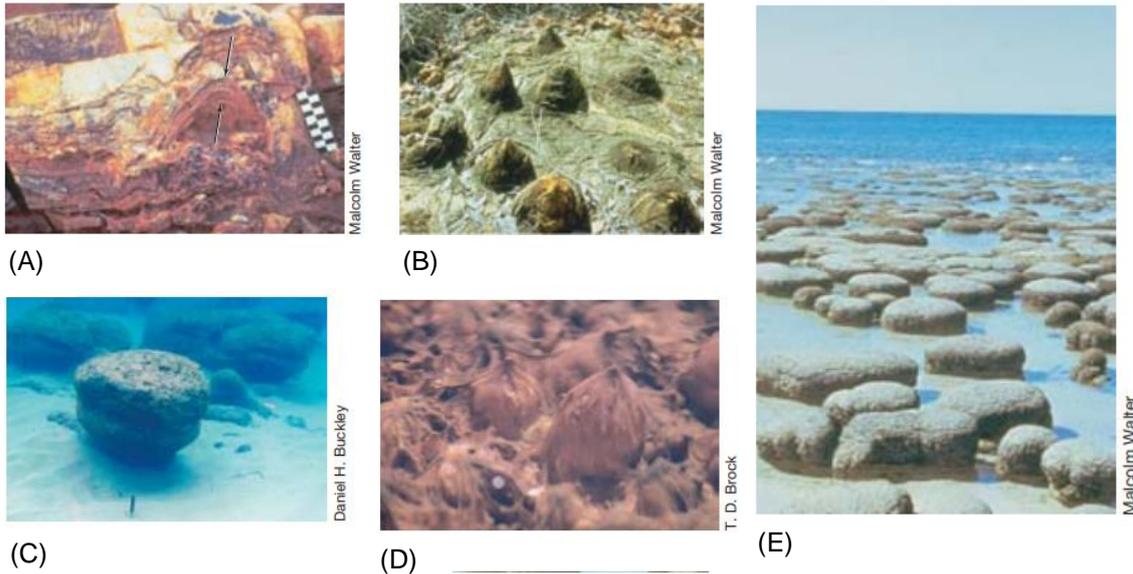
Quadro 2.3 - Concepção artística das mudanças que teriam ocorrido no ambiente da Terra primitiva até adquirir as características atuais e os principais marcos da evolução biológica. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Mapas paleogeográficos	Principais marcos da evolução biológica, da alteração geoquímica da Terra e diversificação metabólica microbiana
	<p>Terra durante período Hadeano (4,6-4 bilhões de anos). A Terra era um ambiente com altos níveis de radiação ultravioleta, intensa atividade vulcânica, além de ser alvo de inúmeros meteoritos. Nesse período, gases vulcânicos e a água, oriunda de inúmeras colisões, estaria presente na forma de vapor em decorrência do calor. As altas temperaturas causaram o derretimento do material que constituía o planeta, dando início à diferenciação das camadas (crosta, manto e núcleo). Ao longo do tempo, essa diferenciação, associada aos movimentos da Terra e de convecção do material condutor que compõe parte do seu núcleo externo, gerou o campo magnético terrestre. As porções da crosta terrestre não eram estáveis sendo constantemente derretidas. Nesse ambiente, gases se desprenderam do manto e se acumularam ao redor da Terra por ação da gravidade, dando origem à atmosfera primordial.</p>
	<p>Terra no final do período Arqueano (4-2,5 bilhões de anos) e no início do Proterozoico (2500–542 milhões de anos). O bombardeamento da Terra por meteoritos se tornou menos frequente, possibilitando a manutenção de pequenas porções da crosta terrestre, similares a ilhas vulcânicas. A atmosfera era rica em gases, como o carbônico (CO₂) e o metano (CH₄), sendo o gás oxigênio (O₂) quase inexistente. O volume de água líquida aumentou, formando um grande oceano, onde <u>surgiram os primeiros seres vivos</u>, responsáveis por adicionar gás oxigênio à água por meio da fotossíntese. Com o passar do tempo, esse gás foi incorporado à atmosfera terrestre, possibilitando o surgimento de organismos aeróbios, por exemplo.</p>
	<p>Representação do supercontinente Rodínia. Nesse período, havia um supercontinente conhecido como Rodínia, que abrangia quase todas as porções continentais. Seu rompimento, há cerca de 800 milhões de anos, levou à absorção de gás carbônico. A redução da concentração desse gás na atmosfera prejudicou drasticamente o efeito estufa natural, tornando o clima terrestre extremamente frio.</p>
	<p>Terra coberta por gelo durante o período Proterozóico (2500-542 milhões de anos). Ao final desse período, todas as regiões da Terra eram cobertas por gelo, hipótese conhecida como “Terra Bola de Neve”. Provavelmente, os movimentos tectônicos mantiveram uma intensa atividade vulcânica na Terra, responsável por liberar gás carbônico. Esse gás se acumulou na atmosfera, favorecendo o efeito estufa e, conseqüentemente, aumentando a temperatura do planeta ao longo do tempo.</p>
	<p>Terra em meados do período Jurássico (201-145 milhões de anos). Os seres vivos ocupavam os ambientes aquáticos e terrestres e o supercontinente Pangea se separou em duas massas continentais: Laurásia e Gondwana. Como havia intensa atividade vulcânica nas bordas das placas tectônicas, o ar ficou rico em gás carbônico, tornando o clima mais quente. Desde cerca de 8 mil anos atrás, o planeta vive um período interglacial quente.</p>
	<p>Terra atual. As calotas polares estão concentradas nos polos e há grande diversidade de climas no planeta. Ao longo de sua evolução, a Terra sofreu diversos processos de reorganização continental, mudanças climáticas, alterações no nível dos oceanos e eventos de extinção e de diversificação de espécies. Atualmente, o ser humano é considerado um dos principais agentes modificadores do planeta.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Santos *et al.* (2020) e Jaggard (2014)¹¹.

¹¹ Animação paleogeográfica pode ser encontrada em <<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/travel-through-deep-time-interactive-earth-180952886/>>, acesso em 07 de abril de 2024.

Figura 2.9 - Estromatólitos antigos e modernos. (A) O estromatólito mais antigo conhecido, encontrado em uma rocha de aproximadamente 3,5 bilhões de anos, no Warrawoona Group, Austrália Ocidental. É apresentada uma secção vertical de uma estrutura laminada, preservada nesta rocha. As setas indicam as camadas laminadas. (B) Estromatólitos cônicos de uma rocha dolomítica de 1,6 bilhão de anos, da bacia de McArthur, no território do norte da Austrália. (C) Estromatólitos modernos, da Ilha Darby, nas Bahamas. O grande estromatólito em primeiro plano tem cerca de 1 m de diâmetro. (D) Estromatólitos modernos compostos por cianobactérias termofílicas, crescendo em um lago termal no Yellowstone National Park. Cada estrutura apresenta altura aproximada de 2 cm. (E) Outra visão dos grandes estromatólitos modernos da Baía Shark. As estruturas individuais apresentam diâmetro de 0,5 a 1 m.



Fonte: Madigan *et al.* (2016, p.351).

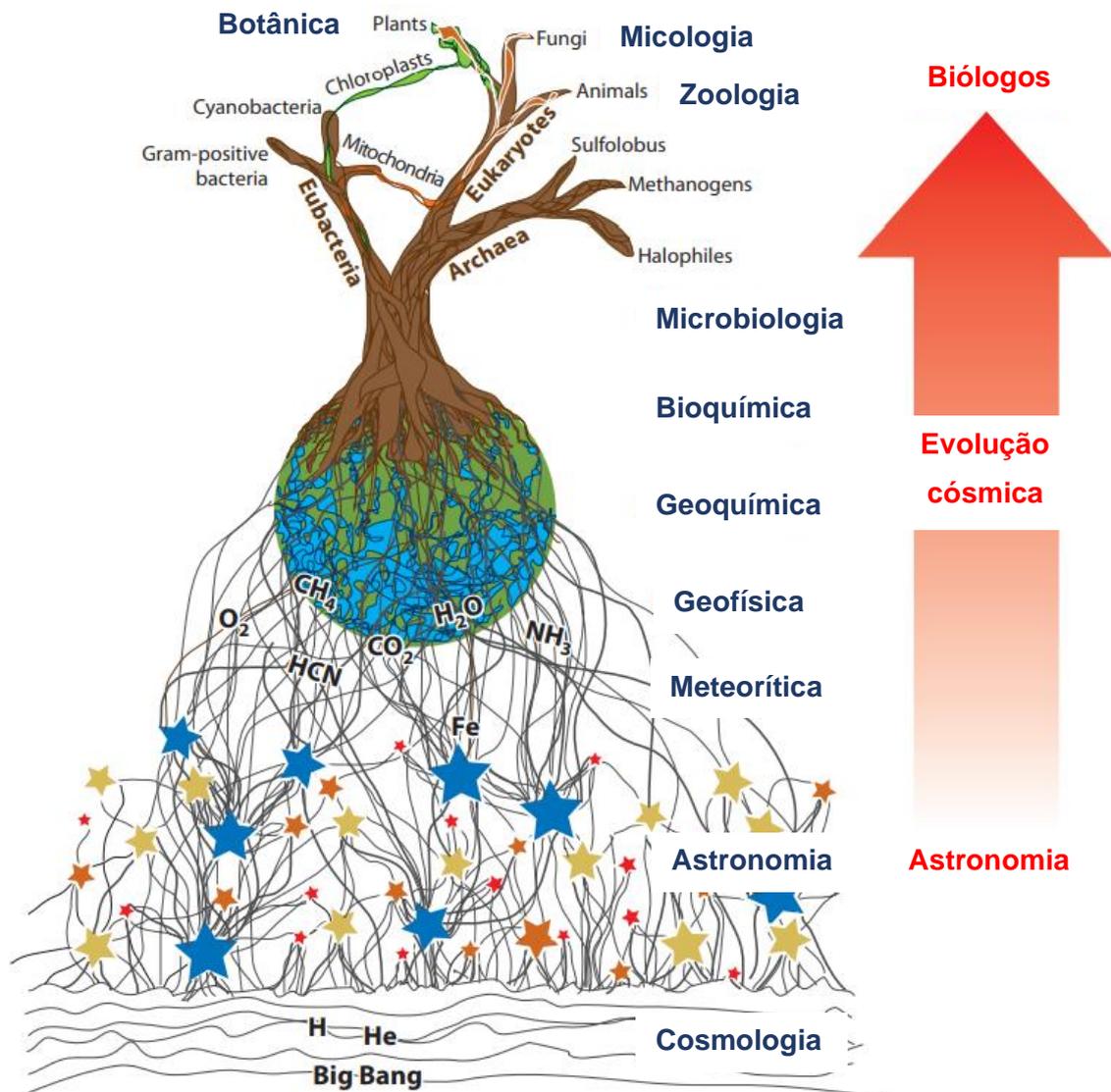
Figura 2.10 - Registro de vida mais antigo da Bahia, Brasil. No Salão de Fósseis no Museu Geológico da Bahia, temos o exemplar do fóssil estromatólito em destaque. Esse exemplar do final do Permiano (299-251 milhões de anos) é proveniente do município de Canudos, Bahia. Cabe aqui informar que é possível registrar a ocorrência de estromatólitos “vivos”, por exemplo, na ilha de Itaparica, Bahia, Brasil.



Fonte: Registrada pelos autores.

Diante do exposto, a partir do *big bang* estabeleceram o contexto para o surgimento da vida (Lineweaver; Chopra, 2012), conforme representado na Figura 2.11.

Figura 2.11 - Concepção artística da astronomia ao surgimento dos biólogos. A partir do *big bang* na base, o determinismo na física estabeleceu o contexto para o surgimento da vida. Os biólogos (animais), resultantes no topo da árvore, geraram a árvore filogenética em marrom, com base em dados moleculares obtidos de fósseis e habitantes da biosfera. A árvore terrestre da vida criou raízes aproximadamente quatro bilhões de anos atrás. Planetas rochosos estão implicados na capacidade de dar raiz e manter uma árvore da vida. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Lineweaver e Chopra (2012), tradução nossa.

No livro “O que é vida?” de Erwin Schrödinger (Prêmio Nobel de Física de 1933) publicado em 1944, busca-se entender a vida a partir das leis fundamentais

da Física e da Química, contribuindo para estimular a pesquisa do ponto de vista interdisciplinar, com a premissa de que matéria viva é aquela que se esquivava do decaimento para o equilíbrio (SCHRÖDINGER, 1997).

Segundo Westall *et al.* (2023) os ingredientes básicos para a química prebiótica incluem seis elementos essenciais, hidrogênio (H), carbono (C), nitrogênio (N), oxigênio (O), fósforo (P), enxofre (S), bem como metais de transição, especialmente ferro (Fe). Todos os átomos do C ao Fe foram produzidos por fusão nuclear ou outros processos no interior de estrelas em algum momento da evolução do Universo (Vieira *et al.*, 2018). A Figura 2.12 mostra a abundância cósmica e a Figura 2.13 a abundância em organismos vivos de compostos formados por átomos referentes aos elementos químicos.

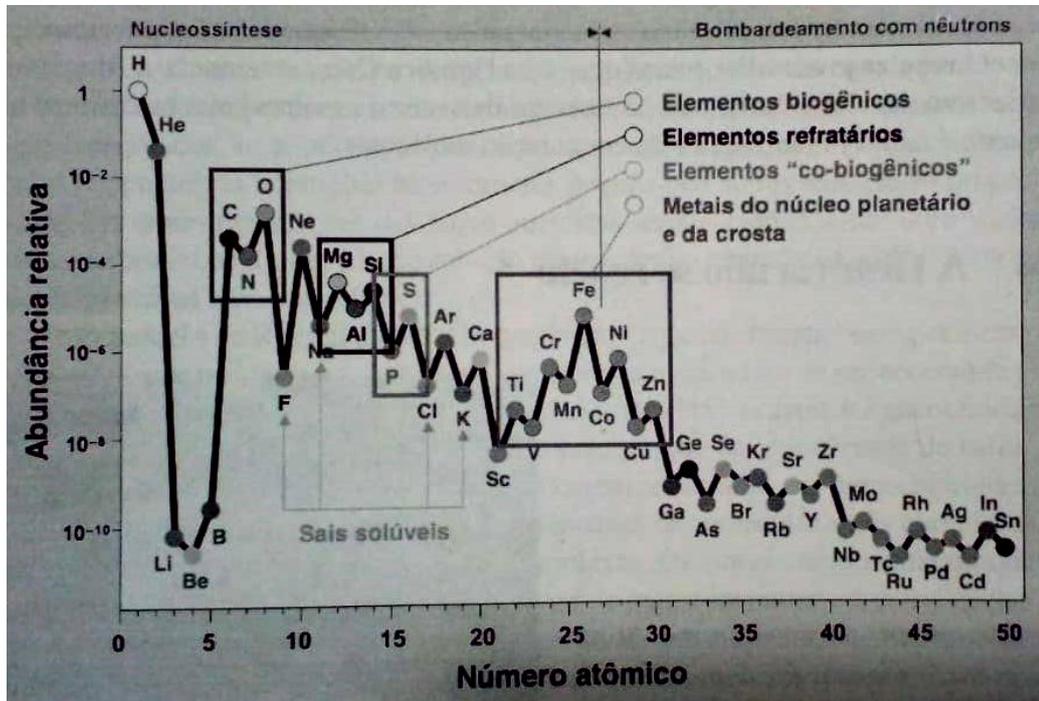
Segundo Vieira *et al.* (2018), na publicação “*The Limits of Organic Life in Planetary Systems*” (“Os limites da vida orgânica em sistemas planetários”, em tradução livre) da “*National Academies Press*” (“Imprensa das Academias Nacionais”, em tradução livre) em 2007, foram adotadas as seguintes características para tentar caracterizar um sistema vivo, a saber:

[...] ausência de equilíbrio termodinâmico; dependência da manutenção da taxa de variação da entropia (com valores negativos indicando o aumento de organização); manutenção de seu estado organizado, aumentando a entropia da vizinhança; presença de metabolismo, complexidade e organização; a existência de mecanismos de reprodução; e capacidade de desenvolvimento, evolução e autonomia. Essas características são responsáveis pelas funções básicas observadas nos sistemas vivos terrestres: adquirir energia do meio e convertê-la para a forma química; possuir uma rede de reações químicas, envolvendo os *building blocks* em solvente apropriado, que sintetizam os compostos necessários para manutenção, crescimento e auto-replicação; e utilização de compostos químicos capazes de armazenar grandes quantidades de informação para que o sistema tenha condições de se auto-replicar e auto-perpetuar (Vieira *et al.*, 2018, p. e4308-8).

De acordo com Schwieterman *et al.* (2018), auxiliados pela universalidade das leis da Física e da Química, surgiu um consenso de que a vida, baseada em moléculas orgânicas de carbono, requer três componentes essenciais: (1) uma fonte de energia para conduzir as reações metabólicas, (2) um solvente líquido para mediar essas reações e (3) um conjunto de nutrientes para construir biomassa e produzir enzimas que catalisam reações metabólicas. Para Merino *et al.* (2019), o solvente líquido é a água por causa de sua abundância cósmica e propriedades

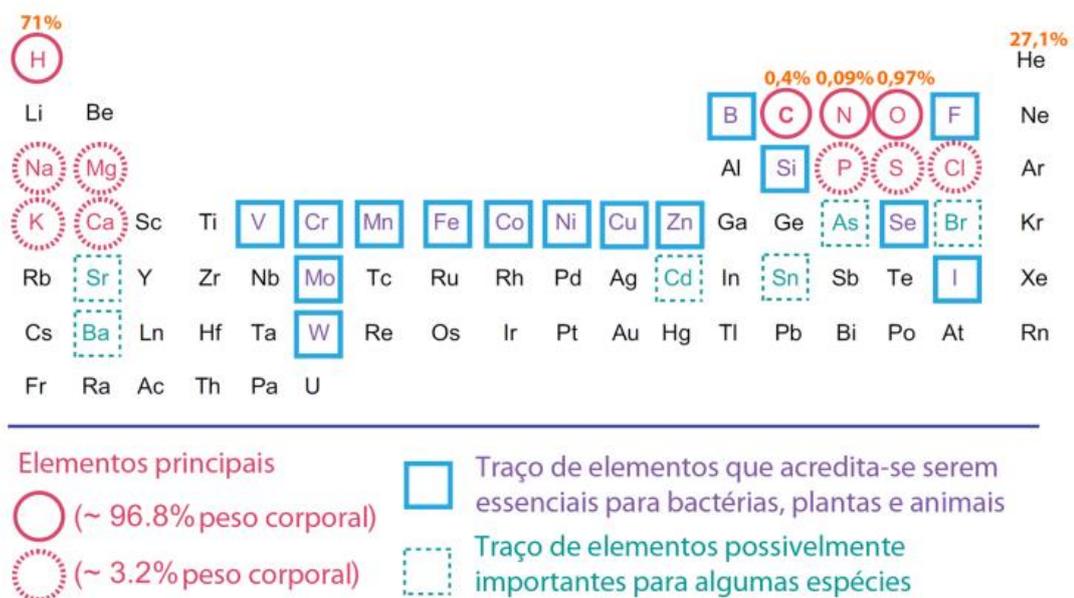
físico-químicas que o tornam altamente adequada para mediar interações macromoleculares.

Figura 2.12 – Abundância cósmica, relativamente ao hidrogênio, dos elementos até o número 50.



Fonte: Dias e Maia (2012, p.154).

Figura 2.13 – Tabela periódica demonstrando abundâncias de elementos químicos em porcentagem de peso corporal de organismos vivos terrestres, bem como os elementos indispensáveis ao crescimento e sobrevivência do organismo, chamados de elementos essenciais.



Porcentagem em massa de elementos no Sol

Fonte: Vieira *et al.* (2018).

Conforme Westall *et al.* (2018), existem três etapas críticas que levaram ao surgimento da vida: (1) concentração dos componentes moleculares que participam das reações prebióticas e controle da atividade da água, (2) estabilização e conformação estrutural das moléculas e (3) evolução química através da complexificação. Essas etapas que levaram ao surgimento da vida foram controladas pelas condições físico-químicas do ambiente, incluindo disponibilidade de elementos, temperatura da água, pH, força iônica, energia, radiação, gradientes e difusão molecular. Ainda segundo esses autores, existem diferentes cenários geológicos no qual a química prébiótica poderia ter ocorrido e a vida pode ter surgido, incluindo: (1) fontes hidrotermais submarinas, (2) pedra-pomes flutuantes no oceano, (3) fontes hidrotermais subaéreas e (4) piscinas naturais hospedadas por vulcões. Cabe informar que no artigo produzido pelos autores, são apresentadas tabelas com vantagens e desvantagens para cada um dos citados cenários.

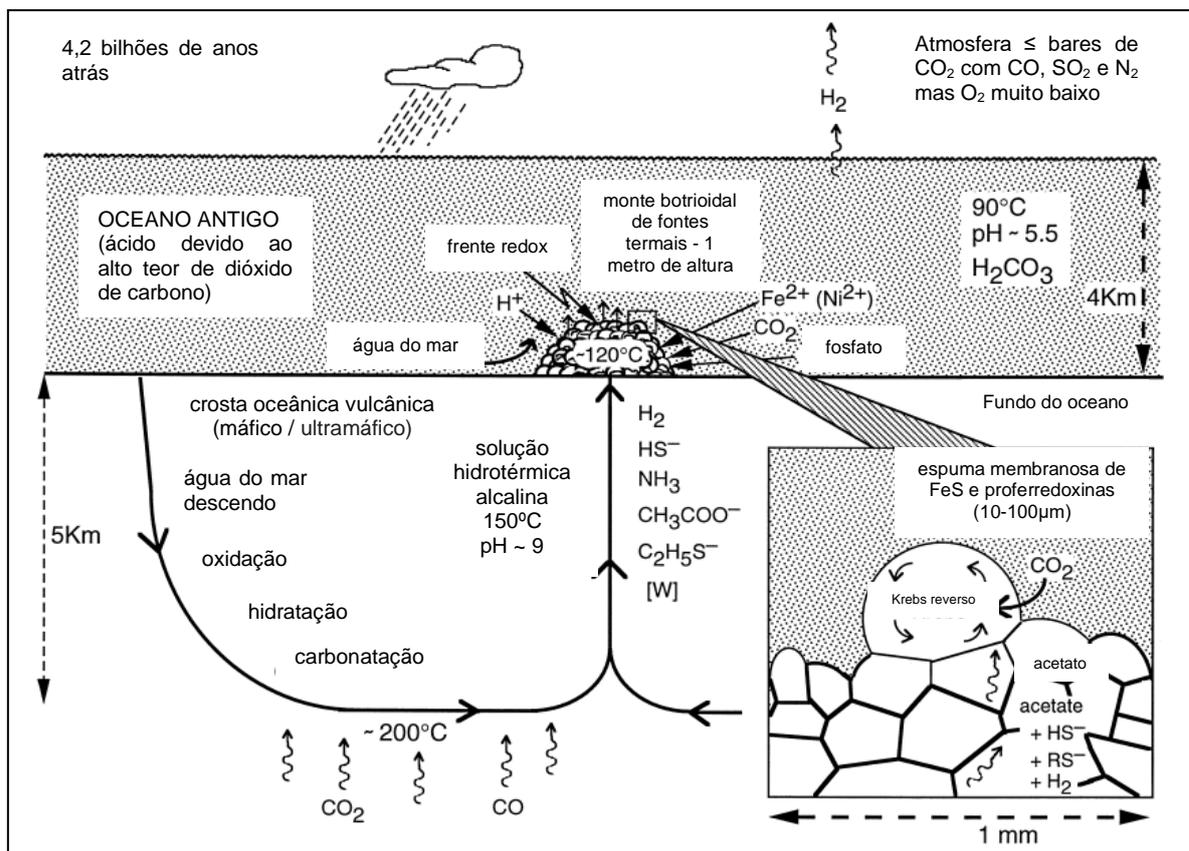
Para Baross e Hoffman (1985) as fontes hidrotermais submarinas são o único ambiente geológico contemporâneo que pode ser chamado de verdadeiramente primitivo, elas continuam a ser uma importante fonte de gases e elementos dissolvidos para o oceano moderno, assim como foram para o oceano primitivo. Desse modo, esses autores propuseram por analogias geofísicas e químicas que as fontes hidrotermais submarinas primitivas foram ambientes favoráveis para síntese e concentração de compostos orgânicos e possivelmente na formação de estruturas compartimentadas necessárias para conservação de energia e o surgimento de vida. Este cenário hidrotermal para a origem da vida foi investigado por Russell e Hall (1997).

No modelo de Russell e Hall (1997), aprofundado por Martin e Russell (2003) e Russell, Hall e Martin (2010), ver Figura 2.14, dada a natureza aquosa da célula viva, a vida poderia ter surgido na Terra há 4,2 bilhões de anos no fundo do oceano Hadeano em uma fonte hidrotermal submarina na interface água de infiltração, quente (150° C), extremamente reduzida, alcalina (pH 9), contendo bissulfeto, com a água oceânica, por sua vez, ácido (pH 5.5), quente (90° C) e contendo ferro.

Os autores consideravam que, a acidez e a temperatura do oceano eram causadas por uma pressão de carbono na atmosfera e a maior parte deste gás resultaria de desgaseificação vulcânica; também ponderavam que o desequilíbrio térmico e químico nesta interface água alcalina/ácida foi mantido pela precipitação

espontânea de uma solução coloidal membranosa de sulfeto de ferro (FeS), depositados nas imediações da fonte termal submarina. Tais membranas atuou como uma fronteira catalítica semipermeável entre os dois fluidos, possibilitando a síntese de ânions orgânicos por hidrogenação e carboxilação. Por um lado, o oceano era a fonte de carbonato, fosfato, ferro, níquel e prótons. Por outro lado, a solução hidrotérmica era a fonte de amônia, acetato, bissulfureto (HS^-), gás hidrogênio (H_2) e tungstênio, bem como pequenas concentrações de sulfetos orgânicos e talvez cianeto e acetaldeído.

Figura 2.14 - Ambiente modelo para o surgimento da vida no fundo do oceano em uma fonte termal alcalina submarina, há 4,2 bilhões de anos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



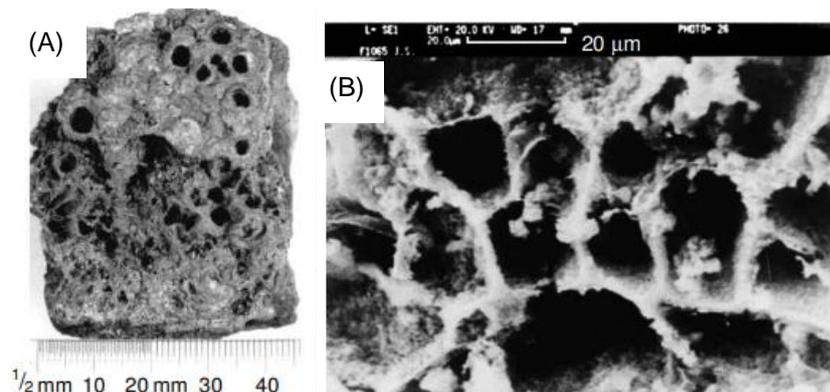
Fonte: Russell e Hall (1997, p.379), tradução nossa.

Os autores propunham que a geração de ânions orgânicos e a condensação das moléculas orgânicas em polímeros, particularmente sulfetos orgânicos, foi impulsionada por hidrólise de pirofosfato e teria levado a um aumento na pressão osmótica dentro das bolhas de FeS. Assim a pressão osmótica poderia substituir a pressão hidráulica como força motriz para distensão, brotamento e reprodução das

bolhas. A regeneração de pirofosfato a partir do monofosfato na membrana foi facilitada por prótons e teria constituído o primeiro sistema de força próton motriz através da membrana, cabe destacar que a força próton motiva é o mecanismo universal de transdução de energia da vida. Os sistemas de informação para governar a replicação poderiam ter desenvolvido neste mesmo meio, mas ferro, enxofre e fosfato continuaram envolvidos no metabolismo.

Uma revisão da literatura realizada por Colin-Garcia *et al.* (2016), indica vários tipos de experimentos que podem ser realizados em condições físico-químicas que simulam as de fontes hidrotermais para testar o papel delas na transição da geoquímica para a bioquímica e a subsequente origem da vida, ver Figura 2.15. A maioria dos estudos disponíveis compreende experimentos de decomposição, às vezes chamados de experimentos de estabilidade, seguido dos experimentos de oligomerização e síntese de moléculas orgânicas.

Figura 2.15 - Comparação de monte de sulfeto de ferro gerado em laboratório compreendendo compartimentos, com estruturas de sulfeto de ferro dos corpos minerais encontrados na Irlanda. (A) Estrutura de sulfeto de ferro produzida hidrotermicamente a partir de Silvermines, Irlanda. (B) Micrografia eletrônica de uma estrutura de sulfeto de ferro formada em laboratório.



Fonte: Martin e Russell (2003, p.63)

As reações químicas prebióticas dentro de compartimentos porosos quimiosmótico de sulfeto de ferro (FeS), precipitados do fluido hidrotermal, concentrariam moléculas, ajudando-as a formar novas estruturas e combinações, as quais sem oxigênio molecular e sem os altos níveis de radiação ultravioleta para reagir com elas e destruí-las, forneceram todos os constituintes da vida (os aminoácidos, os nucleotídeos que compõem o DNA, o RNA e o ATP, e os açúcares). Catalizadores reagem para ordenar e padronizar os processos químicos. Além disso, ao invés de serem decompostos em favor do aumento da entropia, os

compostos com capacidade de auto-organização complementaram-se para produzir estruturas autorreplicáveis. Eventualmente, o DNA, mais estável do que o RNA e, portanto, um melhor repositório para a informação genética (codificadora), assumiu o papel de molde para a síntese de RNA. Finalmente, um sistema de membrana lipídica capaz de conservar energia, aconteceu de forma independente, envolvendo as proteínas e as moléculas de RNA e DNA, formando populações arqueobacterianas e eubacterianas, as quais foram ejetadas para o oceano, ver Figura 2.16.

Para Westall *et al.* (2013) o período de tempo necessário para que as macromoléculas se auto-organizassem e formassem células primitivas não é conhecido, mas é considerado relativamente curto, supõe-se que isso tenha ocorrido em uma escala de tempo de 10^5 para cerca de 10^6 anos.

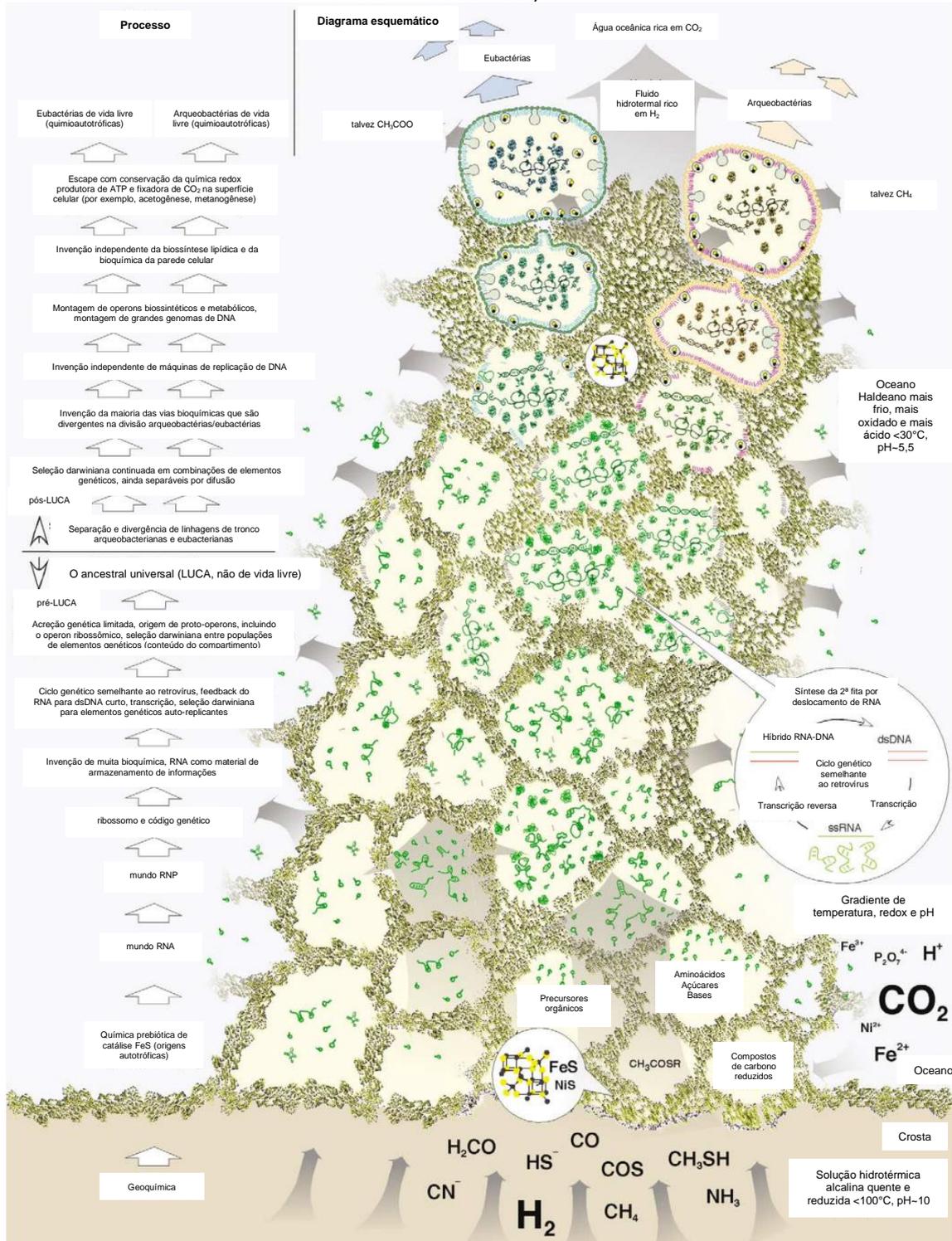
Para Madigan *et al.* (2016), o oxigênio molecular surgiu após a evolução da fotossíntese oxigênica pelas cianobactérias. Portanto, as células primitivas teriam sido procariontes quimiolitotróficas tendo o H_2 , abundante na Terra primitiva, como doador de elétron no metabolismo energético. Essa forma remota de metabolismo teria propiciado a produção de grandes quantidades de compostos orgânicos, desencadeando a evolução de diferentes bactérias quimiorganotróficas, tendo compostos orgânicos como doadores de elétron no metabolismo energético.

Assim, para Margulis e Sagan (2011), existem provas que a vida é fruto da recombinação:

Das estruturas dissipativas, passando pelos hiperciclos de RNA e pelos sistemas autopoéticos até os primeiros seres grosseiramente replicantes, começamos a vislumbrar a estrada sinuosa percorrida pelas estruturas auto-organizadoras em sua jornada rumo à célula viva (Margulis; Sagan, 2011, p. 49).

Para Martin e Russell (2003) a compartimentação física do ambiente e a auto-organização de reações redox autocontidas são os atributos mais conservados dos seres vivos, portanto, a matéria inorgânica com tais atributos seria o antepassado mais provável da vida. Westall *et al.* (2018), traz que dadas as evidências bioquímicas, genéticas e outras que temos hoje, presume-se que a vida como a conhecemos, compartilha um ancestral comum. Koonin e Martin (2005) propõe que o último ancestral comum (LUCA do inglês, *last universal common ancestor*) não era de vida livre, mas um conjunto de elementos genéticos expressos e replicáveis.

Figura 2.16 - Um modelo para a origem de células procarióticas delimitadas por membrana a partir de compartimentos de monossulfeto de ferro, dentro dos quais a origem quimioautotrófica da vida poderia ter ocorrido. O desenho implica populações de sistemas replicantes a caminho de células eubacterianas e arqueobacterianas de vida livre. Os termos RNA, RNP e era do DNA são usados para enfatizar que nenhuma evolução de ácido nucleico é possível sem uma geoquímica de apoio, mais tarde biogeoquímica e, finalmente, bioquímica para fornecer um fluxo constante de concentrações adequadas de precursores polimerizáveis (por exemplo, nucleotídeos) e assim, para sustentar qualquer tipo de replicação. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Koonin e Martin (2005, p.648), tradução nossa.

2.7 MICRORGANISMOS COMO OBJETO DE ESTUDO DA ASTROBIOLOGIA

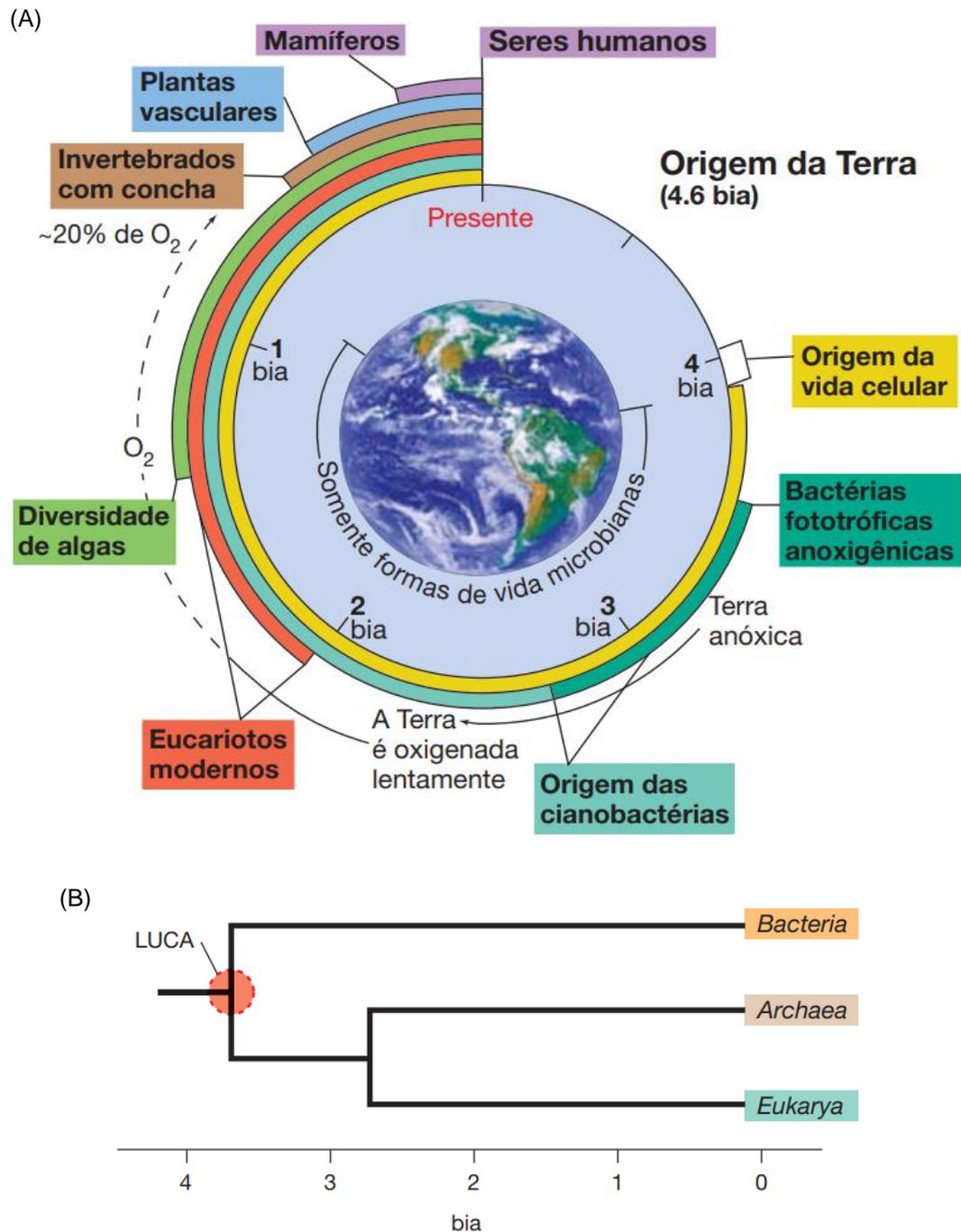
Um dos principais objetos de estudo da Astrobiologia são microrganismos, como as bactérias (Des Marais, 2008). Segundo Bertrand *et al.* (2015), investigações genômicas e registro geológico deduzem que os microrganismos foram os únicos habitantes do nosso planeta por quase três bilhões de anos, sobrevivendo às intensas mudanças geológicas e criando através de sua atividade metabólica, condições favoráveis para o surgimento de organismos aeróbicos multicelulares, particularmente com uma intensa produção de oxigênio com o advento da fotossíntese, que gradativamente modificou a atmosfera de anóxica para óxica.

Para Madigan *et al.* (2016), microrganismos que desenvolveram a capacidade de respirar oxigênio obtiveram uma enorme vantagem energética e diversificaram-se rapidamente desde então (Figura 2.17).

Para Rothschild e Mancinelli (2001) existem ambientes extremos em nosso planeta, incluindo extremos físicos (por exemplo, temperatura, radiação ou pressão) e extremos geoquímicos (por exemplo, dessecação, salinidade, pH, tensão de oxigênio ou potencial redox), que são nichos de organismos com adaptações bioquímicas - um organismo que prospera em um ambiente extremo é um extremófilo, em mais de um extremo é um poliextremófilo. Ainda segundo esses autores, (poli)extremófilo evoca imagens de arqueobactérias e eubactérias, mas a faixa taxonômica abrange todos os três domínios (arqueobactérias, eubactérias e eucariotos) (Quadro 2.4).

Para Capece *et al.* (2013), os extremófilos desenvolveram em habitats terrestres extremos e podem ser as formas de vida mais abundantes em nosso planeta. Ainda segundo esses pesquisadores, a vida termofílica era desconhecida até a descoberta da bactéria termofílica, *Thermus aquaticus*, em 1969 (Figura 2.18), desde então, centenas de novos extremófilos foram identificados, praticamente em qualquer local onde a água líquida esteja disponível para uso pela vida. A Figura 2.19, mostra uma variedade de condições ambientais extremas onde já foram detectados microrganismos.

Figura 2.17 - Resumo da vida na Terra por meio do tempo e origem dos domínios celulares. (A) A vida celular encontrava-se presente na Terra há cerca de 3,8 bilhões de anos (bia). As cianobactérias iniciaram a lenta oxigenação da Terra há cerca de 3 bia, porém os atuais níveis de O_2 na atmosfera não foram alcançados antes dos últimos 500 a 800 milhões de anos. Os eucariotos são células nucleadas e incluem organismos microbianos e multicelulares. (B) Os três domínios dos organismos celulares são: *Bacteria*, *Archaea* e *Eukarya*. *Archaea* e *Eukarya* divergiram muito antes de as células nucleadas com organelas (em parte “eucariotos modernos”) aparecerem no registro fóssil. LUCA (do inglês, *last universal common ancestor*, ou último ancestral universal comum). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Quadro 2.4 - Classificação e exemplos de organismos extremófilos.

Parâmetro ambiental	Tipo	Definição	Exemplos
Temperatura	Hipertermófilos	crescimento em $T > 80^{\circ}\text{C}$	<i>Picrolobus fumarii</i> , 113°C
	Termófilos	crescimento em $60 < T < 80^{\circ}\text{C}$	<i>Synechococcus lividis</i>
	Mesófilos	crescimento em $15 < T < 60^{\circ}\text{C}$	<i>Homo sapiens</i>
	Psicrófilos	crescimento em $T < 15^{\circ}\text{C}$	<i>Psychrobacter</i> , alguns insetos
Radiação			<i>Deinococcus radiodurans</i>
Pressão	Barófilos	Alta pressão	Desconhecido
	<i>Piezófilos</i>	Atração por pressão	Para microrganismos, 130 Mpa
Gravidade	Hipergravidade	$> 1\text{ G}$	Nenhum conhecido
	Hipogravidade	$< 1\text{ G}$	Nenhum conhecido
Vácuo		Toleram o vácuo (espaço destituído de matéria)	Tardígrados, insetos, microrganismos e sementes
Dessecação	Xerófilos	Anidrobiótico	<i>Artemia salina</i> , nematóides, microrganismos, fungos e líquens
Salinidade	Halófilos	Crescimento em salinas (NaCl 2,0 - 5,0 mol/L)	<i>Halobacteriaceae</i> , <i>Dunaliella salina</i>
pH	Alcalófilos	pH > 9	<i>Natronobacterium</i> , <i>Bacillus firmus</i> OF4, <i>Spirulina</i> spp. (todos pH > 10.5)
	Acidófilos	Baixo pH	<i>Cianidium caldarium</i> , <i>Ferroplasma</i> sp. (ambos pH 0,0)
Tensão de O ₂	Anaeróbios	Não toleram O ₂	<i>Methanococcus jannaschii</i>
	Microaerófilos	Toleram baixos níveis de O ₂	<i>Clostridium</i>
	Aeróbios	Requerem O ₂	<i>H. sapiens</i>
Extremos químicos	Gases		<i>C. caldarium</i> (CO ₂ puro)
	Metais	Podem tolerar altas concentrações de metais (metalotolerantes)	<i>Ferroplasma acidarmanus</i> (Cu, As, Cd, Zn); <i>Ralstonia</i> sp. CH34 (Zn, Co, Cd, Hg, Pb)

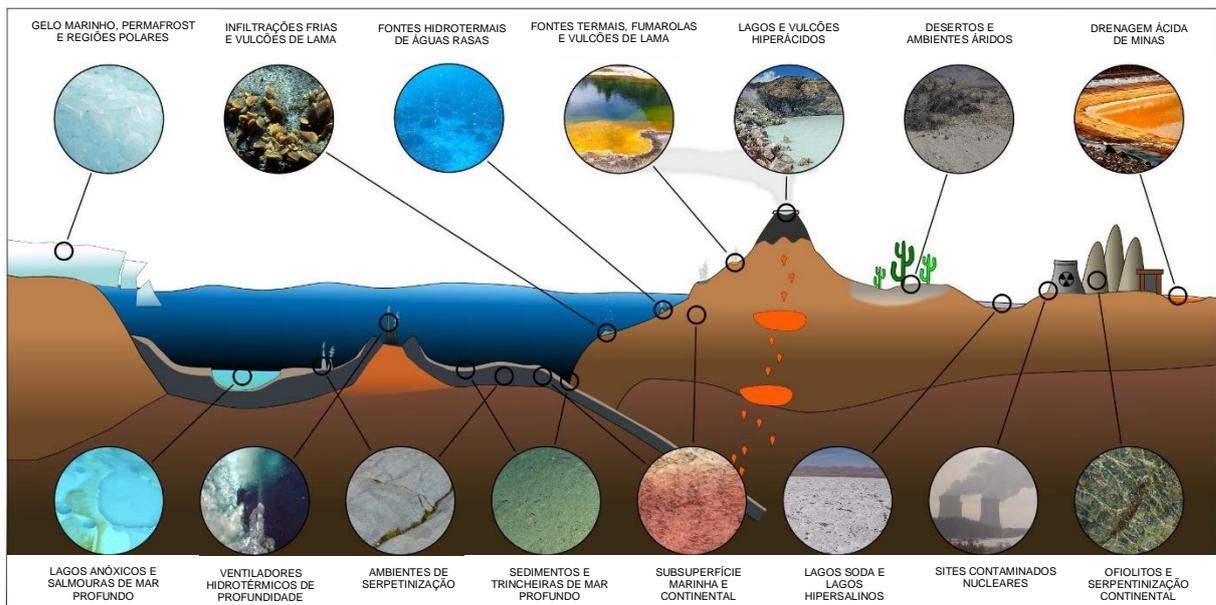
Fonte: Adaptado de Rothschild e Mancinelli (2001, p.1096), tradução nossa.

Figura 2.18 - Mushroom Spring, Parque Nacional de Yellowstone, EUA, onde Tom Brock isolou *Thermus aquaticus*, organismo a partir do qual foi obtida a Taq polimerase, amplamente utilizada reação em cadeia da polimerase (PCR).



Fonte: Rothschild e Mancinelli (2011, p.1092).

Figura 2.19 - Seção transversal representativa da crosta terrestre, mostrando a diversidade de ambientes extremos e sua localização aproximada. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Merino *et al.* (2019, p.3), tradução nossa.

Para Capecce *et al.* (2013), os extremófilos foram estudados para responder a questões de biogeografia, preservação de alimentos, biotecnologia e Astrobiologia. Na Astrobiologia, o conhecimento dos mecanismos de sobrevivência de microrganismos em ambientes considerados extremos ou prejudiciais à maioria da vida é fundamental para entender como a vida poderia sobreviver em ambientes fora do nosso planeta (Rothschild; Mancinelli, 2001). No Quadro 2.5 temos exemplos de (poli)extremófilos.

Ambientes na Terra análogos aos extraterrestres são estudados como modelos, por meio da microbiologia ambiental e de experimentos em laboratório, para busca da vida fora da Terra (Rodrigues; Galante; Avellar, 2016). O Quadro 2.6 mostra ambientes análogos a Terra e relevantes no Sistema Solar.

Segundo Duarte *et al.* (2012) o Brasil possui ecossistemas que incluem alguns ambientes permanentes ou sazonalmente extremos, cujos microrganismos neles presentes poderiam fornecer modelos importantes para definir limites da vida e formular hipóteses sobre a vida fora da Terra. Ainda segundo os autores, são exemplos desses ambientes: o Cerrado (solo acidez forte e alto teor de Al^{+3}), os manguezais (anaeróbicos e salinos), o Pantanal (com lagos alcalino-salinos), a Caatinga (solos áridos e quentes) e os sedimentos do mar profundo na plataforma oceânica.

Quadro 2.5 - Exemplos de (poli)extremófilos notáveis.

Linagem	Domínio	Tipo de extremófilo	Ecossistema de isolamento
<i>Acidianus infernus</i> So4a	Arqueia	Acidotermófilo	Cratera, vulcão Solfatara
<i>Colwellia piezophila</i> ATCC BAA-637	Bactéria	Piezopsicrófilo	Mar profundo
<i>Halomonas campisalis</i> MCM B-365	Bactéria	Hiperalkalifílico	Lago soda
<i>Oceanobacillus iheyensis</i> HTE831	Bactéria	Alcalifílico, piezotolerante e halotolerante	Mar profundo (lama)
<i>Anoxybacillus pushchinensis</i> K1	Bactéria	Alcalitermófilo	Estrume
<i>Actinopolyspora righensis</i> H23	Bactéria	Halófilo	Solo salino
" <i>Geothermobacterium ferrireducens</i> " FW-1 ^a	Bactéria	Hipertermófilo	Obsidian Pool, Parque Nacional de Yellowstone
<i>Shewanella piezotolerans</i> WP3	Bactéria	Piezófilo	Mar profundo
<i>Colwellia</i> sp. MT-41	Bactéria	Piezopsicrófilo	Mar profundo
<i>Pedobacter arcticus</i> A12	Bactéria	Psicrófilo	Tundra (solo)
<i>Thermococcus gammatolerans</i> EJ3	Arqueia	Termófilo e tolerante à radiação	Ventilação hidrotérmica (chaminé)
<i>Deinococcus radiodurans</i> R1	Bactéria	Tolerante ao vácuo e à radiação	Carne enlatada estragada
<i>Cryomyces antarcticus</i> MA5682	Fungi	Tolerante ao vácuo e à radiação	Antártica
<i>Deinococcus geothermalis</i> DSM 11300	Bactéria	Xerotolerante	Fonte termal
<i>Halobacterium salinarum</i> NRC-1	Arqueia	Xerotolerante, tolerante ao vácuo e à radiação	Núcleo perfurado de uma mina de sal

Fonte: Adaptado de Merino *et al.* (2019, p.7), tradução nossa.

Os microrganismos não apenas prosperam sob um espectro tão amplo de parâmetros físico-químico na Terra, mas também podem sobreviver às condições críticas do espaço sideral, um ambiente com extrema radiação, pressão de vácuo, temperatura extremamente variável e microgravidade (Merino *et al.*, 2019).

No Brasil, a primeira tese experimental desenvolvida em Astrobiologia investigou e mostrou eficiente a capacidade de sobrevivência de modelos biológicos (a bactéria *Deinococcus radiodurans* e a cianobactéria *Chroococcidiopsis* sp.) submetidos a ambientes extraterrestres simulados, considerando parâmetros como pressão, temperatura e radiação (Paulino-Lima, 2010).

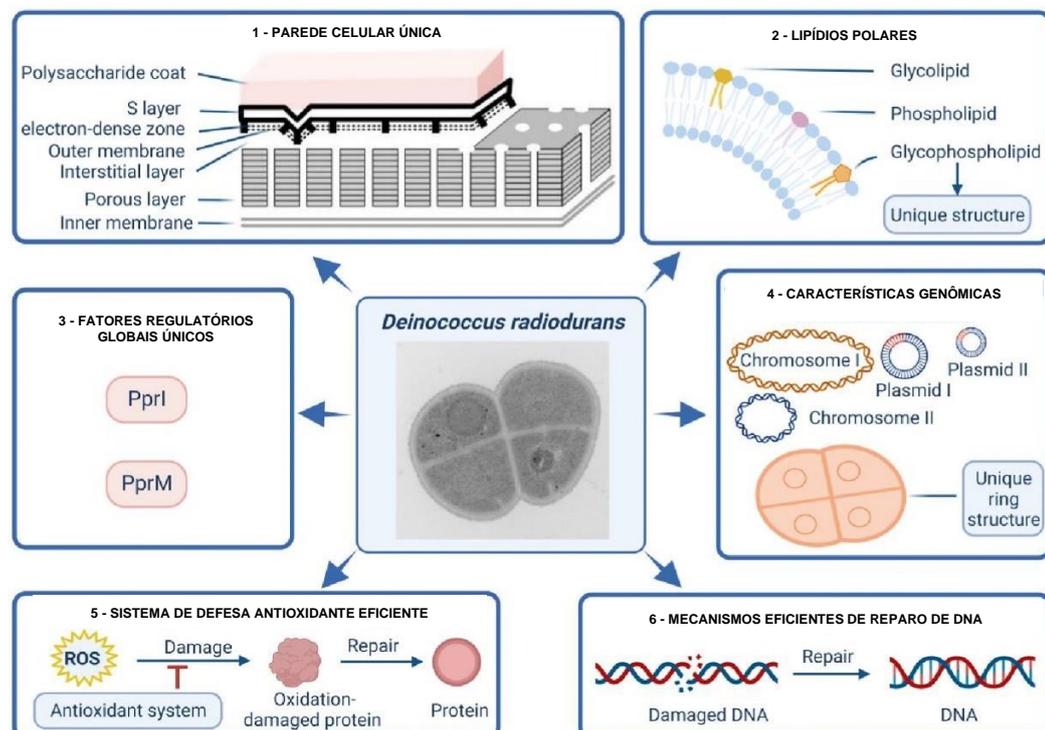
A bactéria *Deinococcus radiodurans* é poliextremófila e além da radiação ionizante, tem resistência surpreendente à radiação ultravioleta, dessecação, oxidantes, produtos químicos, e também ao vácuo e à temperatura. Devido aos mecanismos de resistência, *Deinococcus radiodurans* é considerada um modelo, sendo amplamente estudada no contexto da Astrobiologia (Figura 2.20).

Quadro 2.6 - Extremófilos na Terra e ambientes semelhantes no Sistema Solar.

Extremófilos	Condições	Habitat da Terra	Ambiente análogo a Terra
Psicrófilos	Temperatura baixa	Neve, gelo, sedimento	Calota de gelo de Europa e Encélado; pólos de Marte
Halófilos	Alta salinidade	Inclusões de gelo marinho, lagos salinos, lagoas de evaporação	Oceanos subterrâneos de Europa, Titã, e Encélado
Piezófilos	Alta pressão	Fontes hidrotermais no fundo do oceano	Soalhos oceânicos da Europa (hidrotérmico?)
Xerófilos	Baixa atividade de água	Deserto de Atacama, superfície rochosa	Superfície de Marte
Microorganismos tolerantes à radiação	Alta radiação	Água do reator nuclear, núcleos	Superfície da Europa
Quimiolitotróficos	Matriz de hidrocarboneto líquido	Pitch Lake, vazamentos de óleo	Lagos hidrocarbonetos de Titã

Fonte: Adaptado de Hays (2015, p.108, tradução nossa).

Figura 2.20 - Mecanismos de radiorresistência de *Deinococcus radiodurans*: (1) parede celular única em multicamadas - a camada S possui propriedades de resistência ao calor e radiorresistência; (2) lipídios polares - a maioria são fosfoglicolipídios que atuam como antioxidantes e tornar a célula radiorresistente; (3) fatores reguladores globais únicos - para uma variedade de estresses, incluindo estresse oxidativo, dessecação e radiorresistência; (4) características genômicas - consiste em dois cromossomos circulares, um plasmídeo gigante, um plasmídeo pequeno e genes redundantes na reparação do DNA; (5) sistema de defesa antioxidante de alta eficiência - integra múltiplas vias enzimáticas e não enzimáticas; (6) capacidade eficiente de reparo de DNA - reparo por recombinação, excisão de nucleotídeos, excisão de bases e de incompatibilidade. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Liu, Li e Zhang (2023, p.71), tradução nossa.

2.8 HABITABILIDADE E BIOASSINATURAS EM EXOPLANETAS

Segundo Méndez *et al.* (2021) habitabilidade busca entender como um conjunto de variáveis contribuem para a capacidade de um ambiente gradualmente suportar a vida e a sinergia entre ecologistas e astrobiólogos é necessária para expandir a nossa compreensão da habitabilidade da Terra, do Sistema Solar e dos planetas extrasolares.

Os pesquisadores brasileiros Damineli e Steiner (2010) questionam: onde procurar a vida? Para eles:

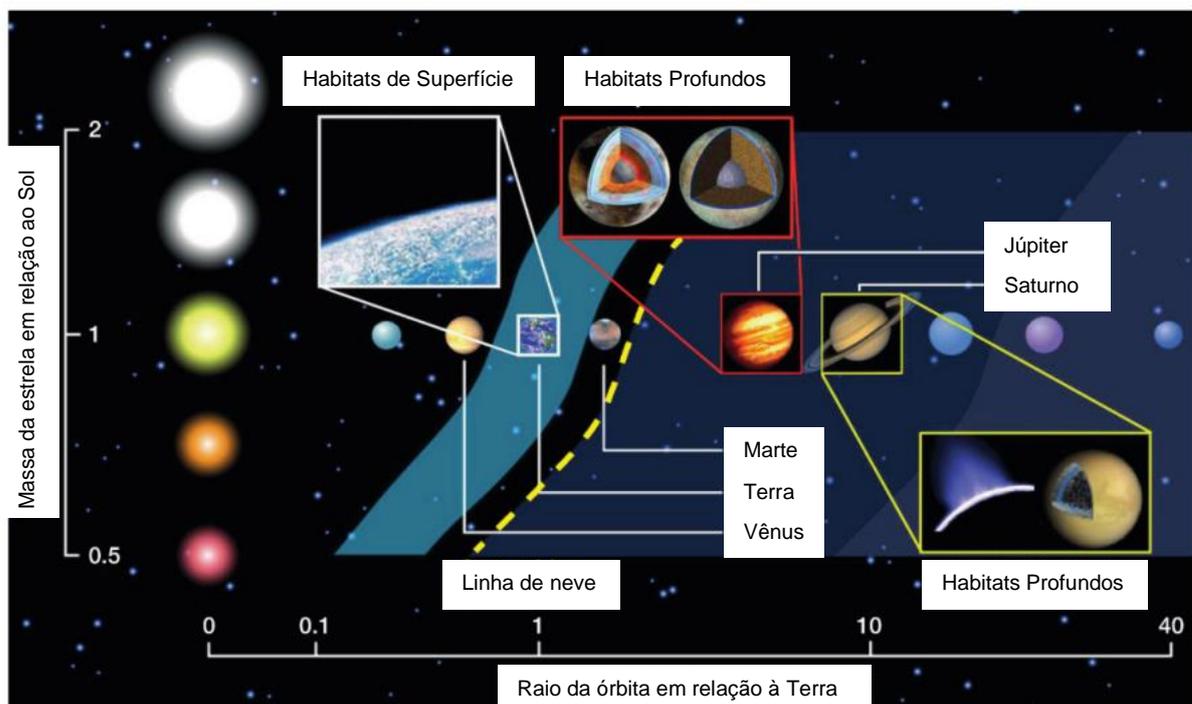
O sistema solar é até um pouco irrelevante para a procura da vida. Nele, só nosso planeta está situado na zona de água líquida (em ambiente aberto). Marte congelou há mais de 3,5 bilhões de anos e, no máximo, espera-se encontrar fósseis microscópicos que teriam vivido antes disso. Outros lugares, incluindo a lua de Júpiter Europa, embora não impeditivos para a vida, são muito inóspitos para se investir grande quantidade de recursos humanos e financeiros. [...] Mesmo se nos restringirmos aos planetas rochosos, que circulam na zona de água líquida, o número esperado é de bilhões, só na Via Láctea. Tudo o que temos de fazer é construir telescópios com poder de resolução espacial suficiente para fotografar o planetinha separado da estrela hospedeira. Depois disso, analisamos sua luz através de um espectrógrafo e procuramos as assinaturas de atividade biológica. [...] Pode-se imaginar um catálogo de planetas extrassolares com uma coluna marcando a identificação positiva do ozônio e outra do metano (Damineli; Steiner, 2010, p.33-34).

Para Siffert (2022) a definição clássica para zona habitável (ZH) é região em torno de uma estrela estável por alguns bilhões de anos, na qual um corpo rochoso pode sustentar água no estado líquido em sua superfície (Figura 2.21). Ainda segundo essa autora, a definição de zona habitável é apenas um ponto de partida para nos guiar na procura por vida fora da Terra, uma vez que a temperatura dos planetas e luas não depende unicamente da radiação da estrela, mas pode ser afetada por mecanismos internos, forças de maré, dentre outros. Farias e Barbosa (2017) separaram os fatores que permitem a existência de água líquida e fotossíntese em um planeta em fatores planetários e astronômicos, listado a seguir e representado pela Figura 2.22.

Principais fatores planetários: 1. massa/densidade: influencia na composição atmosférica, determinando a perda ou a retenção de materiais voláteis; 2. atmosfera: o balanço de energia de um planeta é fortemente influenciado pela composição atmosférica e pelo albedo, que indica a reflexividade de uma superfície; 3. placas tectônicas: sustentam a

temperatura média do planeta e permitem a reciclagem de substâncias como CO₂; 4. campo magnético: atua como um escudo para a atmosfera do planeta protegendo-a contra a radiação solar e fluxos de plasma. **Fatores astronômicos:** 5. tipo de estrela: determina a distância adequada para a existência de água líquida na superfície de um planeta; 6. rotação: determinante para a intensidade do campo magnético do planeta; 7. presença de satélite: interfere na regulação do clima do planeta; 8. impactos: podem afetar negativamente a habitabilidade provocando a vaporização de oceanos e extinções de espécies, porém também podem favorecer as condições para a vida aumentando a disponibilidade de nutrientes e energia (Farias; Barbosa, 2017, p.e4402-3, grifo nosso).

Figura 2.21 - O modelo original da zona habitável (em azul claro) usou o tamanho relativo da estrela hospedeira e a distância do planeta a esta estrela para modelar onde a água poderia estar presente em ambientes de superfície. Como as luas geladas dos planetas externos (como Europa, Ganimedes ou Enceladus) foram estudadas, o potencial para habitats de águas líquidas profundas nesses corpos ampliou a diversidade de mundos habitáveis. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

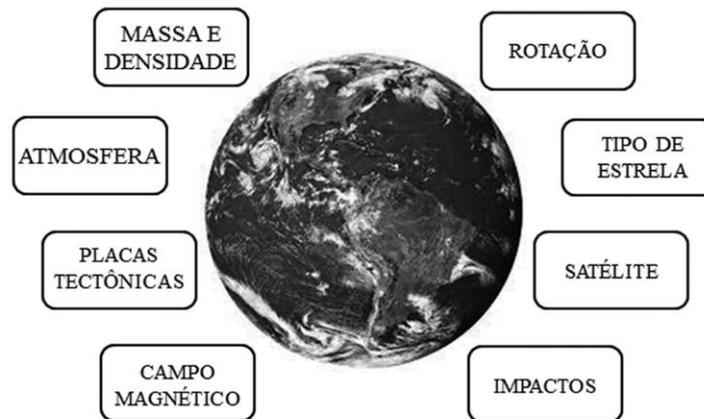


Fonte: Grasset *et al.* (2013) *apud* Hays (2015, p.121), tradução nossa.

Lineweaver, Fenner e Gibson (2004) modelaram a evolução da Via Láctea no espaço e no tempo e identificaram como a zona habitável galáctica (ZHG), uma região entre 7 e 9 quiloparsecs¹² distante do centro, cujo raio varia com o tempo, composta por uma estrela hospedeira, elementos pesados suficientes para formar planetas terrestres, tempo suficiente para a evolução biológica e livre de supernovas, cuja explosão poderia destruir a vida.

¹² Abreviado como kpc, cada quiloparsecs equivale a 3.260 anos-luz.

Figura 2.22 - Os fatores planetários e astronômicos para Habitabilidade Contínua.



Fonte: Farias e Barbosa (2017, p. e4402-3).

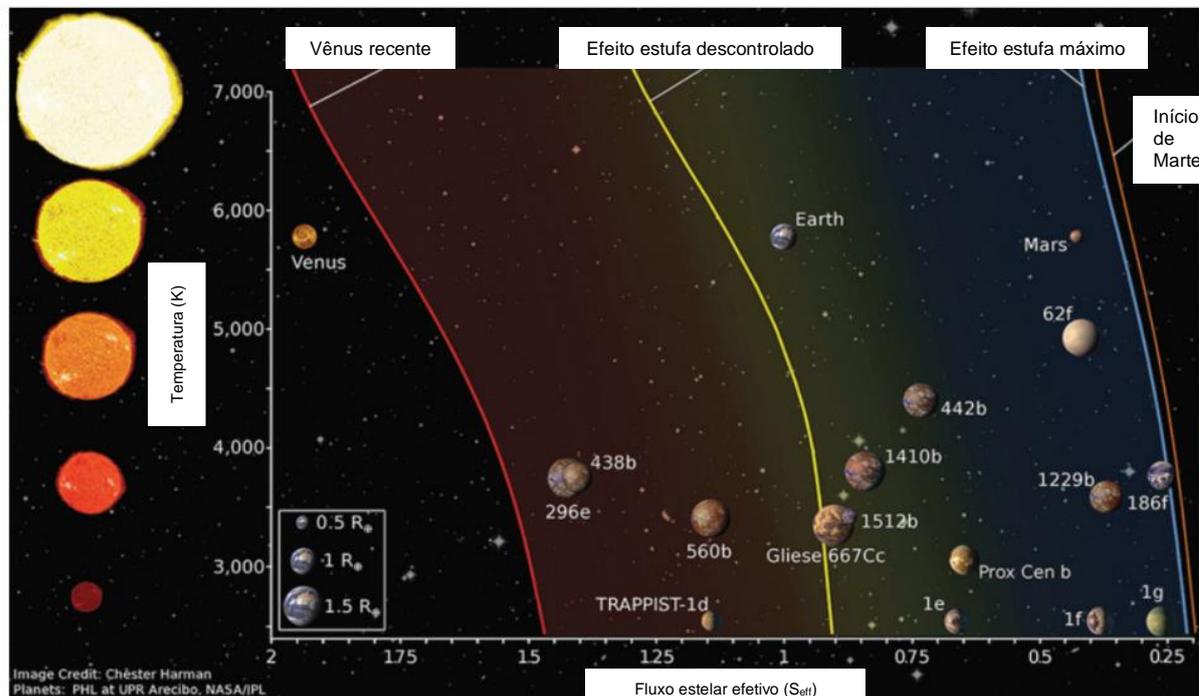
Análogo à zona habitável galáctica, o estudo das zonas habitáveis circunstelares (ZHs) auxilia na seleção de planetas fora do Sistema Solar, os chamados exoplanetas, e a detecção das chamadas “bioassinaturas”, ou seja, evidências que indiquem atividade biológica – aposta atual para uma eventual confirmação da existência de vida fora da Terra (Siffert, 2022). Na Figura 2.23 é possível ver zona habitável circunstellar (Schwieterman *et al.*, 2018).

O primeiro exoplaneta foi descoberto em 1992 orbitando o pulsar PSR1257+12 (Silva; Roberto; Alves, 2020). Já a primeira detecção de um exoplaneta orbitando uma estrela da sequência principal (do tipo solar de acordo com sua temperatura e características espectrais) foi 51 Pegasi b, em 1995. O exoplaneta 51 Pegasi b, nomeado de Dimidium (de acordo com a nomenclatura oficial da União Astronômica Internacional), foi observado na constelação de Pégasus, a 50 anos luz do nosso Sistema Solar. Em 2019, os autores dessa detecção, Michel Mayor e Didier Queloz, utilizando a técnica da variação da velocidade radial, receberam o prêmio Nobel de Física (Farias; Barbosa, 2017).

A detecção de um exoplaneta possivelmente habitável tem sido um dos principais propósitos de missões espaciais. Foram os telescópios espaciais CoRoT (*CO*nvection, *i*nternal *RO*tation and *T*ransiting planets ou Convecção, Rotação e Trânsitos Planetários, em tradução livre) lançado em 2006 e Kepler lançado em 2009, que impulsionaram as descobertas e os estudos dos exoplanetas. O telescópio TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite* ou Satélite de Pesquisa de Exoplanetas em Trânsito, em tradução livre) lançado em 2018 e o telescópio JWST

(*James Webb Satellite Telescope* ou Telescópio Espacial James Webb, em tradução livre) lançado em 2021, também são utilizados na busca de exoplanetas, assim como futuro telescópio PLATO (*PLANetary Transits and Oscillations of stars* ou Oscilações e Trânsitos Planetários de Estrelas, em tradução livre) prevista para 2026 (com participação brasileira), o que deve aumentar o número de exoplanetas detectados, principalmente similares ao planeta Terra e na procura por vida fora da Terra (Farias; Barbosa, 2017; Silva; Roberto; Alves, 2020; Coelho, 2022).

Figura 2.23 - A zona habitável circunstellar. Os planetas dentro da Zona Habitável têm a capacidade de manter água líquida superficial estável assumindo uma atmosfera N_2 - CO_2 - H_2O e um *feedback* ciclo carbonato-silicato (Kopparapu *et al.*, 2013 *apud* Schwieterman *et al.*, 2018, p.667). A suposição de água líquida superficial é importante porque sugere que uma biosfera, se presente, estaria em contato direto com a atmosfera, permitindo o acúmulo de bioassinaturas potencialmente detectáveis na atmosfera e/ou na superfície. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

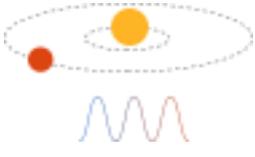
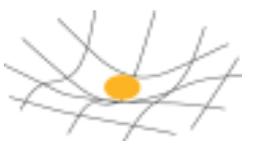


Fonte: Schwieterman *et al.* (2018, p.667), tradução nossa.

Segundo a NASA, são cinco os principais métodos de se encontrar um exoplaneta: velocidade radial, trânsito primário, imagem direto e microlente gravitacional, listados e representados no Quadro 2.7¹³.

¹³ Animação com 5 maneiras de encontrar um planeta está disponível em <<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#>>, acesso em 13 de abril de 2024.

Quadro 2.7 - Principais métodos utilizados para detectar exoplanetas. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

Método	Breve descrição	%*	Breve ilustração do método
Velocidade radial	Planetas em órbitas fazem com que as estrelas oscilem no espaço, mudando a cor da luz que os astrônomos observam – efeito Doppler.	19,4%	
Trânsito	Quando um planeta passa diretamente entre sua estrela e um observador, ele diminui a intensidade da luz da estrela em uma quantidade mensurável – semelhante um eclipse.	74,3%	
Micro lente gravitacional	A luz de uma estrela é curvada e focada pela gravidade à medida que um planeta passa entre a estrela e a Terra - prevista pela teoria da relatividade geral de Einstein.	3,8%	
Imagem direta	Os astrônomos podem tirar fotos de exoplanetas removendo o brilho avassalador das estrelas que orbitam.	1,2%	

* Porcentagem de outros métodos utilizados para detectar exoplanetas: 0,52% de variações de tempo de trânsito, 0,3% de variações de tempo de eclipse, 0,16% de modulação de brilho orbital, 0,14% de tempo de pulsar, 0,05% de astrometria, 0,04% de variações de tempo de pulsação, 0,02% de cinemática de disco.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de NASA/JPL. Exoplanet Exploration. Disponível em <<https://exoplanets.nasa.gov/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

O método do trânsito planetário primário, utilizado pelas missões espaciais CoRoT, Kepler e TESS, e por diversos telescópios na Terra, foi o responsável pela descoberta de mais de 70% dos exoplanetas atualmente confirmados (Siffert, 2022), ilustração em detalhe na Figura 2.24.

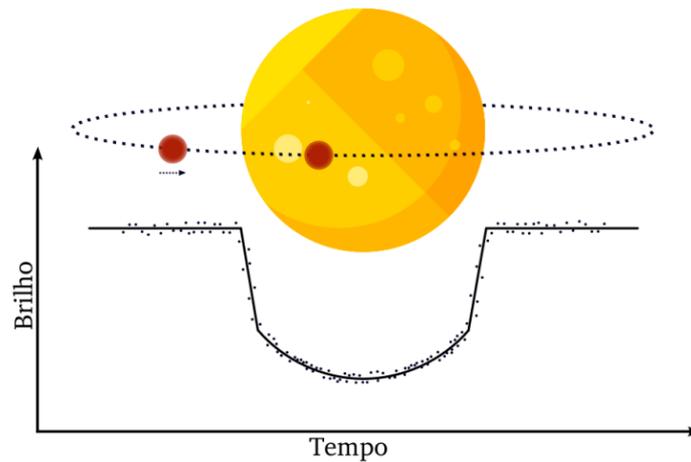
Em 21 de março de 2022, o número de exoplanetas conhecidos ultrapassou 5.000, de acordo com o Arquivo de Exoplanetas da NASA (Figura 2.25)¹⁴.

De acordo com a NASA, na última atualização em 13 de abril de 2024, existem 5609 exoplanetas confirmados e validados. Além disso, outros 10.170 candidatos a exoplanetas aguardam confirmação¹⁵.

¹⁴ Animação e sonificação da descoberta de exoplanetas pela humanidade ao longo do tempo pode ser encontrada em <<https://www.youtube.com/watch?v=yv4DbU1CWAY>>, acesso em 13 de abril de 2024.

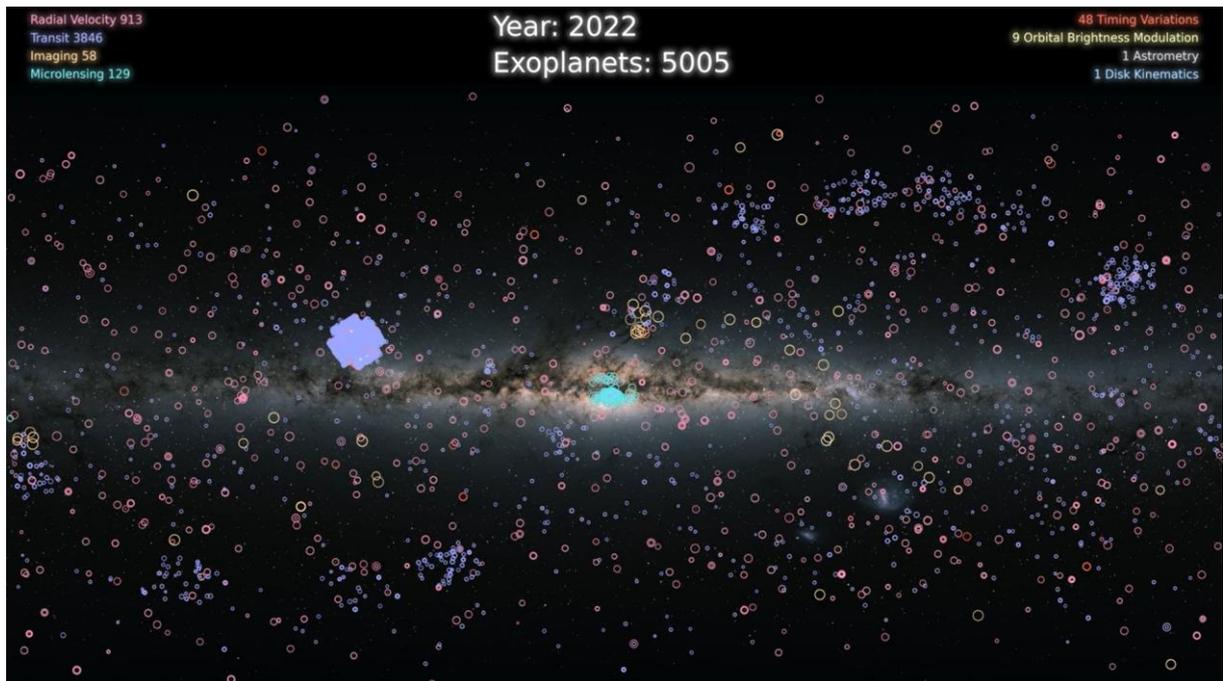
¹⁵ Uma atualização sobre descobertas de exoplanetas pode ser encontrada em <<https://exoplanets.nasa.gov/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

Figura 2.24 - Ilustração do método do trânsito planetário primário, utilizado por missões espaciais e por diversos telescópios na Terra. Este método consiste na detecção da sutil diminuição do brilho das estrelas quando ocorre um trânsito planetário, ou seja, quando o exoplaneta cruza em frente da estrela, do nosso ponto de vista. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Farias (2019) *apud* Siffert (2022, p.9).

Figura 2.25 - Concepção artística da descoberta de exoplanetas: os círculos indicam a posição do exoplaneta no céu, o tamanho do círculo indica o tamanho relativo da órbita do exoplaneta e a cor o método de detecção usado para descobri-lo. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: NASA/JPL-Caltech/M. Russo, A. Santaguida (SYSTEM Sounds).

Depois que um exoplaneta é detectado e nomeado, são realizadas medidas simples (como massa, tamanho, período orbital e distância do exoplaneta para com a estrela, por exemplo) e medidas mais complexas (como temperatura, presença de campos magnéticos e a presença de atmosfera e sua composição química), para

inferir algumas de suas características e classificá-los com base nos exemplos que temos no nosso Sistema Solar em: gigante gasoso, como Júpiter, um gigante de gelo, como Netuno, ou um pequeno rochoso, como a Terra (Farias, 2022).

A Figura 2.26 mostra os tipos de exoplaneta segundo a NASA¹⁶, sendo que dos 5609 dos exoplanetas confirmados, na última atualização em 13 de abril de 2024, 34,25% netuniano, 31,97% gigante gasoso, 30,09% super-Terra, 3,57% terrestre e 0,12% desconhecido.

Figura 2.26 - Tipos de exoplanetas: gigante gasoso, netuniano, super-Terra e terrestre. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: NASA/JPL-Caltech, Disponível em <<https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/>>, acesso em 13 de abril de 2024, tradução nossa.

Na Figura 2.27 é possível ver a lista dos 21 exoplanetas com maior "índice de similaridade com a Terra" (ESI, *Earth Similarity Index*) (SIFERT, 2022) e na Figura 2.28 um resumo de bioassinaturas (Schwieterman, 2016 *apud* Schwieterman *et al.*, 2018).

Para Siffert (2022), espera-se que o telescópio espacial James Webb (lançado em 2021) apresente resultados sobre as características das atmosferas de exoplanetas próximos. Para Schwieterman *et al.* (2018) os sinais de vida mais detectáveis em exoplanetas provavelmente resultem de uma biosfera fotossintética,

¹⁶ Uma animação sobre os diferentes tipos de exoplanetas pode ser encontrada em <<https://www.youtube.com/watch?v=k1UcseLVNvc>>, acesso em 13 de abril de 2024.

embora qualquer gás individual sozinho seja provavelmente insuficiente para confirmação de bioassinatura devido ao potencial falso positivo.

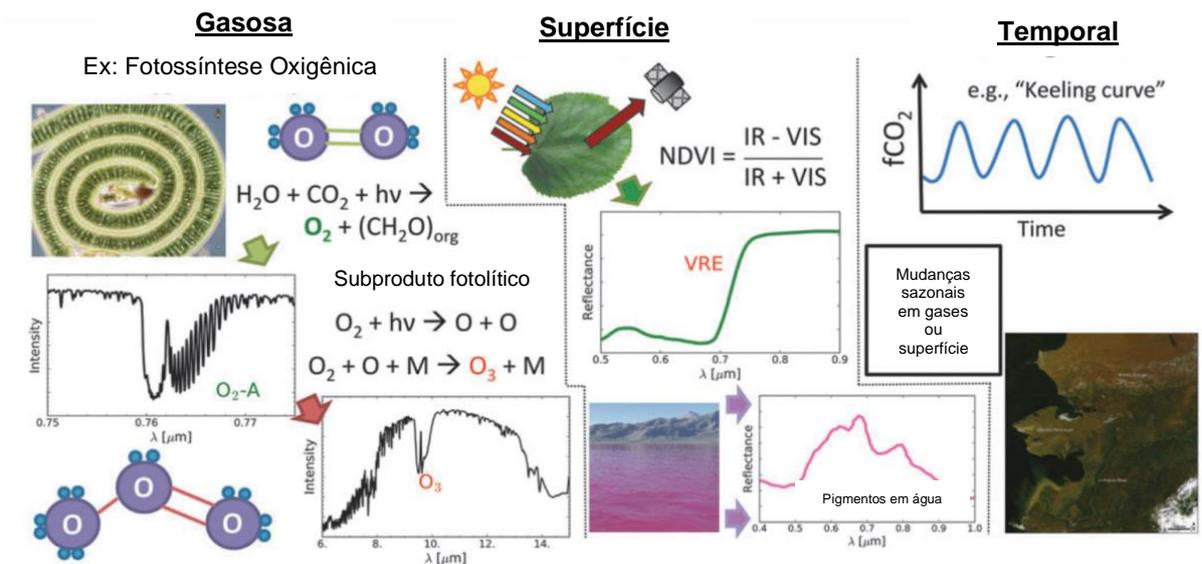
Figura 2.27 - Lista dos 21 exoplanetas com maior “índice de similaridade com a Terra” (ESI, *Earth Similarity Index*) de acordo com o “The Habitable Exoplanets Catalog”, que calcula este índice levando em consideração o raio, a densidade, a velocidade de escape e a temperatura superficial do exoplaneta. A primeira linha contém as informações do planeta Terra, para fins de comparação. Na primeira coluna contém um círculo que representa o tamanho de cada exoplaneta, a ser comparado com o círculo na primeira linha, que representa o tamanho da Terra. As outras colunas contêm o nome, a massa (ou massa mínima), em unidades de massa da Terra, o raio, em unidades de raio da Terra, e o índice ESI de cada exoplaneta. Quanto mais próximo de 1 for o índice ESI de um planeta, maior é a semelhança entre ele e a Terra.

Nome	M (M_{\oplus})	R (R_{\oplus})	ESI
● Terra	1	1	1
● Teegarden b	1,05	1,02	0,95
● TOI-700 d	1,57	1,14	0,93
● Kepler-1649 c	1,20	1,06	0,92
● TRAPPIST-1 d	0,39	0,78	0,91
● Proxima Centauri b	1,27	1,08	0,87
● K2-72 e	2,21	1,29	0,87
● GJ 1061 d	1,64	1,15	0,86
● GJ 1061 c	1,74	1,18	0,86
● Ross 128 b	1,40	1,11	0,86
● GJ 273 b	2,89	1,51	0,85
● Kepler-296 e	2,96	1,52	0,85
● TRAPPIST-1 e	0,69	0,92	0,85
● Kepler-442 b	2,36	1,35	0,84
● GJ 667 C f	2,54	1,45	0,76
● Kepler-62 f	–	1,41	0,68
● TRAPPIST-1 f	1,04	1,04	0,68
● Teegarden c	1,11	1,04	0,68
● Kepler-1229 b	2,54	1,40	0,62
● Kepler-186 f	1,71	1,17	0,61
● GJ 667 C e	2,54	1,45	0,60
● TRAPPIST-1 g	1,32	1,13	0,58

Fonte: Siffert (2022, p.13).

Segundo Lineweaver e Chopra (2012) a descoberta de vida microbiana terrestre em condições consideradas hostis, a caracterização de planetas e luas do nosso Sistema Solar e a detecção de uma ampla variedade de exoplanetas em órbita de estrelas, ampliou por sobreposição destes dois ambientes (terrestres e extraterrestres) a probabilidade de encontrar algum tipo de vida extraterrestre.

Figura 2.28 - Resumo de bioassinaturas gasosas, superficiais e temporais. Painel esquerdo: bioassinaturas gasosas são diretos ou indiretos produtos de processos biológicos. Um exemplo é o oxigênio O_2 molecular gerado como um subproduto da fotossíntese que é então processado fotoquimicamente em ozônio O_3 na estratosfera. Painel do meio: bioassinaturas de superfície são assinaturas espectrais transmitida pela luz refletida que interage diretamente com o material vivo. Um exemplo é o conhecido espectro da vegetação na faixa Red Edge (VRE, *vegetation red edge*) produzido por plantas e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) usado para mapear a vegetação da superfície da Terra (Tucker, 1979 *apud* Schwieterman *et al.* 2018, p.665). Painel direito: mudanças tempo-dependente em quantidades observáveis, incluindo concentrações de gás ou características de albedo na superfície, podem representar uma bioassinatura temporal se puderem ser ligadas à resposta de uma biosfera a uma mudança sazonal ou diurna. Um exemplo é a sazonalidade e oscilação de CO_2 como resposta ao crescimento sazonal e decadência da vegetação (Keeling *et al.*, 1976 *apud* Schwieterman *et al.* 2018, p.665). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



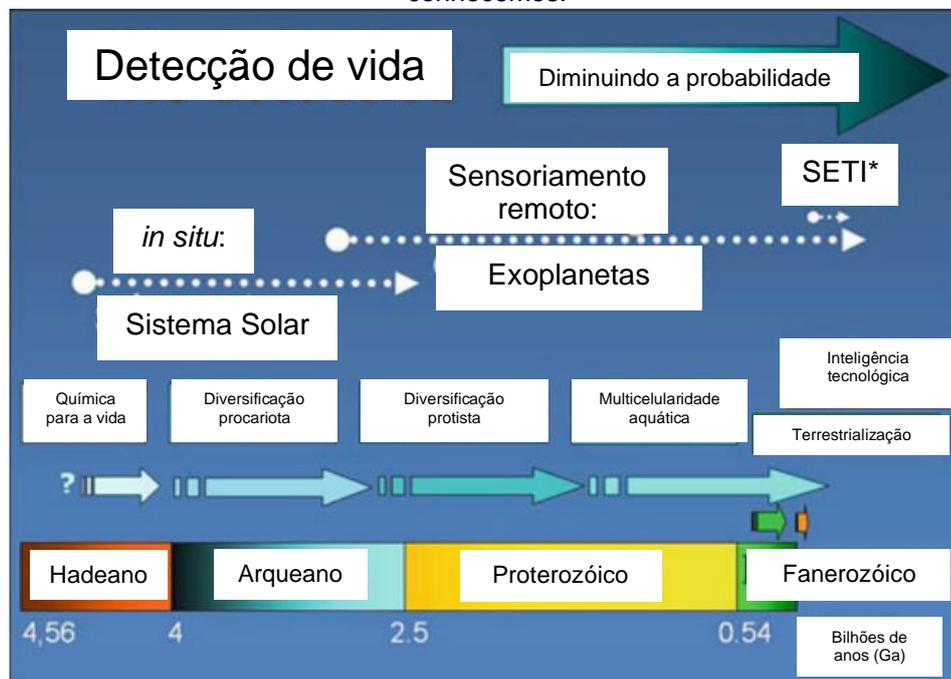
Fonte: Schwieterman (2016) *apud* Schwieterman *et al.* (2018, p.665), tradução nossa.

2.9 ALVOS TRADICIONAIS DA BUSCA POR VIDA FORA DA TERRA

A busca de vida fora da Terra mobilizou diferentes atores em diferentes épocas. Rodrigues e Silva (2016) destacam que a Lua já foi alvo de especulação para a existência de vida fora da Terra, mas com o desenvolvimento de telescópios, Marte tomou lugar da Lua como principal alvo de especulação para a existência de vida, não só microbiana, mas de vida inteligente e civilização. Essa controvérsia iniciada em 1877 durou até 1915. Contudo a partir do século XX, os avanços da astronomia permitiram melhor conhecimento de outros corpos do Sistema Solar em condições de comportar a vida microbiana e apenas recentemente, com o avanço da tecnologia espacial e com nova geração de telescópios começa o estudo dos exoplanetas (Rodrigues; Silva, 2016).

Segundo Javaux e Dehant (2010) a probabilidade de detecção de vida diminui com o aumento da complexidade morfológica da vida, mas não diminui com a complexidade metabólica que é a maior entre os procariotos e que provavelmente apareceram muito cedo na história da Terra. Por um lado, para as autoras, a mais provável forma de vida para detectar além da Terra é microbiana e pode ser detectada apenas *in situ* e, portanto, no Sistema Solar, considerando nossas limitações tecnológicas. Por outro lado, a forma menos provável de vida, não apenas vida inteligente, mas também tecnologicamente desenvolvida, pode ser ironicamente procurado em uma porção mais ampla do Universo ao nosso redor (Figura 2.29).

Figura 2.29 - Limitações da exploração astrobiológica baseada na evolução da vida como a conhecemos.



*Programa SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*, Busca por Inteligência Extraterrestre, em tradução livre)

Fonte: Knoll e Bambach (2000) *apud* Javaux e Dehant (2010), tradução nossa.

Para Martins *et al.* (2017), por um lado as missões espaciais para corpos celestes no Sistema Solar são caras e demoradas para atingir o seu objetivo, por outro lado para se prepararem para estas missões os cientistas utilizam ambientes extremos na Terra que se assemelham a corpos celestes no nosso Sistema Solar, chamados de ambientes análogos, a fim de testar metodologias, protocolos e tecnologias, coletar amostras tanto bióticas (existentes ou fossilizadas) quanto abióticas para análises. Esses tipos de atividades informam aos astrobiólogos sobre

habitabilidade e bioassinaturas presentes na Terra para missões de detecção de vida extraterrestre em ambiente análogo.

No Sistema Solar se especula encontrarmos sinal de vida, presente ou passada, nos planetas Marte e Vênus, e nas luas de Júpiter e de Saturno, sobretudo Europa (Júpiter), Titã (Saturno) e Encélado (Saturno) (Rodrigues; Silva, 2016).

As especulações de sinais de vida em corpos celestes decorrem sobretudo: 1) da especulação de depósitos de água gelada abaixo da superfície marciana pelo instrumento FRENDA (*Fine Resolution Epithermal Neutron Detector*) da *ExoMars Trace Gas Orbiter* da ESA¹⁷; 2) da especulação controversa de que possa existir um pigmento fotossintético absorvedor da radiação ultravioleta na atmosfera de Vênus, além da detecção recente de fosfina¹⁸; 3) de que possa existir um oceano de água líquida com mais água do que os oceanos da Terra juntos, sob uma camada de gelo em Europa¹⁹, de acordo com dados da sonda Galileo da NASA e cujas plumas de vapor de água foram evidenciadas pelo Telescópio Espacial Hubble em 2014.

A missão Cassini, também da NASA, foi a responsável por detectar erupções de plumas de gelo e vapor de água em Encélado, lua de Saturno, em 2005, também indicação de um possível oceano sob uma camada superficial de gelo. A mesma missão também foi responsável por estudar pela primeira vez a superfície de outra lua de Saturno, Titã, a qual descobriu ser coberta por corpos de hidrocarbonetos líquidos, além de ter encontrado evidências para a possível existência de água líquida subterrânea (Siffert, 2022, p.8).

A Figura 2.30 ilustra a quantidade de água líquida em corpos celestes do Sistema Solar em relação a Terra.

O interesse astrobiológico destes corpos celestes motivou o desenvolvimento de missões espaciais, como a *JUICE*²⁰, *Europa Clipper*²¹, *Venus Life Finder*²², *Mars*

¹⁷ *ExoMars*. Disponível em <https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars>, acesso em 13 de abril de 2024.

¹⁸ *Venus Life Prospects*. *Massachusetts Institute of Technology*. Disponível em <<https://venuscloudlife.com/venus-life-prospects/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

¹⁹ *Europa Clipper*. Disponível em <<https://europa.nasa.gov/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

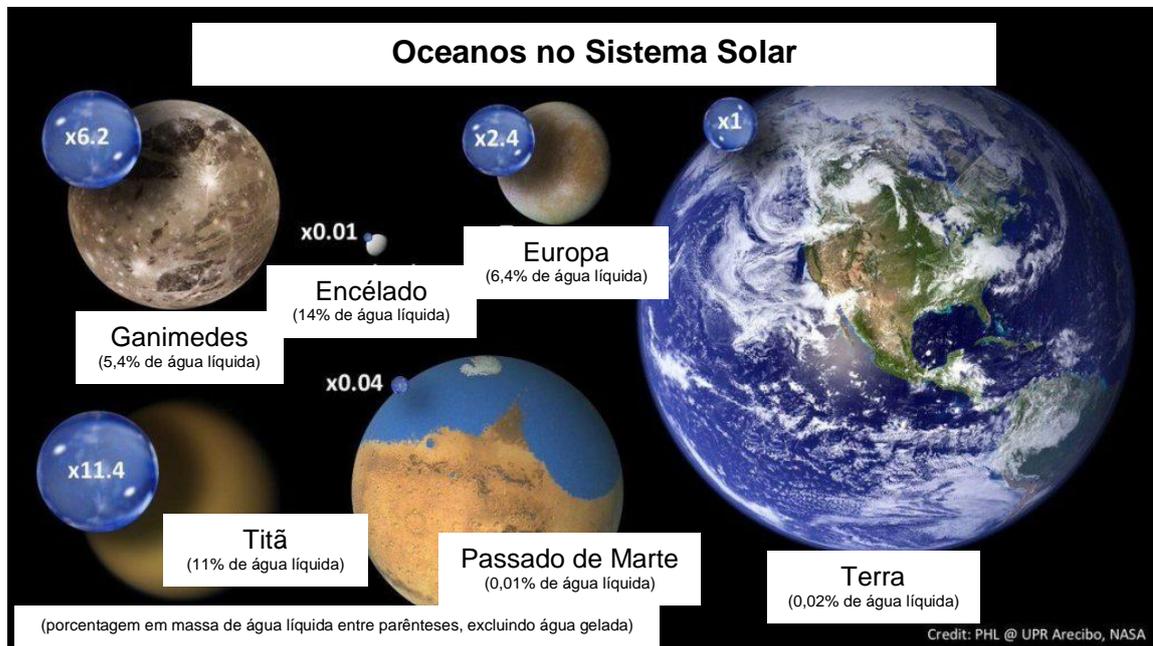
²⁰ Disponível em <https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice>, acesso em 13 de abril de 2024.

²¹ Uma animação sobre *Europa Clipper* da NASA pode ser encontrada em <<https://europa.nasa.gov/resources/296/europa-clipper-mission-animations/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

²² *Morning Star Missions*. *Massachusetts Institute of Technology*. Disponível em <<https://venuscloudlife.com/mission-concepts/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

*Sample Return*²³, *ExoMars*²⁴ e a *Dragonfly*²⁵. Essas missões estão listadas no Quadro 2.8 e representadas na Figura 2.31.

Figura 2.30 - Ilustração da quantidade de água líquida presente em objetos do Sistema Solar, em comparação com a quantidade de água presente na Terra. Os valores apresentados entre parênteses correspondem à porcentagem da massa de água líquida em relação à massa total do objeto.



Fonte: PHL/UPR – Arecibo, NASA. Disponível em <<https://astroparsec.com/2021/07/28/agua-em-ganimedes>>, acesso em 17 de abril de 2024, tradução nossa.

Segundo Merino *et al.* (2019), com base no nosso conhecimento da vida nas três camadas da Terra (atmosfera, superfície e subsuperfície), a superfície de Europa e Marte, experimenta altos níveis de radiação; além da radiação, a superfície de Europa é extremamente fria, portanto, a superfície de Marte e de Europa pode ser inadequada para sustentar vida. Por um lado, Europa provavelmente têm oceanos subterrâneos salinos e Marte salmouras subterrâneas onde halopscrófilos podem persistir, essas formas de vida também precisariam resistir a altas pressões. Por outro lado, estima-se que o subsolo da Terra abrigue 50-87% dos microrganismos. Isso sugere, por analogia, que o subsuperfície é um dos locais mais

²³ Uma animação sobre *Mars Sample Return* da NASA e ESA pode ser encontrada em <<https://mars.nasa.gov/msr/multimedia/videos/?v=523>>, acesso em 13 de abril de 2024.

²⁴ Disponível em <https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars>, acesso em 13 de abril de 2024.

²⁵ Uma animação sobre *Dragonfly* da NASA pode ser encontrada em <<https://www.youtube.com/watch?v=ldYeWN9ZivE/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

importantes na busca por vida extraterrestre extinta e existente. De tal modo, é provável que comunidades potenciais nestes ambientes subterrâneos extraterrestres sejam apoiadas pela produção *in situ* de carbono por meio da serpentinização.

Quadro 2.8 - Visão geral de missões espaciais com interesse astrobiológico.

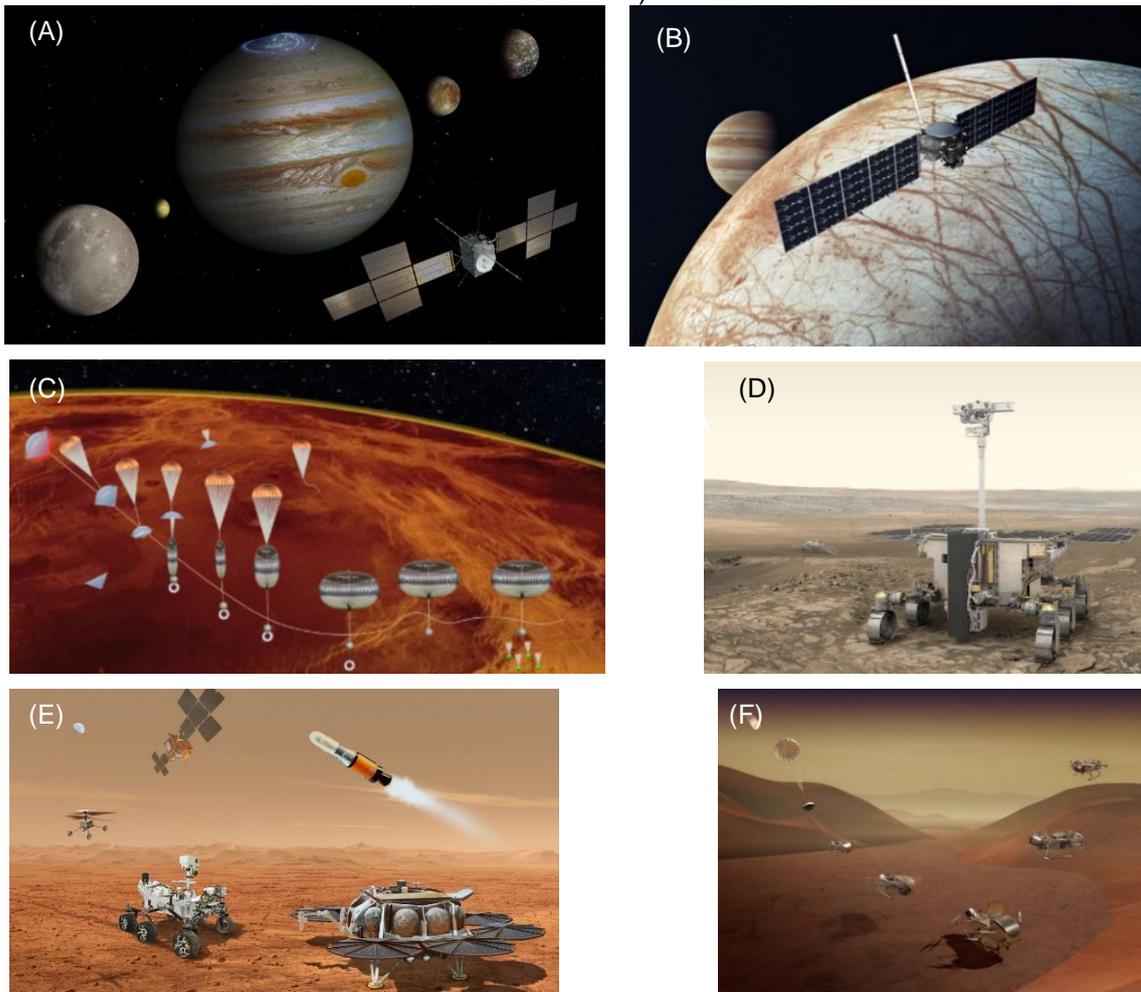
Missão	Alvo	Objetivo astrobiológico	Agência e lançamento
<i>Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE)</i>	Planeta Júpiter e suas luas Ganimedes, Calisto e Europa.	Caracterizar a composição e a química da superfície de Europa, à procura de substâncias que são essenciais para sustentar a vida (“bioassinaturas”).	ESA – 2023
<i>Europa Clipper</i>	Europa, uma das luas de Júpiter.	Determinar se existem locais abaixo da superfície gelada de Europa que possam sustentar vida.	NASA – 2024
<i>Venus Life Finder Missions</i>	O planeta Vênus.	Procurar, em uma série de missões, sinais de vida, medir indicadores de habitabilidade e buscar evidências de vida na atmosfera de Vênus.	<i>Rocket Lab*</i> - 2025
<i>ExoMars</i>	O planeta Marte.	Procurar sinais de vida na superfície e no subsolo de Marte.	ESA – 2028
<i>Mars Sample Return</i>	O planeta Marte.	Trazer de Marte rochas, regolito e amostras da atmosfera para análise de sua possível habitabilidade.	NASA e ESA – 2028
<i>Dragonfly</i>	Titã, uma das luas de Saturno.	Procurar assinaturas químicas que possam indicar vida baseada na água e/ou baseada em hidrocarbonetos em diversos locais de Titã.	NASA – 2028

* *Rocket Lab* será a primeira exploração privada do planeta.

Fonte: adaptado de <https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice>, <<https://europa.nasa.gov/>>, <<https://venuscloudlife.com/mission-concepts/>>, <https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars>, <<https://mars.nasa.gov/msr/>> e <<https://science.nasa.gov/mission/dragonfly/>>, respectivamente de cima para baixo e acesso em 13 de abril de 2024.

Segundo Marcy *et al.* (2007), uma elevada proporção de microrganismos subterrâneos ainda não foram cultivados e são conhecidos apenas por evidências genéticas usando abordagens de metagenômica (estudo de material genético recuperado diretamente de amostras ambientais) e bioinformática. Isto pode ser visto como o problema da “matéria escura” da biologia: assim como os astrônomos só podem inferir indiretamente a existência de uma grande quantidade de massa ainda não detectada no Universo, os microbiologistas só podem estimar a diversidade microbiana usando técnicas como a comparação ribossômica 16S - coloquialmente referidos como “*microbial dark matter*”, isto é, “matéria escura microbiana”.

Figura 2.31 - Ilustrações artísticas de missões espaciais com interesse astrobiológico. (A) *Jupiter Icy Moons Explorer (JUICE)*: a ilustração mostra a *JUICE* com um conjunto de instrumentos de detecção remota, geofísicos e *in situ* que irá caracterizar Júpiter e suas luas Ganimedes, Calisto e Europa como objetos planetários e possíveis habitats. (B) *Europa Clipper*: a ilustração mostra a *Europa Clipper* que transportará um conjunto avançado de instrumentos e componentes científicos para descobrir se a lua Europa de Júpiter hospeda ambientes adequados para a vida. (C) *Venus Life Finder Mission*: a ilustração mostra a entrada, descida, implantação e operação de uma série de missões, em continuidade às missões pioneiras, que estudará indicadores de habitabilidade e procurarão evidências de vida das nuvens de Vênus. (D) *ExoMars*: a ilustração mostra a plataforma de superfície (Kazachok) que investigará o ambiente da superfície no local de pouso e o rover (Rosalind Franklin) que viajará pela superfície marciana coletando, perfurando e analisando os materiais no seu laboratório de bordo em busca de sinais de vidas passadas ou existentes. (E) *Mars Sample Return*: a ilustração mostra vários robôs que se unirão de forma sincronizada para transportar à Terra amostras marciana coletada pelo rover Mars Perseverance, para estudo de vida passada e habitabilidade. (F) *Dragonfly*: a ilustração mostra a *Dragonfly* que pousará e voará em locais promissores da lua Titã de Saturno, identificados a partir dos dados da missão Cassini, em busca de processos químicos pré-bióticos. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

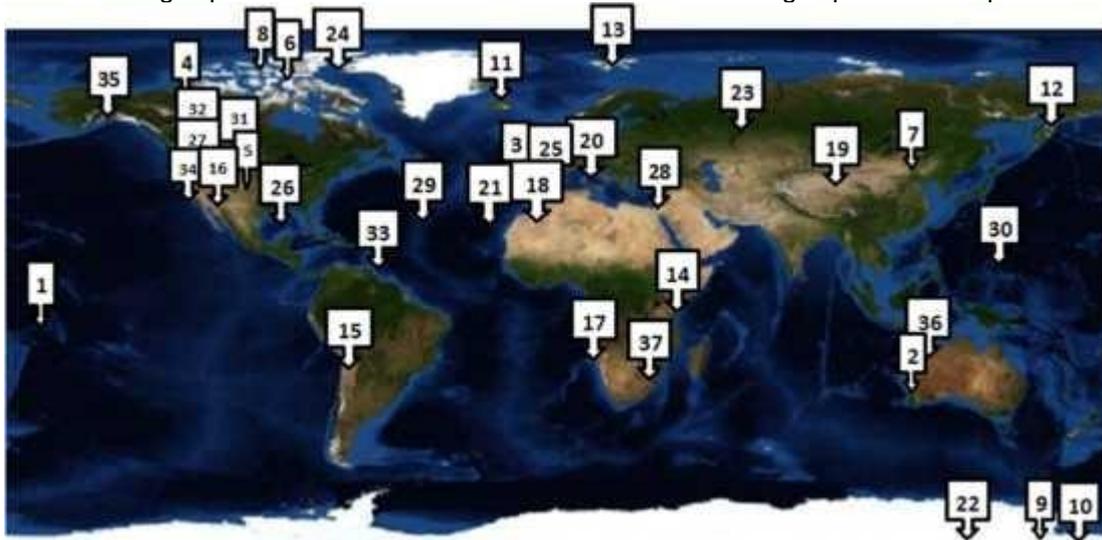


Fonte: (A) ESA/ATG medialab, disponível em <https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice/Juice_wallpapers>. (B) NASA/JPL-Caltech, disponível em <<https://europa.nasa.gov/resources/296/europa-clipper-mission-animations/>>. (C) Venus Mission Concept Study, disponível em <https://venuscloudlife.com/wp-content/uploads/2021/12/VLFRreport_12092021.pdf>. (D) ESA/ATG medialab, disponível em <<https://exploration.esa.int/web/mars/-/61114-esas-mars-rover-has-a-name-rosalind-franklin>>. (E) NASA/JPL-Caltech, disponível em <<https://mars.nasa.gov/msr/mission/science/>>. (F) NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben, disponível em <<https://dragonfly.jhuapl.edu/Gallery/#Gallery>>. Imagens acessadas em 13 de abril de 2024.

Vênus por sua vez, possui uma superfície muito quente, por causa do efeito estufa, o que inviabilizaria a vida como a conhecemos (Rodrigues; Silva, 2016). Entretanto, camadas de nuvens na sua atmosfera poderiam abrigar vida de termo ou psicro-acidofílicos (Merino *et al.*, 2019).

Um resumo dos locais representativos estudados como locais análogos terrestres está presente na Figura 2.32.

Figura 2.32 - Mapa global da Terra com 33 locais análogos identificados. 1- Atmosfera de alta altitude; 2 – Cráton de Yilgarn (Austrália Ocidental); 3 - Rio Tinto (Espanha); 4 - The Golden Deposit (Alto Ártico Canadense); 5 – Parque Nacional de Yellowstone (EUA); 6 – Cratera de impacto de Haughton (Ilha Devon); 7 – Complexo Ofiolítico de Dongwanzi (China); 8 – Ilhas Axel Heiberg (Alto Ártico Canadense); 9 – Vales Secos da Antártida (Antártica); 10 – Montanhas Antárticas da Terra Vitória do Norte; 11 – Vulcanismo Subglacial (Islândia); 12 - Kamchatka (Federação Russa); 13 – Complexo vulcânico Bockfjord Svalbard (Noruega); 14 - Kilimanjaro (Tanzânia, África); 15 - Atacama (América do Sul); 16 – Deserto de Mojave (EUA); 17 – Deserto do Namibe (Namíbia, África); 18 – Centro Ibn Battuta (Marrocos); 19 - Qaidam Basin (Planalto Tibetano); 20 – Cavernas na Sardenha; 21 – Cavernas em Tenerife e Lanzarote; 22 - Lago Vostok (Antártica); 23 - Permafrost (vários locais); 24 - Borup Fiord Pass (Ilha Ellesmere, Canadá); 25 - Lago Tirez (Espanha); 26 - Orca Basin (Golfo do México); 27 – Lago Mono (Califórnia, EUA); 28 – Mar Morto (Israel); 29 – Cidade Perdida (Dorsal Meso-Atlântica); 30 – Fossas das Marianas (Oceano Pacífico); 31 - Lidy Hot Springs (EUA); 32 – Basaltos do Rio Columbia (EUA); 33 – Lago de Pitch (Trinidad e Tobago); 34 - Rancho do Poço de Piche de La Brea (Califórnia, EUA); 35 – Campos de petróleo do Alasca (EUA); 36 - Pilbara (norte da Austrália Ocidental); 37 - Barberton (África do Sul). O número 1 corresponde amplamente aos análogos atmosféricos de alta altitude para Vênus, os números 2 a 21 são locais análogos para Marte, os números 22 a 32 são locais análogos para Europa e Encélado, os números 33 a 35 são locais análogos para Titã e os números 36 a 37 são locais análogos para a Terra primitiva.



Fonte: Martins *et al.* (2017, p.49) adaptado de Preston e Dartnell (2014), tradução nossa.

2.9.1 Possível habitabilidade passada do planeta Marte

Segundo Mello (2016), Marte o Planeta Vermelho, consideravelmente menor que a Terra (com dez por cento da massa e metade do tamanho) e de baixa

gravidade, foi incapaz de manter a atividade tectônica de placas, incapaz de manter seu vulcanismo (impedindo a reciclagem entre os minerais da crosta e o magma planetário), e sem possuir um campo magnético protetor para sua atmosfera, gradativamente sofreu a evaporação de sua atmosfera e de seus hipotéticos oceanos. Hoje em dia, Marte com uma fina atmosfera, composta quase inteiramente de dióxido de carbono, é um deserto seco pelo menos em sua superfície, frio com uma temperatura média na superfície de 50 graus Celsius (°C) abaixo de zero e aparentemente sem vida (pelo menos em sua superfície) como a conhecemos.

Por outro lado, Marte é o alvo mais tradicional da busca por vida extraterrestre, sobretudo devido: 1) a proximidade com a Terra; 2) a facilidade na observação; 3) ao envio de sondas; 4) ao ambiente propício para a vida no passado e que possa ter persistido no presente. Atualmente, a atmosfera muito rarefeita de Marte, resulta em um intenso fluxo de radiação solar na superfície, que é formada por compostos oxidantes. Dessa forma, a vida marciana poderia estar em nichos no subsolo, protegida da radiação e da superfície oxidante, em depósitos salinos higroscópicos, que podem reter em sua superfície a pequena quantidade de água disponível na atmosfera, formando um ambiente mais propício à vida como a conhecemos (Rodrigues; Silva, 2016).

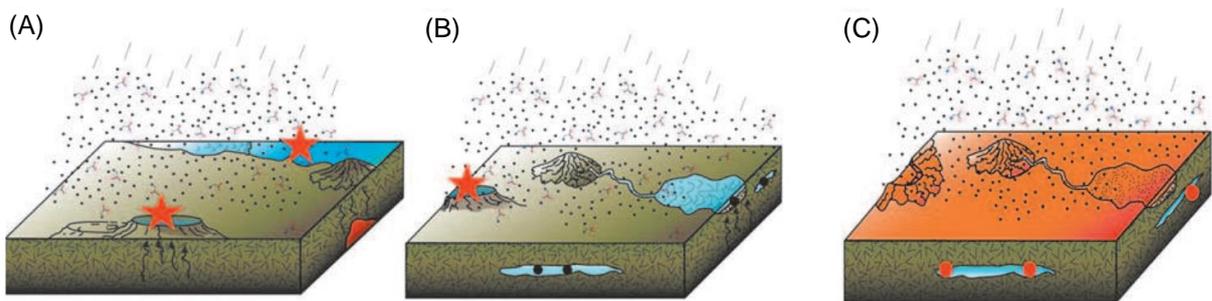
Tal como na Terra primitiva, o ambiente vulcânico e hidrotérmico no início de Marte teria apoiado formas de vida quimioautotróficas. Por outro lado, assim que as condições habitáveis desapareceram, por exemplo devido a perda de água, qualquer suposto organismo marciano teria entrado em modo de sobrevivência, eventualmente morrendo ou refugiado no subsolo, onde pode ter se espalhado através das águas subterrâneas. Assim, a vida microbiana em Marte ainda pode existir de forma viável em oásis líquidos subterrâneos ou em forma congelada em criosfera (Westall *et al.*, 2013). Na Figura 2.33 temos a habitabilidade de Marte nos últimos bilhões de anos.

Para Westall *et al.* (2013), colonização oportunista de um habitat poderia ter ocorrido a partir de Marte se formas latentes de microrganismos pudesse ser transportado.

O deserto do Atacama no Chile e os Vales Secos da Antártica são considerados análogos terrestres para Marte devido a parâmetros calor, seca e altos

níveis de radiação solar (Martins *et al.*, 2017). Na Figura 2.34 temos dois análogos terrestres frequentemente usados para Marte.

Figura 2.33 - Condições variáveis que favorecem a vida em Marte. (A) Esboço representando o início de Marte com dois tipos de áreas habitáveis não conectadas ambientes que poderiam ter apoiado o surgimento da vida (indicados pelas estrelas vermelhas) – um lago em uma cratera de impacto e um lago maior corpo d'água. (B) Mudança na habitabilidade em Marte. Num local, um lago de cratera poderia hospedar condições propícias ao surgimento de vida, enquanto simultaneamente em outro habitat desconectado a vida existente pode estar florescendo nos sedimentos no fundo de um corpo de água coberto de gelo (pontos pretos). A vida existente também está presente no subsolo. (C) Não há condições habitáveis na superfície de Marte. A criosfera congelada ainda pode hospedar células dormentes (pontos vermelhos). Em todos os cenários há uma chuva contínua de matéria orgânica extraterrestre. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Westall *et al.* (2013, p.893).

Figura 2.34 - O deserto do Atacama (à esquerda) e a Vales Secos McMurdo Antárticos (à direita) são ambientes análogos que podem ser estudados para compreender como a vida terrestre se adapta a extremos de baixa umidade e temperatura e fornecer dados para potenciais ambientes habitáveis extraterrestres como Marte, por exemplo.



Fonte: Hays (2015, p.106) (esquerda) e Martins *et al.* (2017, p.50) (direita).

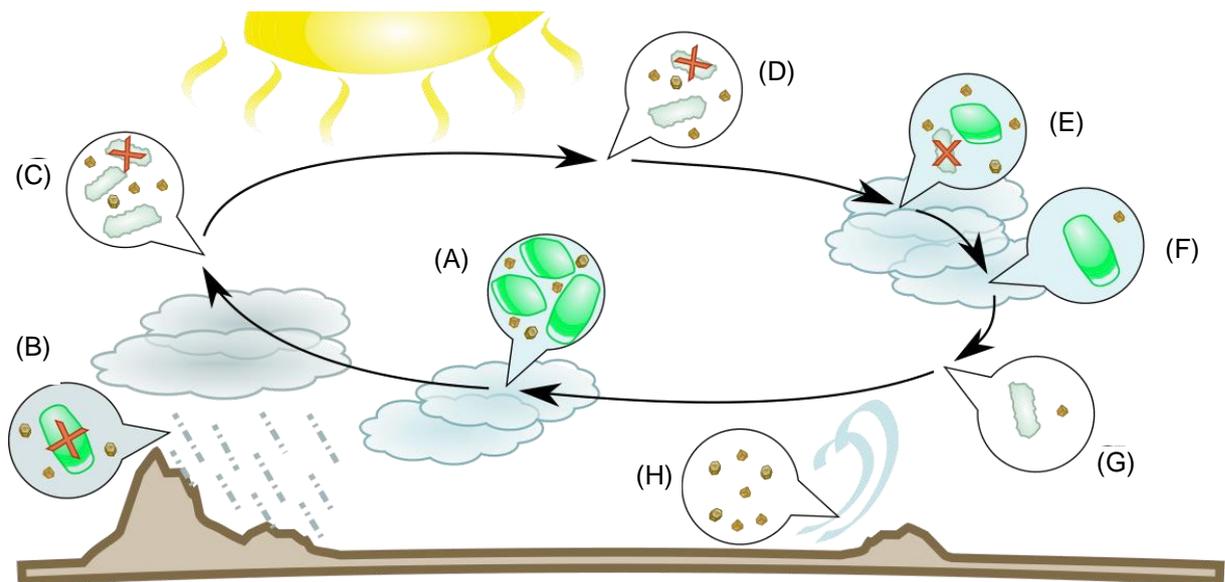
2.9.2 Persistência da habitabilidade das nuvens do planeta Vênus

Segundo Mello (2016), Vênus é um planeta quase gêmeo da Terra em massa e tamanho, e por causa da sua proximidade com o Sol e do efeito estufa, já que possui grande quantidade de nuvens na atmosfera, possui uma superfície muito quente (acima de 400°C), que acarretou a completa evaporação de seus

pressupostos oceanos, o que inviabilizaria a vida como a conhecemos. As especulações sobre a habitabilidade atual de Vênus concentram-se principalmente nos aerossóis de suas nuvens, único lugar conhecido onde água líquida é encontrada (Westall *et al.*, 2023).

Para Seager *et al.* (2021), um cenário mais comumente aceito é que a vida em Vênus se originou na superfície, como muito provavelmente aconteceu na Terra, e migrou para dentro do ambiente protetor das gotículas líquidas da nuvem. Ainda segundo os autores, estudos da biosfera aérea da Terra mostram que os micróbios residem principalmente no interior de gotículas de nuvens, no entanto, estão intimamente ligadas à superfície habitável do planeta (Figura 2.35).

Figura 2.35 - Ciclo de vida dentro da biosfera aérea da Terra. (A) Micróbios (verdes) acumulam nutrientes suficientes (marrom) em uma nuvem quente e úmida para se dividirem. (B) Perda com precipitação. (C) Encontro com região mais seca; alguma transição para formas dessecadas e inativas. (D) As formas secas acumulam danos, por exemplo, radiação. (E) Encontro com região de alta umidade; alguns reidratam e reparam. (F) Os sobreviventes crescem, potencialmente esgotando os nutrientes disponíveis. (G) Os ciclos úmido/seco podem se repetir, dependendo da dinâmica das nuvens. (H) Nutrientes (por exemplo, minerais de superfície), energia e períodos úmidos tornam-se suficientes para permitir a divisão, iniciando o ciclo novamente. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

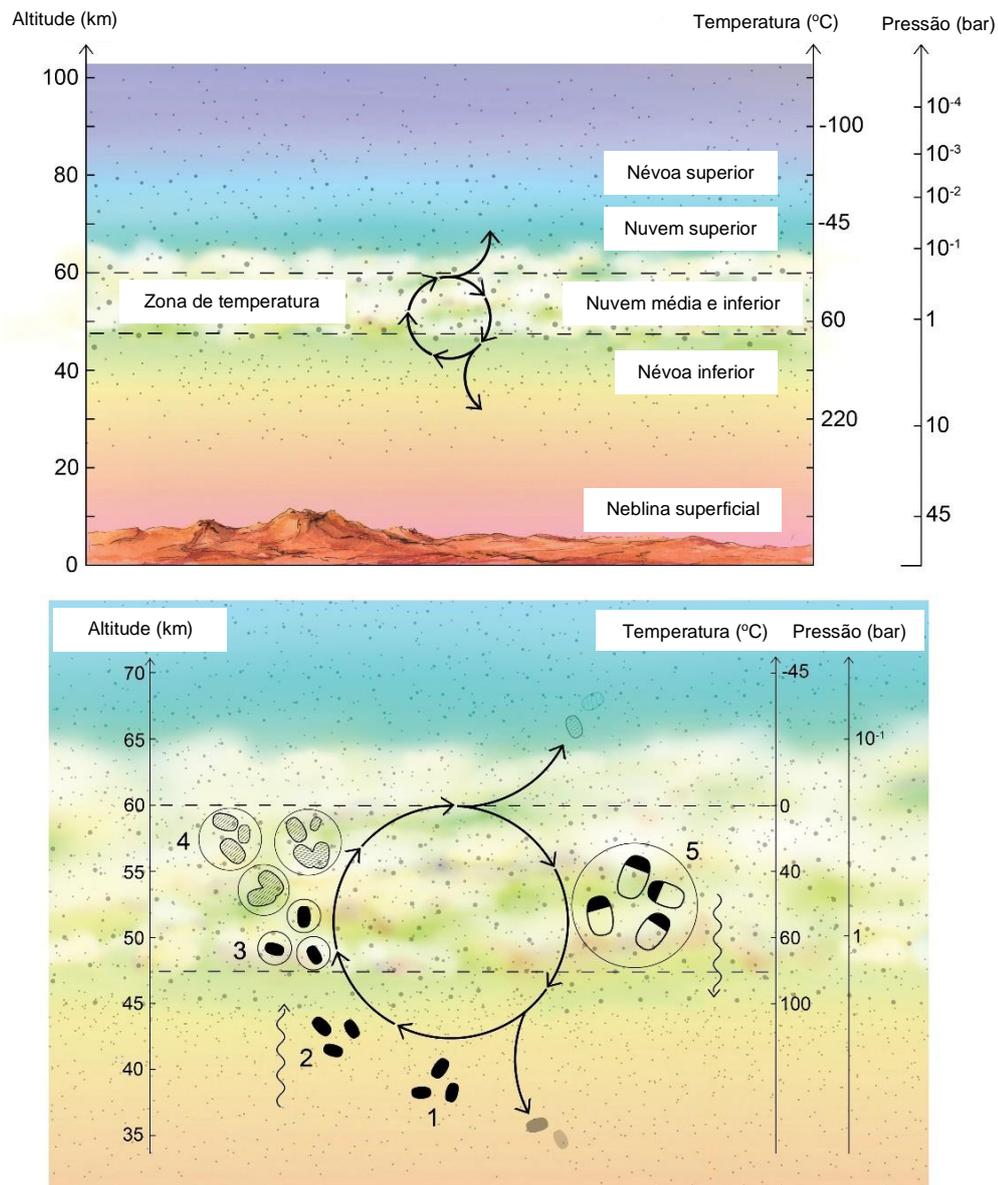


Fonte: Westall *et al.* (2023, p.32).

Com atmosfera extremamente seca e com concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e acidez tão altas, as nuvens venusianas constituem um ambiente totalmente diferente de qualquer outro encontrado naturalmente na Terra e a hipótese é que um processo análogo à esporulação bacteriana da Terra poderia acontecer como uma etapa essencial durante o ciclo de vida da vida venusiana

(Seager *et al.*, 2021). Um ciclo de vida para os micróbios venusianos está proposto na Figura 2.36.

Figura 2.36 - Ciclo de vida hipotético dos microrganismos venusianos. Painel superior: A cobertura de nuvens em Vênus é permanente e contínua, com as camadas média e inferior de nuvens em temperaturas adequadas à vida. Painel inferior: Ciclo de vida proposto. Os números correspondem às etapas do ciclo de vida: (1) Esporos dessecados (manchas pretas) persistem em a névoa inferior. (2) A corrente ascendente de esporos os transporta até a camada habitável. (3) Os esporos atuam como núcleos de condensação de nuvens e, uma vez cercados por líquido (com os produtos químicos necessários dissolvidos) germinam e tornam-se metabolicamente ativos. (4) Micróbios metabolicamente ativos (bolhas tracejadas) crescem e se dividem em gotículas líquidas (círculos sólidos). As gotículas líquidas crescem por coagulação. (5) As gotículas atingir um tamanho grande o suficiente para se estabelecer gravitacionalmente fora da atmosfera; temperaturas mais altas e evaporação de gotículas desencadeiam a divisão celular e a esporulação. Os esporos são pequenos o suficiente para resistir à sedimentação descendente, permanecendo suspenso na camada de neblina inferior “depósito”. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Seager *et al.* (2021, p.1211), tradução nossa.

Os átomos CHNOPS estão todos presentes na camada habitável da atmosfera venusiana, por outro lado, a escassez de nutrientes será um fator limitante do crescimento microbiano, que teria de ser fotossintética anoxigênica para ter energia suficiente para uma variedade de processos celulares e produtora de pigmentos protetores de radiação ultravioleta, como as melaninas (Seager *et al.*, 2021). Ainda segundo os autores, microrganismos na biosfera aérea da Terra possuem adaptações para a captura eficiente de nutrientes limitantes, incluindo a captura de metais mediada por sideróforos.

As camadas de nuvens de Vênus têm características de absorção espectral significativas não explicadas atualmente e que poderia ser causado por carotenóides, por exemplo. Além disso, recentemente tem havido alegações sobre a presença da molécula fosfina (PH_3), nas nuvens venusianas. Uma vez que não há consenso sobre a detecção dessas potenciais bioassinaturas (carotenóides e fosfina), fazer jus investigação para desenvolver estas controversas científicas (Westall *et al.*, 2023).

2.9.3 Potencial habitabilidade em luas geladas do Sistema Solar

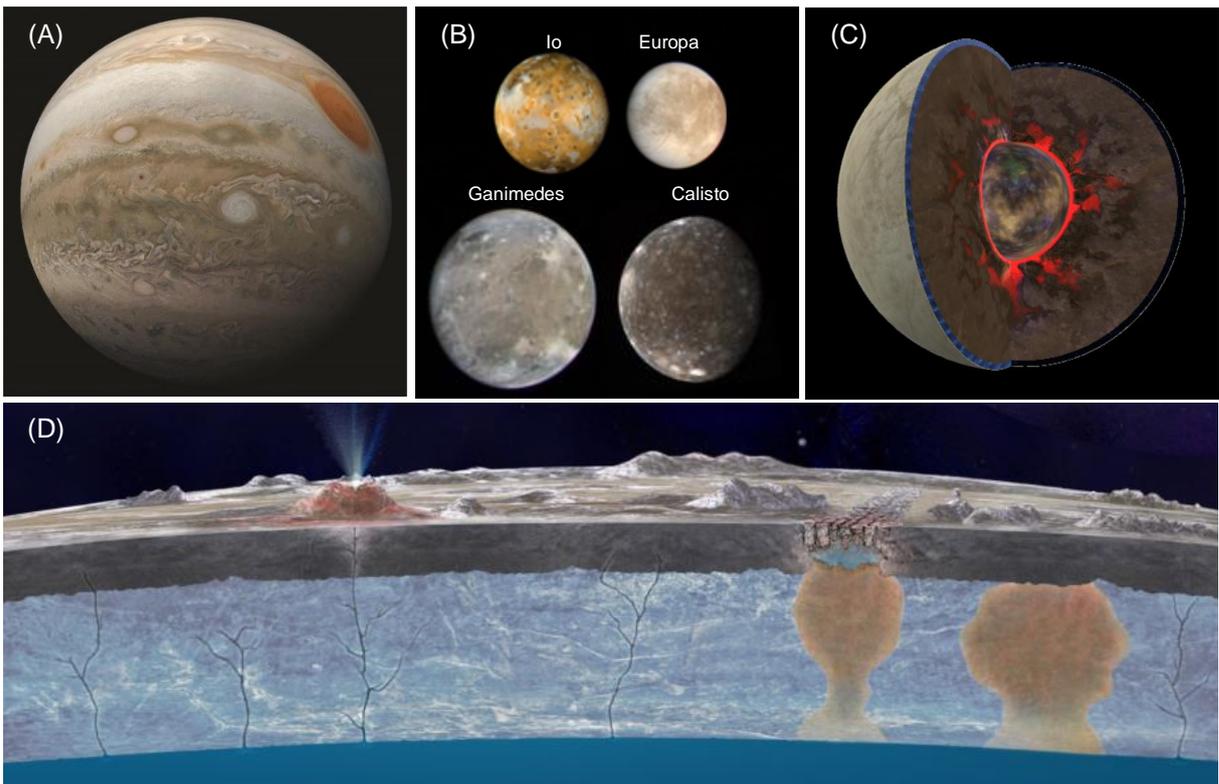
Segundo Mello (2016), Júpiter é o planeta de maior massa e maior raio do Sistema Solar, podendo ser observado a olho nu da superfície terrestre à noite. Dentre as suas luas conhecidas, as quatro maiores, em ordem crescente de distanciamento de Júpiter, são Io, Europa, Ganimedes e Calisto. No caso de Europa, não existe atmosfera, está completamente coberta de água congelada e abaixo de todo esse gelo poderia haver, água sob a forma líquida. A energia para manter essa água sob a forma líquida viria da interação gravitacional entre Júpiter e Europa, produzindo enormes forças de maré e liberando calor no interior a lua (Figura 2.37).

Segundo Russell, Murray e Hand (2017), mundos oceânicos coberto de gelo com núcleos rochosos, como a lua Europa, podem fornecer condições para o surgimento e manutenção da vida como a conhecemos (Figura 2.38).

Os cientistas consideram o Lago Vostok na Antártica um ambiente análogo ao da lua Europa, uma vez que é formado por um grande corpo de água mantida líquida pela atividade geotérmica e isolada da atmosfera há milhares de anos por

uma espessa camada de gelo de aproximadamente quatro quilômetros (Belisario, 2015).

Figura 2.37 – Luas geladas de Júpiter. (A) Imagem de Júpiter capturada pela espaçonave Juno em 2019. (B) Imagem das luas Io, Europa, Ganimedes e Calisto tiradas pela Voyager 1 em 1979. (C) Modelo da lua Europa, mostrando um oceano global de água líquida e salgada entre a crosta gelada (com espessura de aproximadamente 15 a 25 quilômetros) e o interior rochoso com núcleo composto de ferro. (D) Seção transversal da superfície da lua Europa. Os pesquisadores acreditam que a forte gravidade de Júpiter cria marés em Europa, mantendo o oceano em estado líquido, além de transferir parte do calor e partículas rochosas para superfície por convecção, podendo haver água ejetada de fissuras no gelo (plumas). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)

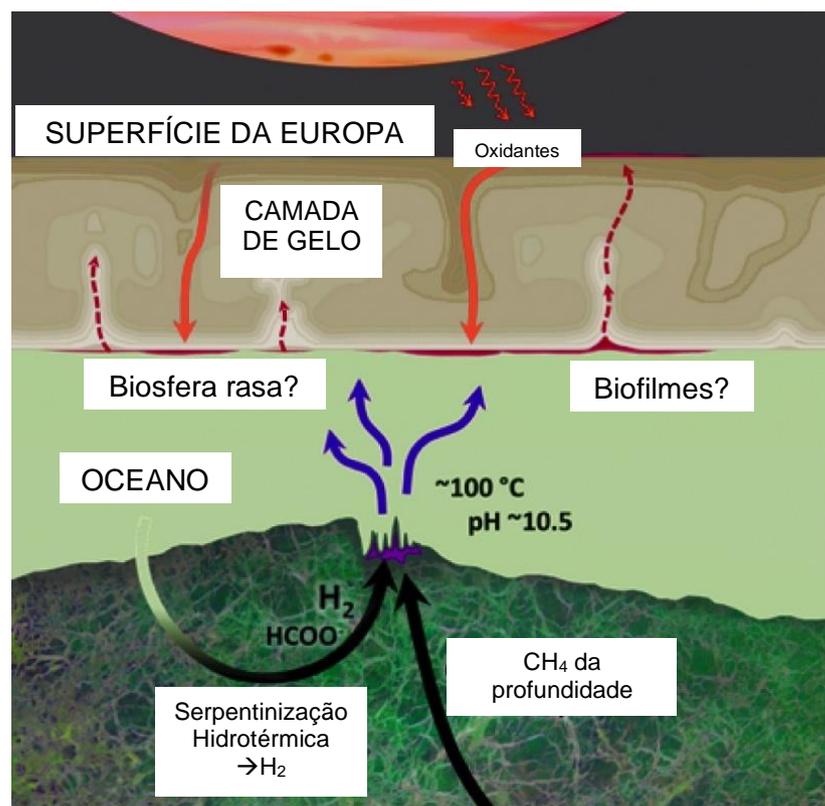


Fonte: NASA/JPL-Caltech. Disponíveis em (A) <<https://solarsystem.nasa.gov/planets/jupiter/overview/>>, (B) <<https://www.jpl.nasa.gov/images/pia00012-galilean-satellites>> e (C-D) <<https://europa.nasa.gov/why-europa/europa-up-close/>>, respectivamente. Acessos em 18 de maio de 2023.

Segundo Siegert *et al.* (2001) foram encontrados pequena quantidade de microrganismos no Lago Vostok, entre a água líquida e a camada de gelo superior, chamado gelo de acreção (Figura 2.39). Deste modo, pesquisa sobre microrganismos extremófilos antárticos, capazes de viver e prosperar, tolerando temperaturas próximas ao grau de congelamento, assim como baixos níveis de oxigênio, e de crescer na ausência de substrato orgânico, pode ajudar a entender a

possibilidade de vida microbiana na lua Europa, assim como em outras luas geladas do Sistema Solar, sobretudo Encélado, lua de Saturno (Mello, 2016).

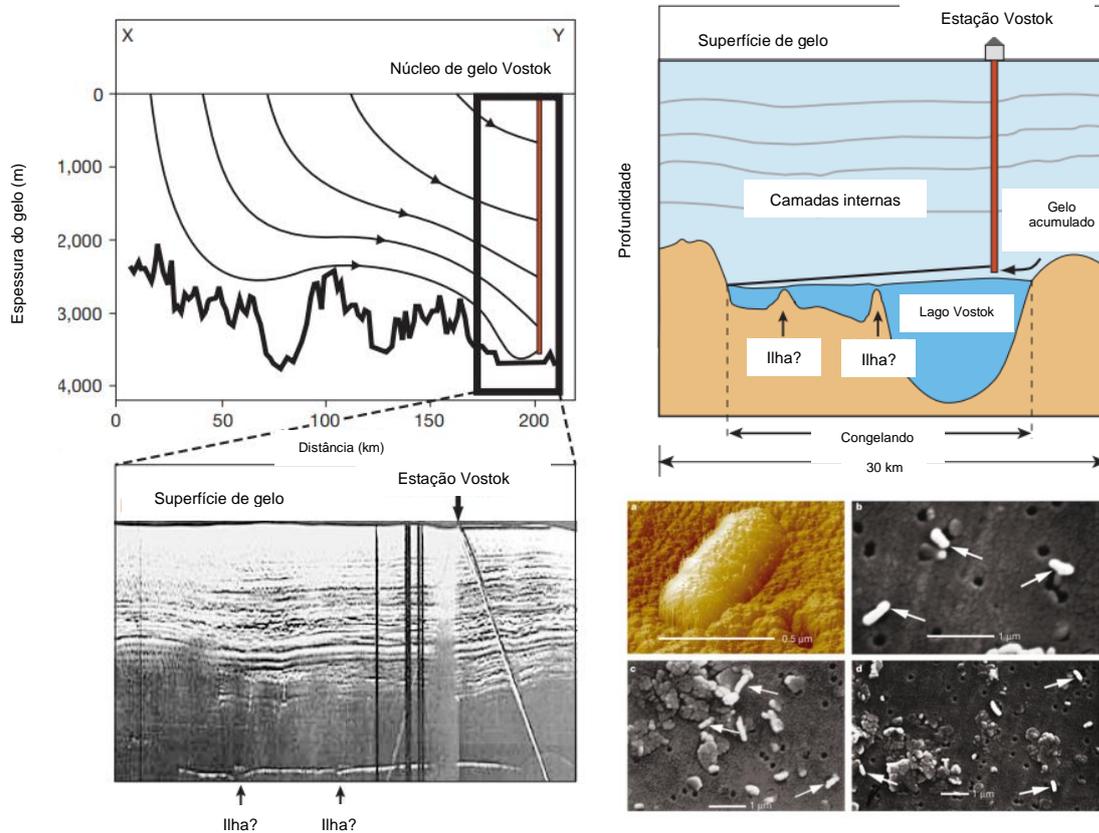
Figura 2.38 - Modelo para o surgimento de vida em um monte hidrotermal alcalino na lua Europa de Júpiter. Europa está sujeita à radiação superficial e às forças das marés, podendo atingir um estado dinâmico estável, onde reações de serpentinização (água-rocha) resultaria na produção de H_2 e formato ($HCOO^-$), os quais com o metano (CH_4) primitivo (abiótico) da profundidade dos fluidos hidrotermais poderiam ser arrastados por convecção para o oceano. Juntamente com o metano, os fluidos hidrotermais também poderiam ter lixiviadas entidades químicas, como monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3) e sulfeto de hidrogênio (H_2S), o que seria de esperar numa lua com um manto e crosta dominados por faiálita ($2FeO.SiO_2$), dando origem a vida como a conhecemos, a qual seria transportada para formar biofilme sob uma camada de gelo, dando origem a uma iniciante biosfera. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Russell, Murray e Hand (2017, p.1266), tradução nossa.

Neste contexto, para Merino *et al.* (2019), estudos sobre origem, evolução ou sobrevivência de microrganismos em corpos celestes são importantes para compreender quatro áreas: (1) o potencial para panspermia, (2) contaminação futura devido a empreendimentos de exploração humana, (3) colonização planetária por humanos e (4) a exploração de espécies extintas e vida existente.

Figura 2.39 - Lago Vostok, na Antártica. À esquerda, seções transversais do perfil da perfuração do Lago Vostok, mostrando o padrão de camadas internas. À direita, ilustração artística da perfuração e imagens de bactérias congeladas no gelo de acreção do Lago Vostok a uma profundidade de 3.590 m. Uma única bactéria em microscópio de força atômica. Ocorrência de bactérias em microscopia eletrônica de varredura (indicadas por setas). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Siegert *et al.* (2001), tradução nossa.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

Em linhas gerais, essa seção se dedica a discutir aspectos relativos à abordagem metodológica, sujeitos e contexto de pesquisa, intervenção pedagógica, instrumentos e procedimentos metodológicos de coleta e análise de dados. As fases da intervenção foram: 1) exposição geral do tema; 2) processo de concepção da exposição por meio de uma sequência didática com as modalidades didáticas debate, rodas de conversa, visitas guiadas a museus de ciência, composição de poema, observação de corpos celestes e oficinas; 3) processo de montagem da exposição por meio da representação gráfica; 4) avaliação da exposição por meio do encontro entre visitante e conjunto expositivo; 5) publicização da pesquisa realizada por meio de produtos educacionais.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A referida pesquisa trata-se de estudo exploratório, de abordagem qualitativa, complementado com abordagem quantitativa.

Por um lado, Gil (2009) classifica a pesquisa em exploratória quando o tema escolhido é pouco explorado e proporcionará visão geral, de tipo aproximativo. Por outro lado, para Minayo e Sanches (1993) a abordagem qualitativa tem o campo social, por exemplo, valores e opiniões, como um mundo de significados possível de investigação; enquanto abordagem quantitativa trabalha com descrição matemática, por exemplo, de dados e tendências observáveis, como uma questão de linguagem. Para os autores, as abordagens qualitativa e quantitativa são de natureza diferenciada, mas se complementam na compreensão da realidade social.

Por sua vez, Silva *et al.* (2022) destacam que a abordagem qualitativa de pesquisa se apresenta flexível, permitindo ao pesquisador imaginação e criatividade durante a condução da pesquisa, contribuindo no campo da educação.

3.2 SUJEITOS E CONTEXTO DE PESQUISA

A pesquisa tem como público-alvo 13 estudantes, de idade entre 16 e 31 anos (sete do gênero masculino), de uma turma do Curso Técnico em Química da Educação Profissional Integrada ao Ensino Médio (EPI) da unidade escolar Centro

Estadual de Educação Profissional (CEEP) em Saúde do Centro Baiano, localizada no município de Feira de Santana, Bahia (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Imagem do Centro Estadual de Educação Profissional (CEEP) em Saúde do Centro Baiano, 2024.



Fonte: Registrada pelos autores.

A razão em optarmos por esta turma e instituição envolve tanto a natureza do Mestrado Profissional, voltada para a formação de professor (autor da dissertação) em serviço, quanto por: 1) ter a turma explorado brevemente o tema Astrobiologia²⁶ na I Unidade do ano 2022; 2) o número de estudantes matriculados na turma, total 14; 3) as relações interativas observadas em sala de aula. De tal modo, esta intervenção pedagógica foi planejada pelo professor²⁷ da turma e autor desta pesquisa, e implementada principalmente na carga horária do componente curricular Projeto Experimental I²⁸.

Para cada sujeito da pesquisa foi entregue um diário de bordo para os registros durante esta pesquisa (Figura 3.2). Para Pezzato e L'abbate (2011), o diário de pesquisa são registros em seu contexto histórico-social, que mesmo se

²⁶ Cabe informar que o tema "Astrobiologia" se encontra no livro didático do componente curricular Biologia, na seção "Explorando o tema" (OGO; GODOY, 2016, p.42-43) (Anexo B), com ilustrações, infográficos e questões.

²⁷ Licenciado em Ciências Biológicas e efetivo na rede estadual com admissão em 2007.

²⁸ O componente curricular Projeto Experimental I é obrigatório na 2ª série do Curso Técnico em Química da Educação Profissional Integrada ao Ensino Médio Regular, com carga horária de 40 horas e a ementa aborda procedimentos metodológicos para elaboração de projetos. In: Superintendência da Educação Profissional e Tecnológica (SUPROT). Ementa - Técnico em Química 2018.2 (disponível em <<http://escolas.educacao.ba.gov.br/ementasep>>, acesso em 25 de outubro de 2022).

tratando de uma escrita fragmentada permite explorar a complexidade do tema em questão.

Figura 3.2 - Imagem ilustrativa do diário de bordo para os registros da pesquisa.



Fonte: Registrada pelos autores.

Gestão da unidade escolar, coordenadores e professores da turma alvo foram informados desta pesquisa na Jornada Pedagógica 2023 e nas Atividades Complementares (AC) os professores foram convidados a cooperar cedendo horas-aula quando necessárias.

Os estudantes tomaram conhecimento deste estudo no início do ano letivo 2023 e para participar fornecendo dados, assinou o termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A), assim como o termo de autorização para saída de estudante para ações externas a escola (Anexo C). Em caso de estudantes menores de 18 anos, estes termos foram assinados pelos pais ou responsável. Para manter o anonimato, os nomes dos estudantes foram substituídos por códigos alfanuméricos, formados pela letra “E” (de “estudante”), seguida de um numeral cardinal (E1, E2, E3...).

Cabe ressaltar que neste estudo os registros fotográficos foram formatados no efeito artístico desfoque utilizando ferramenta do *Word*, com o intuito de preservar a identidade dos participantes.

3.3 INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

Para Damiani *et al.* (2013) a intervenção pedagógica na área de educação é destinada a produzir avanços, melhorias, nos processos de aprendizagem dos sujeitos que delas participam.

Nesse sentido, foi produzida uma expografia como uma intervenção pedagógica com intensões educacionais e comunicacionais dentro da escola, para o ensino e aprendizagem do tema Astrobiologia, relacionando as dimensões epistêmica e pedagógica com os pressupostos Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a pedagogia de Paulo Freire (Almeida; Gehlen, 2019). Segundo Cury (2006) e Bauer (2014), a expografia é o processo de concepção, montagem e avaliação da exposição.

Para a expografia foi realizado inicialmente uma reaproximação do tema, seguida por sequência didática, escolha dos recursos exográficos e a materialização no encontro entre visitante e conjunto expositivo.

Na sequência didática foram realizadas as seguintes modalidades didáticas: debate, rodas de conversa, visitas a museus de ciência, composição de poema, observação de corpos celestes e oficinas. Para tanto, segundo Zabala (1998), na sequência didática as atividades, em sequência ordenada, adquirem personalidade diferencial segundo o modo como se organizam e articulam para a realização de certos objetivos educacionais. Para materialização da expografia foram concebidos os recursos expográficos e para finalizar, tornamos pública a pesquisa realizada por meio de produtos educacionais. Segundo Bordinhão, Valente e Simão (2017), a partir de orientações básicas e alguns recursos teóricos e metodológicos é possível construir uma exposição simples com poucos recursos.

A intervenção pedagógica foi realizada entre os meses de maio de 2023 e julho de 2024, sendo 40 horas-aula em sequência didática e 2 dias em exposição.

3.4 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

3.4.1. Debate

Estudo realizado em maio de 2023, em duas etapas: a coleta de textos de divulgação científica e a análise do discurso de um debate. Gomes-Santos (2009) definem o gênero debate no contexto escolar como uma alternativa de intervenção didática voltada para o ensino-aprendizagem de uma questão controversa, que se

baseia na discussão de argumentos, privilegiando mais à construção conjunta de um ponto de vista sobre um assunto do que as dimensões polêmicas do debate.

Adaptado do modelo de Mortimer *et al.* (2020), a turma foi dividida em três grupos para o debate sobre as possibilidades de existência de vida fora da Terra: o grupo I, integrado por seis estudantes, considera a existência de vida fora da Terra; o grupo II, integrado por quatro estudantes, não considera a existência de vida fora da Terra; o grupo III, integrado por três estudantes, não tem opinião formada. Cabe informar que a diferença no número de integrantes dos grupos se deveu à livre escolha na inserção em um grupo.

As atividades que antecederam o debate se deram na sala de informática da unidade escolar, com o uso do computador e acesso à internet para consulta de textos de divulgação científica em sites profissionais confiáveis e por conveniência. Segundo Massarani, Leal e Waltz (2020), veículos profissionais apresentam informações de política editorial, indicação de endereço físico, identificação dos autores dos textos e a citação de fontes para as informações. Por sua vez, Fioresi e Silva (2022) tomam a Divulgação Científica como parte de um processo amplo de produção e manutenção dos conhecimentos científicos em diferentes textualizações, em movimentos bidirecionais entre ciência e público.

Para aprofundamento temático os grupos I e II levantaram informações e argumentos sobre a temática escolhida para defender suas respectivas posições, enquanto o grupo III levantou informações e argumentos sobre ambas temáticas e produziu questões para que possa tomar decisões de forma convincente e crítica sobre o debate. Este último grupo atuou como mediador do debate, controlando o tempo de fala e a sequência da atividade, facilitando as trocas entre os debatedores (grupo I e grupo II) e tentando eventualmente arbitrar os conflitos, em vista de construir uma resposta comum à questão controversa inicial. O professor assumiu no debate o papel particular de auditório. Cabe ressaltar que os dados obtidos foram registrados individualmente pelos estudantes em diário de bordo e este procedimento teve duração de seis aulas, distribuídas em três horas-aula semanais, com duração de 50 minutos cada.

Entre o término do levantamento de informações e argumentos e o debate propriamente dito houve o prazo de uma semana. O debate aconteceu na sala de aula de forma ética e respeitosa, com duração de quatro horas-aula ininterruptas,

conforme acordado com os demais professores da turma em questão. As cadeiras foram organizadas, de tal forma que os grupos, ainda que separados, possam se ver ao mesmo tempo sem impedimentos.

O desenvolvimento do debate compreendeu três momentos: 1) Defesa das ideias do grupo que inicia a fala (com 5 a 10 minutos de duração); 2) Réplica do grupo com posição contrária (5 a 10 minutos); e tréplica do grupo que iniciou a fala (3 a 5 minutos). Este ciclo de três momentos se repetiu até que os diversos dados e argumentos preparados por cada grupo tenham sido compartilhados. O grupo III permaneceu atento às colocações divergentes e fez suas anotações.

Após o debate, o grupo III se reuniu em um espaço reservado na biblioteca e analisou os argumentos dos dois primeiros grupos para fazer uma discussão entre elas para ponderar e tomar uma decisão sobre as ideias divergentes no debate. A posição assumida pelo grupo III foi redigida em um texto escrito, justificando a escolha com base nos argumentos e estratégias de convencimentos trazidos pelos grupos I e II e lida por um dos membros do grupo III para toda a turma, esse processo teve duração de uma hora-aula.

O debate foi gravado em áudio através de *smartphone*, cujos dados foram transcritos, analisados e editados pelos autores para torna-los mais concisos, sendo dispensada qualquer identificação de nome.

Após o debate realizou-se a análise do discurso dos dados reunidos. Dentre as diversas linhas de Análise de Discurso (Medeiros; Amorim, 2017), nos esforçamos para imprimir a perspectiva de Orlandi (2015), que visa à compreensão de como um objeto sócio-histórico (enunciado, texto, pintura, música etc.) produz sentidos. Baseando-se na pergunta desse estudo e diante do *corpus*, formulamos as seguintes categorias de análises: (i) tema, observando quais conteúdos relacionados à temática astrobiológica mais apareceram entre esses discursos; (ii) posicionamento, analisando se eles são pró ou contra sobre a ideia de vida fora da Terra; (iii) veracidade, analisando se os discursos trazem informações comprovadas ou se trata de informação falsa; (iv) tipo de veículo, de modo a identificar quem são os emissores dos textos de divulgação científica.

3.4.2 Rodas de conversa

Estudo realizado em junho e julho de 2023, em três momentos. Para Moura e Lima (2014), a roda de conversa pressupõe um exercício de escuta e fala acerca de determinada temática, na perspectiva de construção e reconstrução de novos conhecimentos, não é algo novo, mas a ousadia é emprega-la para a pesquisa.

Participaram das rodas estudantes, professor e convidado. A primeira roda de conversa versou sobre o tema “Astrobiologia: vida no Universo” e o convidado foi um professor e astrofísico, a segunda sobre “Divulgação científica da Astrobiologia nos museus de ciência” e a convidada foi uma professora e astrônoma, e a terceira “Futuro da vida na Terra e no Universo” e o convidado foi um professor e astrônomo. Todos convidados atuam em unidades públicas local (universidade, observatório astronômico e museu). Cabe informar que a segunda roda aconteceu no Auditório do Observatório Astronômico Antares da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), em horário de aula, sendo o deslocamento custeado pelo pesquisador.

Quinze dias antes do início de cada roda foi feito o convite, com apresentação do tema, dos objetivos, número de participantes e do tempo estimado. E, para que todos falassem e não perder o sentido ao longo da roda, as perguntas trabalhadas foram definidas pelos estudantes em encontro (uma hora-aula) anterior as rodas propriamente dita. Cada estudante elaborou três perguntas, após uma breve apresentação do tema por meio de projeção de infográfico, ver Anexos D, E e F, sendo apenas uma delas escolhida por ele para a roda, sendo facultada a reformulação.

Adaptado do modelo de Nascimento e Baduy (2021), as rodas tiveram duração de duas horas-aula cada e foi conduzida pelo facilitador, ou seja, o professor da unidade escolar, sem perder a dinâmica de um bate-papo. Para o desenvolvimento das rodas, as cadeiras foram organizadas em roda, de tal forma que todos participantes poderiam se ver ao mesmo tempo, favorecendo o diálogo e, tanto o tempo de fala (3 a 5 minutos) quanto o de escuta (5 a 10 minutos) foram previamente definidos para evitar o tumulto causado por muitos participantes falando ao mesmo tempo. A roda foi iniciada pelo facilitador com uma breve apresentação do convidado a partir do seu Currículo Lattes.

A análise de dados fundamentou-se na Análise de Conteúdo desenvolvida por Bardin (2020), a partir de três fases: 1) Pré-análise; 2) Exploração do material; 3) Tratamento dos resultados obtidos e interpretação. Bardin (2020, p. 33) define Análise de Conteúdo como: “[...] um conjunto de técnicas de análise das comunicações”. Vale salientar que, nas rodas de conversa, fez-se presente as categorias a posteriori, isto é, formada após um tratamento e sistematização de frases e palavras.

Assim, cada roda de conversa caracterizou um texto, e o conjunto desses textos constituiu o *corpus* de análise. O Quadro 3.1 sintetiza os instrumentos que compuseram o *corpus* da pesquisa.

Quadro 3.1 - Instrumentos que compõem o *corpus* da pesquisa sobre rodas de conversa.

Instrumento	Código	Descrição
Registro escrito	Estudante (indicamos o nome com o termo Estudante seguido de número)	Recolhido nos diários de bordo dos estudantes.
Registro oral	Facilitador, estudante e convidado.	Recolhido a partir das gravações realizadas com os diálogos dos participantes da roda de conversa.
Registro reflexivo	Facilitador, estudante e convidado.	Solicitado aos participantes depois do término da roda de conversa.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4.3 Visitas guiadas a museus de ciência

Estudo realizado em maio e junho de 2023, em três museus, dois museus no município de Salvador, Bahia – Museu Interativo de Ciência e Tecnologia Estação Ciência do Serviço Social da Indústria (SESI)²⁹ (sendo esse de propriedade privada) e Museu Geológico da Bahia (MGB)³⁰ - e um museu no município de Feira de Santana, Bahia - Museu Antares de Ciência e Tecnologia (MACT)³¹. Para Wagensberg (2001) um museu de ciências é um espaço dedicado a criar, no visitante, estímulos por meio da interatividade manual, mental e/ou cultural, em prol do conhecimento e dos métodos científicos e dessa maneira promover a opinião científica junto dos cidadãos.

²⁹ Disponível em <https://www.sesicasabranca.com.br/estacao_ciencia> e/ou <<https://matterport.com/discover/space/MQmcFbD6YLo>>, acessos em 06 de agosto de 2023. Nota: oferece serviço de entrada gratuita a estudantes da rede pública.

³⁰ Disponível em <<http://www.mgb.ba.gov.br/>>, acesso em 06 de agosto de 2023.

³¹ Disponível em <<http://www.antares.uefs.br/>>, acesso em 06 de agosto de 2023.

Adaptado de investigação realizada por Massarani *et al.* (2019), cada visita³² foi guiada e durou, em média aproximadamente duas horas-aula³³. Após cada visita, em uma hora-aula, os estudantes responderam em diário de bordo os questionários 1, 2 e 3 (Apêndice B), ao final da primeira visita ao museu e os questionários 2 e 3, ao final das demais visita.

O questionário 1 compreendia às seguintes questões abertas: Já havia visitado algum museu anteriormente? Em caso afirmativo, qual(is)? Para as respostas, foram calculadas as porcentagens.

O questionário 2 foi elaborado com às seguintes questões abertas: No âmbito deste estudo, na sua opinião, as exposições do museu visitado abordaram a temática da Astrobiologia? Em caso afirmativo, qual(is)? Para a análise dos dados coletados, foi utilizada a técnica do Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) (Lefevre; Lefevre; Marques, 2009), na qual as opiniões dos estudantes coletados por meio das questões abertas do questionário 2, denominadas de matéria-prima, foram metodologicamente tratadas, selecionando as expressões chaves das respostas individuais e identificando a ou as ideias centrais (manifestas) e/ou ancoragens (latentes) correspondentes, com vistas à constituir o discurso do sujeito coletivo, redigido na primeira pessoa do singular. Os autores afirmam que o DSC pode ser visto como um conjunto de artifícios destinados a permitir que o pensamento coletivo se autoexpresse ou se auto-organize trazendo as representações sociais.

O questionário 3 foi elaborado na forma de escala de Likert de cinco pontos (1 - Discordo totalmente; 2 – Discordo; 3 – Sem condições de opinar; 4 – Concordo; 5 – Concordo totalmente), com 4 itens e as dimensões que o compõe foram: aprendizagens no museu e na escola; mediação e aprendizagem em museu; temáticas museais e cotidiano; exposições escolares. Segundo Dalmoro e Vieira (2013) pesquisadores da área de educação têm se valido do uso da escala de Likert de cinco pontos, pois que com um ponto neutro no meio da escala, oferece nível de confiabilidade adequado e se ajusta aos respondentes com diferentes níveis de habilidades. Os autores afirmam, ainda que essa escala é amplamente utilizada pela capacidade de expressar a opinião do entrevistado.

³² A Superintendência da Educação Profissional e Tecnológica (SUPROT) da Secretaria da Educação do Estado da Bahia viabilizou transporte e a unidade escolar alimentação para as visitas técnicas.

³³ Cabe destacar aqui que visitas preliminares foram realizadas sem a presença estudantes.

A confiabilidade da escala Likert foi avaliada utilizando o coeficiente de alfa (α) de Cronbach, calculado no *Software IBM® SPSS Statistics* versão 29.0.1.0(171). Segundo Gliem e Gliem (2003) o coeficiente de confiabilidade alfa de Cronbach normalmente varia entre 0 e 1, quanto mais próximo o coeficiente estiver de 1,0 maior a consistência interna dos itens da escala. Para Hora, Monteiro e Arica (2010), acha-se na literatura o valor de 0,70 como mínimo aceitável. Segundo Matthiensen (2010) o coeficiente alfa de Cronbach é calculado, pela equação:

$$\alpha = \left[\frac{k}{k - 1} \right] \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right]$$

onde:

k corresponde ao número de itens (perguntas) do questionário;

S_i^2 corresponde à variância de cada item;

S_t^2 corresponde à variância total do questionário (soma das variâncias dos avaliadores).

3.4.4 Composição de poema

Estudo realizado em setembro de 2023, em três etapas: 1) como atividade inspiradora foi solicitado aos estudantes que quando tiverem um tempo, saiam e admire o Universo, sendo melhor à noite (é importante encontrar um local seguro); 2) ainda no espaço extraescolar, produzir um poema de forma livre, sem padrão definido, que atendesse ao tema “Universo, vida fora da Terra e viagens espaciais”; 3) no espaço escolar os poemas foram declamados e serviu de fonte de consulta para a produção de uma obra coletiva original, utilizando as mais diversas técnicas artísticas e papel A4, caneta e lápis de cor - durou duas horas-aula. Cabe acrescentar que os estilos poéticos são muito variados, mas aqui o que nos atrai é a capacidade de síntese de um pensamento, sentimento ou vivência do estudante (inspirado em “*PROJECT Write a Poem About Space, NASA/JPL-Education*”³⁴).

Neste estudo, cada poema caracterizou um texto, e o conjunto desses textos constituiu o *corpus* de análise. Para o processamento de dados utilizou-se a

³⁴ Disponível em <<https://www.jpl.nasa.gov/edu/learn/project/write-a-poem-about-space/>>, acesso em 02 de setembro de 2023. Projeto “Escreva um poema sobre o espaço”, em tradução livre.

ferramenta *Word Art* para a construção das nuvens de palavras. Dessa forma, as palavras foram agrupadas e organizadas graficamente de acordo com a sua frequência nos poemas, o que possibilita facilmente a sua identificação, a partir de um único arquivo. Já a análise de dados fundamentou-se na Análise de Conteúdo desenvolvida por Bardin (2020), com as categorias definidas a posteriori.

3.4.5 Observação de corpos celestes

Ocorreu uma prática de observação do céu no pátio da unidade escolar em novembro de 2023, iniciando as 19 horas e com duração de três horas-aula, sob orientação de um professor e astofotógrafo de uma universidade pública local, convidado quinze dias antes da prática, com apresentação dos objetivos, número de participantes e do tempo estimado.

Nessa prática, por meio de telescópio modelo Astro-Tech AT72ED e do *software* livre de astronomia *Stellarium* instalado em um *notebook* conectado à *internet*, gestoras, professores, estudantes, merendeira e zelador observaram os alvos astrobiológicos Júpiter e suas luas e Saturno e seus anéis; na oportunidade também foi observada a Lua. Convém mencionar que a prática de observação do céu foi inspirada em Bretones e Compiani (2010) e que não foi precisa ao ponto de determinar características físico-químicas dos ambientes fora da Terra ou inferir sobre formas de vida.

Para coleta de dados, foi utilizada a observação participante com registro fotográfico e em diário de bordo das falas espontâneas dos participantes. Para Gil (2009) na observação participante se chega ao conhecimento de vida de um grupo a partir do interior dele mesmo, com o uso dos sentidos. Para a análise dos dados coletados, foi utilizada a técnica do Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) (Lefevre; Lefevre; Marques, 2009).

3.4.6 Oficinas

Duas oficinas para transposição de um modelo científico para um modelo didático da possível existência de vida na lua Europa de Júpiter foram realizadas em junho de 2024 e durou três horas-aula cada, utilizando Silva e Catelli (2019) como

referencial teórico da noção de modelo na ciência. Para Silva e Catelli (2019) os modelos na ciência, aceitos por uma comunidade de cientistas, são estruturas concretas ou abstratas que visam de alguma forma representar diferentes aspectos de uma determinada realidade, coisa, fato ou fenômeno, onde as explicações e previsões geradas são no máximo aproximativas e em certos casos, apenas especulativas.

A versão do modelo didático foi montada em sala de aula, usando pranchas com figuras (Anexo G) como estímulo eliciador (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Instantâneos dos materiais utilizados para a montagem do modelo de como a vida poderia ter surgido em uma fonte hidrotermal submarina. Vaso tubo de vidro cilíndrico 14x25cm; bomba submersa para aquário; substrato para aquário pedra basalto; bucha vegetal; missangas cor branca (5mm), preto (6mm), vermelho (6mm), azul (6mm), amarelo (8mm), purpura (8mm) e prata (14mm); fio de nylon 0,20mm; e tesoura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para coleta de dados, foi utilizada a observação participante com registro em diário de bordo e fotográfico, e o questionário (Gil, 2009). Os dados foram analisados tanto qualitativamente na perspectiva de Análise de Discurso de Orlandi (2015), quanto quantitativamente utilizando o Coeficiente de alfa (α) de Cronbach (Matthiensen, 2010). Diante do *corpus* desse estudo, formulamos a seguinte categoria de análise: modelo didático, analisando se os discursos trazem informações que apoiam a origem da vida na Terra em ambientes considerados análogos a lua Europa de Júpiter.

Ao final da montagem os estudantes responderam a um questionário (Apêndice C) na forma de escala de Likert de cinco pontos e as dimensões que o compõe foram adaptadas de Amador e Mandetta (2022): objetivo, estrutura, apresentação e relevância do modelo proposto.

3.4.7 Representação gráfica

A produção de materiais para expografia foi com base em Bordinhão, Valente e Simão (2017). Na proposta dos autores citados, existe uma diversidade de suportes e seu uso criativo pode ser muitas vezes de baixo custo.

A equipe trabalhou de maneira afinada em junho e julho de 2024, seja presencial nas aulas do componente Projeto Experimental II ou através de um grupo de *WhatsApp*, nas seleções das ideias, imagens e suportes, ver Figura 3.4.

Figura 3.4 - Instantâneos de materiais utilizados para a expografia. Tela multiuso revestida Pvc 2,0x5,0m cor branco; papel cartão 48x66cm cor preto; prendedores de papel; papel adesivo; *paper craft* Terra³⁵.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4.8 Extroversão

A extroversão, momento em que a comunidade escolar visita a expografia, lê as narrativas e interpreta os elementos, ocorreu nos dias 15 e 16 de julho de 2024 no espaço de convivência da unidade escolar, no período diurno, iniciando às 7 horas e encerrando às 18 horas (Apêndice D). Para Bauer (2014, p.27) é importante “[...] não sobrecarregar o visitante com grandes doses de mensagem, que podem, muitas vezes, impossibilitar a fruição livre do discurso que a exposição pretende transmitir”. Deste modo, para completar o conteúdo dos textos foi inserido código de barras em 2D (*QR Code*).

Para coleta de dados, foi utilizada a observação participante (Gil, 2009), no período do recreio escolar (20 minutos), para investigação das motivações, interesses, expectativas, opiniões, reclamações e necessidades do público visitante. Para analisar os dados gerados utilizamos a perspectiva de Análise de Discurso de Orlandi (2015), e diante do *corpus* formulamos a categoria interações.

³⁵ *Paper craft do Planetarium Recklinghausen*, disponível em <https://infinite.com.br/images/guideatividades/erde_mond.pdf>, acesso em 08 de julho de 2024.

3.4.9 Apresentação de trabalho científico em eventos

Em setembro de 2023 foi realizado a seleção de três estudantes para elaboração de relatório de pesquisa da visita guiada ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia e submissão em outubro de 2023 ao Edital 00075549758 da Secretaria da Educação do Estado da Bahia, para participação na 11ª Feira de Ciências, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia (FECIBA). O número de estudantes foi definido pelo citado Edital e o critério de seleção constituiu em ter vivenciado a visita ao museu e o escore de notas obtidas através do Sistema Integrado de Gestão da Educação, Calendário Escolar 2023. São objetivos da 11ª FECIBA:

2.1.1 Promover a popularização das ciências por meio da apresentação de projetos de investigação científica, desenvolvidos por estudantes e orientados/as por professores/as da rede estadual de ensino da Bahia; 2.1.2 Socializar ideias e experiências que despertem o interesse científico, crítico e criativo para desenvolvimento sustentável e consciente nos estudantes da rede estadual de ensino da Bahia que ainda não tenham vivenciado a pesquisa científica; 2.1.3 Demonstrar que a produção científica na Educação Básica possibilita o protagonismo estudantil na perspectiva do empreendedorismo social e inovação, ao propor soluções para os problemas da sociedade que possa fortalecer os territórios de identidade com suas vocações e arranjos produtivos; 2.1.4 Incentivar a socialização de conhecimentos para fortalecer a iniciação científica do currículo da educação básica em diálogo com as demandas territoriais (Bahia, 2023).

Para a produção do relatório de pesquisa foram necessárias três horas-aula no contraturno escolar, com a participação dos 3 estudantes selecionados (candidatou-se cinco estudantes).

Em fevereiro de 2024 a pesquisa da visita guiada ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia foi submetida ao evento MILSET Brasil 2024 vinculada à *Mouvement International pour le Loisir Scientifique Et Technique* - uma organização que visa desenvolver a cultura científica entre jovens através de programas de ciência e tecnologia.

3.4.10 Produtos Educacionais

Para a construção dos *e-books* foram utilizados arquivos pessoais, *notebook* com acesso à internet e a ferramenta de *design* gráfico Canva, com contribuição do ensaio de Silva *et al.* (2020), sobre elaboração de livros digitais.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DEBATE

Participaram do debate os 13 estudantes sujeitos da pesquisa.

Entre os 21 textos de divulgação científica acessados pelos estudantes, três foram excluídos pela duplicidade e quatro foram excluídos por não terem a mesma confiabilidade. Portanto, a amostra válida constitui em 14 textos de divulgação científica. Entre os veículos de divulgação científica, estão três portais (g1, Terra e UOL); cinco revistas (Aventuras na História, Exame, National Geographic, Superinteressante e Veja); dois jornais (Correio Braziliense e El País) e duas agências de notícias (BBC News Brasil e CNN Brasil).

Sobre os temas nos textos estudados, há diferentes enquadramentos para o estudo da vida no Universo. De modo arbitrário, 11 desses textos, publicados entre 2018 e 2023, versaram sobre a ideia de que existiu ou que ainda exista vida microbiana no planeta Marte e/ou no planeta Vênus; que exista vida microbiana nas luas geladas do Sistema Solar (Titã e Encélado do planeta Saturno e/ou Europa do planeta Júpiter) e/ou que exista vida microbiana em exoplanetas (semelhantes com a Terra). Em dois dos textos estudados, publicados em 2016 e 2020, a busca por vida inteligente e/ou civilizações fora da Terra é apresentado como uma probabilidade. Por outro lado, para um dos textos estudados, publicado em 2020, o acaso astronômico pode ter sido crucial para nossa existência na Terra, não sendo observadas em outros lugares. O Apêndice E traz as informações sobre o material analisado pelos estudantes.

No campo dos interesses políticos e econômicos, os textos levantados apresentaram que em 1993, o Congresso dos Estados Unidos devido às pressões orçamentárias encerrou apoio a projetos voltados para a busca por vida extraterrestre inteligente, uma vez que não havia encontrado nenhuma evidência. Nesse escopo, incluíram utilizar os primeiros organismos que surgiram em nosso planeta, ou seja, os microrganismos como modelo para entender uma possível vida extraterrestre, e o interesse crescente da comunidade neste tema mantém ativo financiamentos público e privado. Além disso, temos os impactos sociais e cultural da busca de vida extraterrestre em especial nas obras de ficção científica sobre o planeta Marte. “A vida extraterrestre se tornou um fenômeno cultural em nossa

sociedade, atraindo enorme interesse da população mundial” (Rodrigues; Galante; Avellar, 2016, p.28).

No campo dos interesses políticos e econômicos, os textos levantados apresentaram que em 1993, o Congresso dos Estados Unidos devido às pressões orçamentárias encerrou apoio a projetos voltados para a busca por vida extraterrestre inteligente, uma vez que não havia encontrado nenhuma evidência. Nesse escopo, incluíram utilizar os primeiros organismos que surgiram em nosso planeta, ou seja, os microrganismos, como modelo para entender uma possível vida extraterrestre, e o interesse crescente da comunidade neste tema mantém ativo financiamentos público e privado. Além disso, temos os impactos sociais e cultural da busca de vida extraterrestre em especial nas obras de ficção científica sobre o planeta Marte. “A vida extraterrestre se tornou um fenômeno cultural em nossa sociedade, atraindo enorme interesse da população mundial” (Rodrigues; Galante; Avellar, 2016, p.28).

Em relação à veracidade das informações transmitidas pelos 14 textos da amostra, tem havido alegações controversas sobre um meteorito marciano que parecia conter micro fósseis e sobre a presença da molécula fosfina, uma bioassinatura na Terra, nas nuvens venusianas. Nestes contextos, questiona-se a estratégia de ação da divulgação científica. Para Mansur *et al.* (2021) para tornar o conhecimento científico mais acessível faz-se necessário enfrentar o dilema entre falar sob o risco de uma má interpretação e de não falar e deixar de aproveitar a oportunidade de fortalecer os laços entre a ciência e os cidadãos.

Em relação ao posicionamento, seis estudantes argumentaram a favor da existência de vida fora da Terra (46,15%) e quatro argumentaram contra (30,77%). Três deles foram classificados inicialmente como sem opinião formada (23,08%) sobre a controvérsia. Segundo Lima (2017) em todos os campos nos quais há controvérsia, recorre-se à argumentação para se chegar a um acordo sobre uma diferença de valores e sua aplicação.

Outra dimensão do estudo refere-se ao debate em sala de aula (Figura 4.1). Deste modo, o grupo III explicitou que o debate sobre se há vida fora da Terra era relevante, polêmico e que não tinha opinião formada. Explicou ainda as regras para o bom andamento da mediação e em seguida fez o sorteio de qual grupo iniciaria a

1ª rodada. Além disso, esse mesmo grupo reiterou que o debate se trata das formas de vida que conhecemos.

Figura 4.1 - Imagens ilustrativas do debate sobre a possibilidade da existência de vida fora da Terra, realizado por estudantes do 2º ano matutino do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio de uma escola pública, no município de Feira de Santana, Bahia, 2023.



Fonte: Registrada pelos autores.

1ª rodada

Após um sorteio, o grupo I inicia o debate com a defesa da seguinte ideia:

Consideramos a existência de vida fora da Terra, pois a lua de Júpiter chamada Europa possui gelo que se renova nos estados líquido, sólido e gasoso para ter vida.

O grupo II discorda e argumenta:

O fato de ter água não é suficiente para ter vida, existem outras condições necessárias, podemos citar fonte de energia, atmosfera, inclinação para que ocorram as estações e barreira de asteroides.

O grupo I apresenta sua réplica para sustentar a ideia inicial:

O gelo da Europa pode conservar microrganismos e na Terra existem microrganismos em geleiras vivendo em condições extremas.

Nessa rodada, a sustentação em defesa da existência de vida fora da Terra é feita a partir de um esquema argumentativo de analogia, no qual o grupo I trata de convencer o grupo III de que, provavelmente, a existência de água líquida abaixo de todo o gelo que cobre a lua de Júpiter, chamada Europa, pode de modo semelhante ao que ocorre no oceano Ártico da Terra, onde a água permanece líquida abaixo do gelo, ser encontrados microrganismos adaptados ao frio. Segundo Christner *et al.* (2001) do Lago Vostok, o maior lago subglacial da Antártida e um dos ambientes mais extremos da Terra, foram isoladas bactérias de uma amostra resultante do ciclo de degelo e recongelamento da camada líquida inferior que se originou 3.593 m abaixo da superfície.

2ª rodada

O grupo II inicia defendendo a seguinte ideia:

Não consideramos a existência de vida fora da Terra, pois ela teve sorte de orbitar ao redor de uma estrela estável, numa zona habitável e como não há uma estrela estável como a nossa não há vida fora da Terra.

O grupo I discorda e argumenta:

Existem outras galáxias a serem estudadas. Nosso planeta está se desenvolvendo, a Terra pode ter ficado próxima do Sol e se distanciado. Os microrganismos estão sempre em desenvolvimento e podem suportar épocas diferentes. Não é necessário sair do Sistema Solar para encontrar vida. Marte já foi parecido com a Terra. Meteorito encontrado com estrutura parecida com microrganismos.

O grupo II apresenta sua réplica para sustentar a ideia inicial:

Sol grande se extingue rápido. Temperatura tem que está estável, se não a vida não se desenvolve. Tem que ter fatores necessários para ter célula e se a célula não existe não evolui. Algumas coisas impossibilitam ter vida em Marte, as mudanças

na temperatura, à pressão para manter a atmosfera que protege a vida.

Nessa 2ª rodada, o argumento de defesa do grupo II, para convencer o grupo III da ideia de que não há vida fora da Terra, está relacionado à falta de um sistema planetário que preservou uma arquitetura semelhante como a nossa. Segundo Spina *et al.* (2021) os sistemas planetários passam por caminhos evolutivos muito dinâmicos que modificam criticamente as suas arquiteturas, ao contrário do nosso “calmo” Sistema Solar.

3ª rodada

O grupo I defende a seguinte ideia:

Consideramos a existência de vida fora da Terra, pois tardígrados resistem ao extremo do vácuo e no fundo do mar a luz não alcança e tem organismos.

O grupo II discorda e argumenta:

Tardígrado suporta extremo por ter evoluído e organismos com mutação chegaram ao fundo do mar, não surgiram lá.

O grupo I apresenta sua réplica para sustentar a ideia inicial:

No início da Terra as condições eram mais extremas e tinha vida.

Ainda que as informações iniciais do grupo I não são referendadas na amostra dos 14 textos, valendo-se de um argumento baseado na analogia, o grupo I compara o tardígrado a seres extraterrestres, buscando caracterizar a possibilidade de vida fora da Terra. Outro argumento usado pelo grupo I para sustentar a existência de vida fora da Terra e convencer o grupo III, tem como eixo a relação entre a manutenção e expansão da vida mesmo sob a diversidade de situações geofísicas e geológicas que se deram na Terra, nos levando a ampliar o horizonte sobre a probabilidade de vida no contexto planetário e astronômico. Para Damineli e Damineli (2007) outros astros em diversos estágios de formação iguais às que a

Terra passou, também teriam chance de estabelecer a vida que conhecemos e alguns cientistas preferem acreditar que ela tenha aportado aqui já pronta.

4ª rodada

O grupo II argumenta a favor da não existência de vida fora da Terra:

Júpiter defende a Terra de asteroides e outros corpos que vem do espaço evitando a extinção de vida na Terra. A Terra é ativa, tem campo magnético que protege das erupções solares. A velocidade de rotação protege a gente. A Lua reduz a oscilação a Terra, colaborando no desenvolvimento da vida. Outros planetas não têm as condições da Terra. Condições únicas todas de uma vez aqui e cruciais: inclinação, barreira, tamanho do Sol, distância, água, campo magnético, ciclo do carbono. Teia chocou com a Terra colaborando com a rotação.

O grupo I discorda e argumenta:

No Sistema Solar também tem outros planetas. Por ano a Terra aumenta a velocidade de rotação. Antes as condições eram catastróficas e tinha vida, então como dizer que tem que ter as condições atuais para ter vida?

O grupo II apresenta sua réplica para sustentar a ideia inicial:

Bactérias sobreviveram na Terra às mudanças gradativas que deram condições para evolução, mas não sobreviveriam às mudanças em outros lugares com variações rápidas, precisam de tempo para evoluir.

O grupo II aponta condições essenciais para a habitabilidade na Terra atual, tais como a presença de campo magnético, a presença de escudos naturais, a presença de água e, especula que até o momento não há outro planeta que apresente essas condições, de tal modo afirma, para convencer o grupo III, que não haveria vida fora da Terra. O grupo I faz uma pergunta ao grupo II que coloca em

xeque essa afirmação, na qual trata de convencer o grupo III de que a vida na Terra se manteve sob a ação de catástrofes. Para Damineli e Damineli (2007) a vida que apareceu na Terra logo no início, manteve-se em expansão mesmo sob a ação de catástrofes globais como vulcanismo, congelamento e queda de grandes meteoritos e parece ter altíssima probabilidade de existir fora da Terra.

5ª rodada

O grupo I defende a seguinte ideia para considerar a existência de vida fora da Terra:

Atividade microbiana em Vênus produzindo fosfina, uma bioassinatura de micróbios dos animais.

O grupo II discorda e argumenta:

Temperatura em Vênus derrete o chumbo. A assinatura poderia ter sido levada a partir da Terra. As condições de Vênus seriam impróprias para a vida, tem gases nocivos.

O grupo I apresenta sua réplica para sustentar a ideia inicial:

Não se deve focar só no Sistema Solar, podem existir em outras galáxias, com outros planetas, outros microrganismos. Existem bilhões de anos para existir vida na Terra, pode ter vida dentro da camada e para cima. Vênus pode ter uma bioassinatura de um microrganismo de lá, só estamos pensando em vida igual a nossa que precisa de outras condições. Chernobyl tem micróbio que resiste a radiação.

Na última rodada, o grupo I considera a existência de vida fora da Terra e argumenta de que a fosfina é uma bioassinatura microbiana em Vênus. O grupo II para refutar essa ideia, avalia que se trata de um equívoco. Segundo Seager *et al.* (2021) embora ainda não haja consenso sobre a detecção de fosfina na atmosfera de Vênus, sua descoberta potencial deu início a muitos esforços, incluindo uma missão para procurar vida nas nuvens de Vênus. Para Westall *et al.* (2023), atualmente a temperatura média da superfície de Vênus (750 K) é

incompatível com a existência da vida como a conhecemos, no entanto, existe em Vênus água líquida dissolvida em suas nuvens de ácido sulfúrico e tal habitat poderia ter existido contemporaneamente com as águas superficiais durante tempo suficiente para que a vida hipotética tivesse feito a transição para os aerossóis venusianos, provavelmente mais duradouros do que a aerobiosfera da Terra.

Na sequência, após o processo de ponderações se há ou não vida fora da Terra, com aproximadamente 30 minutos de duração em ambiente reservado, seguiu-se a realização da leitura do parecer elaborado pelo grupo III:

Existe vida fora da Terra, porém não tem a capacidade de evolução. Argumentos para tomada da decisão: presença de água na lua de Júpiter, a água é um componente vital para a vida; encontro de fosfina em Vênus, fosfina é uma bioassinatura de micróbios na Terra. Porém a existência de vida fora da Terra seria em nível microbiano, pois esses seres conseguem sobreviver em ambientes extremos, mas não teriam capacidade evolutiva, pois esses ambientes não apresentam condições favoráveis.

O debate se encerra com o grupo III agradecendo e informando que não foi fácil formular a posição sobre a possibilidade de vida fora da Terra.

No parecer do grupo III temos um cenário no qual os estudantes apresentam ideias não preconizadas pela teoria darwinista da evolução, informações essas que não estavam explícitas nos textos estudados para o debate. Embora a biologia evolutiva deva formar um eixo integrador dentro nas aulas da disciplina escolar Biologia, diversos fatores, nesta turma, pode dificultar a compreensão dos processos relacionados à evolução biológica, são hipóteses: a não consolidação, no 1º ano, dos conceitos de mutação, adaptação, hereditariedade e seleção natural; no 2º ano, a abordagem da evolução dos seres multicelulares em detrimento de seres unicelulares; e, o ensino da evolução propriamente dita está relegado ao último ano do ensino médio. Silva e Teixeira (2021) encontraram evidências de que há claramente um problema para os estudantes expressarem o que sabem sobre os processos evolutivos.

Portanto, de um ponto de vista bastante amplo, apesar dos equívocos sobre evolução, o grupo III traz a presença de água líquida como argumento principal para sustentar e direcionar a busca de vida extraterrestre, tomando como base a vida como a conhecemos na Terra, e a fosfina como probabilidade e incerteza da ciência contemporânea, motivação para futuras missões. É fundamental, portanto, a aprendizagem da teoria evolutiva para evitar ideias distorcidas, capazes de comprometer a compreensão da Astrobiologia.

Do ponto de vista metodológico, Scarpa (2015) destaca que a argumentação é considerada atividade central nas ciências naturais como forma de desenvolver o raciocínio, o pensamento crítico, a metacognição e a compreensão sobre a natureza da ciência nas salas de aula.

4.2. RODAS DE CONVERSA

4.2.1 Roda de conversa sobre o tema “Astrobiologia: vida no Universo”

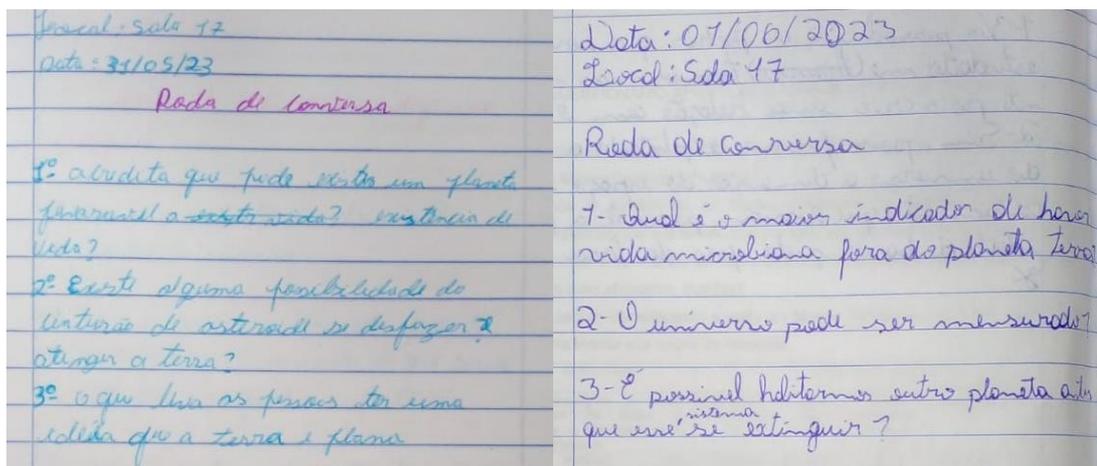
Participaram da roda de conversa sobre o tema “Astrobiologia: vida no Universo” 11 estudantes (Figura 4.2). Exemplo de registro que compõem o *corpus* da pesquisa sobre rodas de conversa (Figura 4.3).

Figura 4.2 - Roda de conversa sobre “Astrobiologia: vida no Universo”, na sala de aula do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública, no município de Feira de Santana, BA, 2023.



Fonte: Registrada pelos autores.

Figura 4.3 - Algumas unidades de registro da roda de conversa sobre “Astronomia com ênfase em Astrobiologia”, 2023.



Fonte: Registrada pelos autores.

Vejamos, a seguir, a transcrição da roda, com diálogos ligeiramente editados.

O astrofísico e professor iniciou a roda relatando a satisfação em estar aproximando universidade e escola pública de educação básica. Informou que na universidade, além de ensino faz pesquisa e extensão. Considerou inovador o convite para conversar sobre “Astrobiologia: vida no Universo” com os estudantes no contexto da sala de aula na escola.

Estudante 1: “*acredita que pode existir um planeta favorável a existência de vida?*” (sic)³⁶

O astrofísico disse que a astronomia observacional vem acumulando evidências de que podem existir planetas favoráveis à existência de vida. As observações já possibilitaram a descoberta até então de mais de 5 mil exoplanetas, com exoplanetas em zonas habitáveis, como por exemplo no sistema TRAPPIST em que há água líquida, requisito para a vida como a nossa, poderia existir na superfície de um planeta rochoso do tamanho da Terra. Os estudos de exoplanetas iniciados com o telescópio Kepler, continuam com os telescópios TESS e o James Webb, o qual tem capacidade de identificar bioassinaturas.

O facilitador comentou que as explicações científicas dependem de circunstâncias em cada momento da história, por exemplo, recurso financeiro,

³⁶ Texto original está reproduzido exatamente, por errado ou estranho que possa parecer.

exemplificando com o desenvolvimento dos telescópios e os avanços nos dados obtidos.

Estudante 2: *“Quais maneiras de podermos estudos mais profundamente os planetas gasosos para identificarmos o se existe algo que podemos utilizar aqui no nosso planeta?” (sic)*

Segundo o astrofísico a alta pressão nos planetas gasosos gigantes é um fator dificultador da existência da vida. Por outro lado, é possível identificar a presença de assinaturas na atmosfera deles, por exemplo, o astrofísico disse que detectou em uma de suas pesquisas, a presença de sódio na atmosfera de um exoplaneta. Por outro lado, existe o propósito de prospecção, exploração e mineração de asteroides, pois se acreditam que contenham minerais de interesse como nióbio, ouro, platina, dentre outros.

Estudante 3: *“Como o James Web conseguiu capturar imagens dos pilares de criação?” (sic)*

O astrofísico explicou que antes do telescópio James Webb, outros telescópios já haviam registrados os Pilares da Criação, como por exemplo, o telescópio Hubble. Os Pilares da Criação são regiões de formação estelar compostas de gás e poeira. A imagem dos Pilares da Criação divulgada pelo James Webb foi obtida na luz infravermelha próxima, que diferente da imagem obtida na luz ultravioleta do Hubble, penetra nas nuvens de gás e mostra detalhes.

Estudante 4: *“O universo pode ser mensurado?” (sic)*

Segundo o astrofísico buscamos conhecimento do Universo e sua evolução a partir do *big bang*. Entretanto, só vemos 5% do Universo, representado pelas estrelas, planetas e galáxias. Os 95% restantes do Universo nunca foram detectados por nossos instrumentos e por não ficarem visíveis, chamamos de matéria escura e energia escura. A matéria escura é detectada pelos seus efeitos, por exemplo, na aceleração das distâncias entre galáxias e para estudá-la foram construídos aceleradores de partículas.

Estudante 5: *“É provável algum microorganismo alojá-se em meteoritos vindos do espaço?” (sic)*

Para o astrofísico não há evidências robustas que comprovem a chegada de microrganismos em nosso planeta por meio de meteorito. Por outro lado, temos um catálogo de matéria orgânica encontrada em meteoritos, mas essa matéria pode ser formada também por processos não biológicos.

A partir do interesse do(a) Estudante 6 ao longo da roda, sua pergunta definida previamente foi modificada, e a seguinte pergunta foi realizada:

Estudante 6: *“O que acontece se dois buracos negros se chocarem” (sic)*

O astrofísico explicou que a observação de ondas gravitacionais permitiu perceber buracos negros e que existem tipos de buracos negros, por exemplo, buracos negros primordiais, buracos negros estelares e buracos negros supermassivos. Os buracos negros primordiais, diferente dos demais, não teria se formado do colapso de estrelas, as quais variam de mais de 10 a bilhões de massas do nosso Sol, mas principalmente de prótons no nascimento do Universo. No centro da nossa galáxia há um buraco negro. Supôs que se cair num buraco negro lidará com o fenômeno espaguetificação, que consiste em esticar devido às forças gravitacionais de maré, algo semelhante ao que a Lua faz com as águas nas praias em nosso planeta. Quanto à coalescência, ou seja, colisão entre dois buracos negros, explicou que durante o evento os buracos negros ao se aproximarem aumentam a velocidade de rotação e quando colidem pode resultar na formação de um novo buraco negro, agora maior, o qual pode ser detectado por sinais das ondas, ou “sumirem” completamente.

Estudante 7: *“O que você já viu de mais diferente no meio astrofísico” (sic)*

O astrofísico relatou que desde guri tinha muita curiosidade e que era um devorador de livros. Entretanto, as leituras causaram um problema na escolha do curso universitário, pois não sabia do que realmente gostava. Deste modo, a demanda do mercado na área de informática no período o levou a prestar vestibular para o curso de graduação em Ciências da Informática, mas não foi aprovado. Assim, só aos 23 anos que consegue aprovação no curso de graduação em Física,

descobrir o lugar certo para estar. Fazer Física o permitiu vivenciar um mundo fora do morro onde nasceu e com a colaboração do orientador no Mestrado em Astrofísica passou a ter foco e hoje estuda exoplanetas.

Estudante 8: *“Sera que realmente existe vida da terra? porque?” (sic)*

Sobre a vida na Terra, o astrofísico disse que existem vários cenários para seu desenvolvimento. A física e a química conduziram o surgimento do biológico. Assim, das membranas até as células, das células para vida complexa como conhecemos, houve “saltos” evolutivos, os quais ocorreram a partir de determinadas condições ao longo do tempo. Deste modo é complexo analisar o passado com as evidências que temos hoje.

O facilitador comentou que englobar diferentes áreas do conhecimento ajuda na compreensão da vida como fenômeno natural, por outro lado, a formação de professores com a fragmentação do conhecimento traz insegurança na abordagem interdisciplinar, configurando um desafio no ensino da Astrobiologia.

Estudante 9: *“o que você recomendaria pra nós, na sua aria?” (sic)*

O astrofísico recomendou que os alunos agarrassem as oportunidades. Partilhou que sua mãe acreditava que para sair da situação da pobreza e da morte prematura decorrente da violência na Baixada Fluminense naquela época, era necessário estudar, ter foco nos estudos e para um jovem em transformações biológicas organizar isso na cabeça não é fácil, ainda mais na escassez de recursos. Deste modo, pontuou que no município local existem três Instituições de Ensino Superior públicas, com diversas cotas que buscam garantir a igualdade de oportunidades, além disso, restaurante universitário (bandejão), e que estão aguardando alunos da rede pública como os participantes da roda.

Instaura-se um breve silêncio na roda... Orlandi afirma que “[...] o silêncio é a condição da produção de sentido. Assim, ele aparece como o espaço 'diferencial' da significação: lugar que permite à linguagem significar” (Orlandi, 1995, p.70).

Estudante 10: *“Existem possibilidades da nossa geração ver a colonização de Marte?” (sic)*

Para o astrofísico em breve, com as novas tecnologias disponíveis será possível colonizar Marte, a começar pelo retorno de humanos a Lua, quando uma mulher fará parte da tripulação. Cabe lembrar que levar os primeiros humanos a Lua foi uma demonstração política e ideológica movida pela chamada Guerra Fria entre americanos e soviéticos, com investimentos altíssimos de dinheiros de ambas as nações na década de 60. Atualmente são fatores facilitadores para alcançar Marte: o crescente investimento por parte da iniciativa privada, aperfeiçoamento na capacidade dos computadores, os foguetes reutilizáveis, impressora 3D para a construção de casas e ferramentas.

Estudante 11: *“Existe alguma condição específica que algum ser vivo precise para sobreviver?” (sic)*

Segundo o astrofísico estudar a origem da vida na Terra é desafiante e temos modelos explicativos. A descoberta de microrganismos extremófilos habitando fontes hidrotermais no mar profundo reforça a ideia do início da vida nesses locais. Se por um lado, a vida que conhecemos é resultante dos compostos do carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre, por outro, procura-se formas de vida como não conhecemos com base no silício em vez do carbono, já que o silício faz quatro ligações e pode formar cadeia semelhante ao carbono. Entretanto, pelo fato de que o silício é um átomo grande, suas ligações são destruídas com pouca energia. Além disso, diferente das formas de vida conhecidas, um extremófilo foi encontrado utilizando arsênio no lugar do fósforo em sua composição³⁷.

Ao final da roda os participantes falaram sobre a experiência vivida. Para os estudantes a roda de conversa foi muito boa, “cheia” de informação e aprendizagem e, o convidado “passou” conhecimentos de sua experiência na ciência. O astrofísico relatou que a roda de conversa foi uma inovação para o ensino e por ser ter sido bem organizada e bem mediada apresentou bons resultados. Para o facilitador, a

³⁷ Segundo Daminieli (2011), o caso do artigo científico publicado na revista *Science* em 2010, com título “Uma bactéria que cresce usando arsênio no lugar do fósforo, tradução nossa”, assinado por Felisa Wolfe-Simon e outros colaboradores da agência espacial americana NASA, traz lições importantes sobre as instituições científicas, revisão dos artigos científicos e o grande público, pois segundo pesquisadores da área de DNA e microbiologia a bactéria GFAJ-1 não constitui um tipo diferente de vida com ligação a Astrobiologia conforme resultado divulgado pela Nasa, o que se descobriu foi uma bactéria que pode viver em baixas concentrações de fósforo, o que não é novidade.

roda de conversa envolveu efetivamente os estudantes e contribuiu no ensino, aprendizagem e divulgação científica de conteúdos da Astronomia com ênfase na Astrobiologia. Por um lado, houve engajamento dos estudantes, em sua maioria motivados e, por outro o convidado corroborou na formação técnica, ética, política e emocional, além de aproximar universidade e escola de educação básica.

O Quadro 4.1 apresenta a síntese da exploração e tratamento dos resultados obtidos a partir da roda de conversa.

Quadro 4.1 - Temas, eixos temáticos e categorias de análises estabelecidas a partir da Roda de Conversa sobre “Astronomia com ênfase em Astrobiologia”, 2023.

Temas	Eixos temáticos	Categorias de análises
Sistema ótico de captação de imagens pelo telescópio James Webb	Instrumentação Astronômica	Ciência, Tecnologia e Inovações em Cosmologia-Astronomia-Astrofísica.
Métodos e técnicas nos estudos de planetas gasosos		
Abundância de matéria-energia no Universo	Cosmologia	
Coalescência de buracos negros		
Surgimento do biológico	Astrobiologia	Ponderações sobre a origem da vida na Terra e a possibilidade de encontrarmos seres vivos fora dela.
Microrganismos extremófilos como modelos para estudos de Astrobiologia		
Exoplaneta possivelmente habitável		
Projeto para colonizar Marte		
Controvérsias sobre microrganismos em meteoritos		
Juventude, formação e trabalho	Formação de recursos humanos	Reflexões sobre carreiras ligadas à ciência e tecnologia.
Atuação do astrofísico		
Prática pedagógica para o ensino e aprendizagem da Astronomia-Astrobiologia	Educação científica e tecnológica	Constituição da prática pedagógica em Astronomia-Astrobiologia.
Astrobiologia como campo para interdisciplinaridade		
Divulgação científica da Astronomia-Astrobiologia		

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.2 Roda de conversa sobre o tema “Divulgação científica da Astrobiologia nos museus de ciência”

Participaram da roda de conversa sobre o tema “Divulgação científica da Astrobiologia nos museus de ciência” 9 estudantes (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Roda de conversa sobre “Divulgação científica da Astrobiologia nos museus de ciência”, no Auditório do Observatório Astronômico Antares com o 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública, no município de Feira de Santana, BA, 2023.



Fonte: Registrada pelos autores.

Vejamos, a seguir, a transcrição da roda com diálogos ligeiramente editados.

A astrônoma e professora iniciou a Roda de Conversa relatando que estudou em escola e universidade pública em São Paulo. Em 1997, mudou-se para Feira de Santana juntamente com o marido, ambos atuando como astrônomos visitantes no Observatório Astronômico Antares incorporado à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Por meio de concurso público se tornaram professores da UEFS, se estabilizaram na profissão e tiveram um filho. A astronomia é sua paixão e o Observatório é sua segunda casa. Deste modo, são 26 anos em Feira de Santana, anos de dedicação a astronomia, não sendo fácil, pois é difícil conseguir verbas.

Estudante 1: *“Como é feita a difusão da ciência, sobre as novas descobertas na Astrobiologia” (sic)*

Para a astrônoma, a astronomia possui áreas como astronomia fundamental, mecânica celeste, astrofísica e cosmologia, sendo a Astrobiologia e astroquímica áreas de pesquisa recentes. De modo geral, a Astrobiologia atrai bastante o público geral. Quanto à divulgação científica seja em Astrobiologia ou em outra área do conhecimento é feita, por exemplo, pelos centros e museus de ciência e revistas científicas. Por outro lado, a astrônoma tem receio do uso das redes sociais como instrumento para divulgação científica, uma vez que encontramos nesses espaços

diversas opiniões pessoais comprovadamente verdadeiras ou não verdadeiras (“achismos”).

Estudante 4: *“Por que é tão importante termos ciência de vida microbiana fora da terra?” (sic)*

Segundo a astrônoma até o momento presente, seja a olho nu ou com auxílio de instrumentação astronômica, a Terra é o único lugar com vida (como conhecemos) no Universo. Duvida que vá encontrar vida como a humana fora da Terra, mas concorda que é possível acharem microrganismos. Entende que a busca pela vida fora da Terra é importante na produção do conhecimento científico, contribuindo, por exemplo, na determinação da zona habitável de exoplanetas. Tem restrição em abordar a possível vida extraterrestre por ser doutora numa área específica da astronomia, que não é biológica nem química. Entretanto, entende a origem da vida na Terra mediante reações bioquímicas e evolução darwiniana (consolidada cientificamente). Por um lado, cita que na Biblioteca do Observatório existem tratados que mostram as transformações do pensamento científico sobre o Universo, por outro lado, afirma que a investida em colonização de Marte é um desperdício de dinheiro, um claro impeditivo é a falta de oxigênio para respiração. Lembra um episódio da série “Cosmos” de Carl Sagan, na qual a sonda Voyager 1, vagando no Sistema Solar, na órbita de Saturno, registra um “negocinho” azul: a Terra, nossa casa, a qual estamos estragando e precisamos conservar.

Estudante 6: *“Possui algum artigo já publicado?” (sic)*

A astrônoma relatou que foram publicados artigos no mestrado, doutorado e pós-doutorado, sendo esse último realizado no Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) com estudo espectroscópico de “Galáxias Peculiares” (galáxias em interação). Anualmente publica artigos não como autora, mas em coautoria por trabalhar junto com outros cientistas em projetos de pesquisa. Ressalta que a observação é crucial para conhecermos o Universo e indica que buscar estudá-lo puramente por meio das “contas” nos leva a uma perda do sentido do por que conhecê-lo. Não tem vergonha de dizer que não sabe determinado assunto, mas acredita na capacidade de aprender, se pronunciando a respeito da produção e transferência de elementos

químicos nas galáxias, linhas proibidas e a possibilidade de descobrir novos elementos químicos.

Estudante 7: *“A senhora acha que foi dificultosa por ser mulher e cientista astrofísica e a maioria dos cientistas astrofísicos são homens?” (sic)*

Segundo a astrônoma seu caminho acadêmico não foi obstruído por ser mulher, pois que buscou desenvolver e manter bons relacionamentos. Por outro lado, percebe o preconceito por ser mulher, em especial quando se mudou de São Paulo para Feira de Santana (Bahia), seja no Departamento de Física (eram apenas quatro mulheres), na compra de equipamentos eletrônicos no comércio ou ao dirigir um carro, por exemplo – reitera que pode não ser verdade, mas é o que sente. Isso vem de longe, influência da cultura patriarcal.

Estudante 8: *“Em seus conhecimentos qual foi a sua descoberta mais interessante? (seja no trabalho enquanto estuda ou em alguma visita)” (sic)*

A astrônoma relatou que é de uma geração anterior ao Telescópio Espacial Hubble, o qual foi um “divisor de águas”. Citou o prazer e a satisfação que sentiu quando da divulgação da primeira imagem de um buraco negro pelo Telescópio de Horizonte de Eventos, comprovando o que antes só existia na teoria. Outro momento inesquecível foi à primeira imagem do Telescópio James Webb, o qual vem mostrando novas visões do Universo. Reiterou que a instrumentação astronômica tem avançado e produzindo imagens, cada vez mais profundas do Universo, em diferentes comprimentos de onda (luz visível, ultravioleta, infravermelho).

Estudante 9: *“Quais as funções do museu?” (sic)*

Segundo a astrônoma, o Museu Antares de Ciência e Tecnologia está voltado para difusão científica e foi inaugurado em 2009 no Observatório Astronômico Antares. Conta com subprojetos como “Dinossauros e Pterossauros do Brasil”, “A Era dos Mamíferos”, “As primeiras civilizações humanas”, “Os Gregos e as Contribuições para a Ciência” e “A Conquista espacial”, por exemplo. Entretanto, a expectativa é que o Governo do Estado demonstre interesse por Ciência e Tecnologia e faça investimentos para execução de outros subprojetos.

Estudante 10: *“Como o conhecimento desse museu e repassado para sociedade”* (sic)

A astrônoma pontuou que o Museu Antares de Ciência e Tecnologia atende tanto por agendamento de escolas e grupos quanto por visitas espontâneas. Expôs que muita gente residente em Feira de Santana desconhece o Museu Antares e que muitos dos visitantes não sabiam da existência das réplicas dos Dinossauros – fenômeno de público em Shoppings, por exemplo. Através de um olhar crítico, pondera que na cidade de Feira impera a “cultura do barzinho e da farmácia” e que espaços culturais são insuficientes embora extremamente necessários.

A partir do interesse do(a) Estudante 11 ao longo da roda, sua pergunta definida previamente foi modificada, e a seguinte pergunta foi realizada:

Estudante 11: *“O emaranhamento quântico ajudaria a entender o Universo?”* (sic)

A astrônoma relatou que existem quatro possibilidades de forças fundamentais, ou seja, gravitacional, eletromagnética e nuclear (forte e fraca), para entendermos como o Universo funciona. Por outro lado, há questionamento se são forças diferentes ou se são manifestações de apenas uma única força do Universo. De tal modo, por meio de experimento se detectou uma partícula (“a partícula de Deus”) surgida logo após o *big bang* e responsável por estabelecer a ligação entre as partículas fundamentais. Então, a ciência resulta de descobertas, as quais não se “bate o martelo”, mas se aceita atualmente, como a mecânica quântica em relação à teoria da relatividade de Einstein.

Estudante 12: *“Como funciona a mineração fora da Terra?”* (sic)

Para a astrônoma, a mineração espacial ocorre na Lua, em Marte e em asteroides, podendo descobrir minerais nunca vistos na Terra. Na oportunidade a astrônoma relatou que uma teoria credita que a Lua se formou após grande impacto lateral de um corpo conhecido como Theia (do tamanho de Marte aproximadamente) contra a Terra que estaria em formação e, além disso, hipóteses apontam que a existência de vida na Terra se deve a influência da Lua.

Ao final da roda os participantes falaram sobre a experiência vivida. Para os estudantes a roda de conversa no museu foi um aprendizado diferente do que acontece na sala de aula. A astrônoma relatou o sentimento de bem-estar pelo encontro dialógico com jovens no museu e que esperava ter contribuído na sua formação. Para o facilitador, ir ao museu e participar de uma roda de conversa nesse espaço configura como uma experiência bem sucedida, possibilitando a formação integral dos estudantes.

O Quadro 4.2 apresenta a síntese da exploração e tratamento dos resultados obtidos a partir da roda de conversa.

Quadro 4.2 - Temas, eixos temáticos e categorias de análises estabelecidas a partir da roda de conversa sobre “Divulgação científica da Astrobiologia nos museus de ciência”, 2023.

Temas	Eixos temáticos	Categorias de análises
Descobertas científicas	Conhecimentos científicos	Acesso da população as Universidades, Centros de Pesquisa e Museus e aos resultados da produção científica e cultural.
Produção científica		
Divulgação científica		
Funções básicas dos museus	Museus	
Universo desconhecido	Cosmologia	Ciência, Tecnologia e Inovações em Cosmologia-Astronomia-Astrofísica e os limites explicativos da ciência.
Evolução do pensamento científico na busca por vida extraterrestre	Astrobiologia	Ponderações sobre a origem da vida na Terra e a possibilidade de encontrarmos seres vivos fora dela.
Mineração espacial	Indústria espacial	Utilização dos recursos espaciais.
Mulher cientista	Gênero e Ciências	Participação das mulheres na ciência e carreiras acadêmicas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.3 Roda de conversas sobre o tema “Futuro da vida na Terra e no Universo”

Participaram da roda de conversa sobre o tema “Futuro da vida na Terra e no Universo” 9 estudantes (Figura 4.5).

Vejamos, a seguir, a transcrição da roda com diálogos ligeiramente editados.

O astrônomo e professor iniciou a roda relatando a importância de eventos escolares e/ou visitas técnicas para despertar vocações. Além disso, chamou atenção para o mercado de trabalho com a revolução 5G, em que por um lado emprego para quem estiver mais preparado, por outro, fábricas autônomas, resultando escassez de recursos financeiros e situações desconfortáveis.

Figura 4.5 - Roda de conversa sobre “Futuro da vida na Terra e no Universo”, na sala de aula do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública, no município de Feira de Santana, BA, 2023.



Fonte: Registrada pelos autores.

Estudante 3: *“Quais medidas seriam tomadas se fosse descoberto algum fenômeno com capacidade de extinção a vida na terra?” (sic)*

Para o astrônomo, catástrofes sempre existiram. A Terra, por exemplo, ainda continua sendo bombardeada por material oriundo da formação do Sistema Solar, sendo que o bombardeio mais conhecido teria ocorrido há cerca de 65 milhões de anos atrás, levando a extinção dos dinossauros no Cretáceo e permitindo o aparecimento dos mamíferos. Agências espaciais monitoram asteroides e explosões solares considerados perigosos para a vida na Terra, ainda assim poderão atingir nosso planeta e não teremos muito a fazer. Por isso, a vida na Terra como conhecemos hoje, está fadada a terminar. Entretanto, o acompanhamento da colisão de fragmentos de um cometa com Júpiter na década de 90, despertou para vulnerabilidade da Terra e a necessidade de monitoramento. Se as forças gravitacionais de Júpiter não capturassem aquele cometa, haveria risco de colisão dele com a Terra. Logo ficou claro a importância de investir em defesa planetária, já que não se trata de ficção científica. A NASA, com serviços de empresa privada, realizou o primeiro teste de defesa planetária contra asteroide para mudar sua trajetória sem explodi-lo, o que poderia fragmentá-lo e os fragmentos causar danos. Contudo, é preciso que outras agências espaciais ponham fim ao monopólio do

governo americano nos avanços aeroespaciais e unam esforços para o monitoramento.

Estudante 5: *“Se fosse descoberto algum meteoro vindo em direção a Terra, qual medida seria tomada?” (sic)*

Segundo o astrônomo é possível mudar a órbita de um asteroide ou cometa pequeno com uma colisão, entretanto a força gravitacional de um corpo massivo poderia atraí-lo. O primeiro teste de defesa planetária do mundo foi com a missão DART onde uma espaçonave da NASA colidiu com um satélite que orbita um asteroide, mudando a sua órbita. Outra possibilidade, ainda não testada, é pousar uma espaçonave e usar seus propulsores para desviar a órbita do corpo celeste.

Estudante 6: *“Dentre os eventos planetários futuros, qual se destaca? (sic)*

O astrônomo relatou que o Sistema Solar se encontra numa configuração estável, sendo que simulação por computador indica que o sistema evoluiu ao longo do tempo. Júpiter por exemplo, teria se formado mais longe do Sol, migrado para sua órbita atual pela interação gravitacional dos gases que circundavam o sistema e ao se tornar um gigante teria expulsado alguns corpos celestes, a expulsão é corroborada pela descoberta de planetas solitários no espaço interestelar. Por outro lado, a Lua está se afastando lentamente da Terra, o que significa que os dias ficarão mais longos, embora não perceptível. Esse afastamento se deve a rotação da Terra mais lenta em decorrência dos efeitos da maré gravitacional entre a Lua e a Terra. O afastamento da Lua afetaria drasticamente o clima e conseqüentemente a vida na Terra, as quais se adaptaram e evoluíram sob a presença cíclica da luz e das marés. Além disso, embora não perceptível, o Sol está aumentando de tamanho e luminosidade por meio de um processo de fusão nuclear do hidrogênio para produzir hélio; quando o hidrogênio acabar, começará a fusão nuclear do hélio, vencendo a gravidade e ejetando o material para o espaço, isso será o fim do Sol, eliminando a vida na Terra se ainda existir.

Estudante 7: *“Como o senhor acha que a terra vai estar daqui a 100 anos? Acha que é possível ainda estarmos vivos mesmo com essas series de catástrofes naturais?” (sic)*

Segundo o astrônomo nada no Universo é eterno e o futuro da humanidade é a extinção. Em um trecho do filme “Matrix” há uma reflexão sobre os seres humanos como vírus, ou seja, invade uma área, causam destruição e depois partem para outra área reiniciando as alterações no equilíbrio. O filme “Oppenheimer” retrata a construção das primeiras bombas atômicas, um risco para a vida na Terra. O *El Niño* juntamente com emissões de gases pela atividade humana tem causado calor extremo, assim podemos precipitar a nossa extinção. Por outro lado, quebra do monopólio e difusão do conhecimento é muito importante para garantir nossa sobrevivência.

A partir do interesse do(a) Estudante 8 ao longo da roda, sua pergunta definida previamente foi modificada a partir da resposta da pergunta do(a) Estudante 7, e a seguinte pergunta foi realizada:

Estudante 8: *“E prever mudança?” (sic)*

Sobre mudanças para garantir nossa sobrevivência, o astrônomo disse que medidas para combater as mudanças climáticas fazem parte da agenda da Organização das Nações Unidas (ONU), no entanto países como Estados Unidos e China propõem medidas para uma redução gradual em décadas, ou seja, não garantem imediatamente. Então, Estados Unidos e China desejam compromissos ambientais? Seriam promessas retóricas? Esses países não estão interessados de imediato, já que implica transformação negativa em suas economias. Pontos críticos de não retorno desencadeados pelas mudanças climáticas podem desestabilizar a “saúde do planeta”. Para a ativista Greta³⁸ o compromisso ambiental da ONU não será capaz de evitar o aumento da temperatura acima dos pontos críticos. As manifestações da jovem Greta deveriam mover as escolas em movimento ambientalista. Nosso ex-presidente a chamou de “pirralha”.

Estudante 9: *“O que faz o universo crescer?” (sic)*

³⁸ A Fundação Greta Thunberg trabalha para apoiar a sustentabilidade numa perspectiva holística, promovendo a sustentabilidade ecológica, climática e social. Disponível em < <https://thegretathunbergfoundation.org/>>, acesso em 28 de maio de 2024.

De acordo com o astrônomo, as teorias precisam ser corroboradas. Por exemplo, a teoria do *big bang*, algo que aconteceu a 13,7 bilhões de anos atrás, é sustentada por evidências, sendo uma delas a demonstração de afastamento de galáxias. Isso foi possível a partir de observações do alongamento do comprimento de onda da luz emitida e que nos chegam delas. A conclusão é que o Universo está se expandindo aceleradamente e esfriando, sugerindo um passado próximo e quente. Como ainda não compreendemos bem a causa da expansão, dizemos que é causada por algo que denominamos de energia escura, que atua contrário a gravidade, agora temos que estudá-la, pois está longe de ser explicada.

Estudante 10: “*será qué possível manter a rassa humana fora da terra?*” (sic)

O astrônomo acredita que humanos se estabelecerá fora da Terra, porém isso vai demorar muito para acontecer, pois somos resultado de um processo evolutivo que ocorre nas condições da Terra. Dentre os diversos desafios para colonizarmos tanto a Lua como Marte, temos a distância, o confinamento, os efeitos físicos da gravidade e da temperatura. Por exemplo, o filme “Perdidos em Marte” retrata os desafios para manter seres humanos em Marte.

A partir do interesse do(a) Estudante 12 ao longo da roda, sua pergunta definida previamente foi modificada, e a seguinte pergunta foi realizada:

Estudante 12: “*Como o capitalismo afeta o aquecimento global?*” (sic)

Para o astrônomo, a partir do século 18 houve expansão industrial, isso afetou o clima, acarretando consequenciais no planeta. Além disso, fenômenos naturais como *El Niño* e *La Niña* têm se intensificados trazendo impactos climáticos. Neste ano, por exemplo, as temperaturas passam dos 40°C e aproximaram dos 50°C em cidade no Arizona nos Estados Unidos, ocasionando desmaios e queimaduras ao cair em asfalto. A onda de calor ameaça a vida, principalmente de “indigentes”, pois que os mais ricos se beneficiam de infraestrutura e consumo de energia. Por outro lado, durante os períodos de *lockdowns* na pandemia identificaram pequenas mudanças no meio ambiente pela redução de emissão de gases, apontando a importância de substituir seus emissores.

Ao final da roda os participantes falaram sobre a experiência vivida. Para os estudantes a roda de conversa possibilitou discutir o futuro da humanidade diante de ações humanas e os benefícios e malefícios da tecnologia. O astrônomo relatou que a roda de conversa foi um espaço para expressão de temas atuais e chamou atenção que no Japão jovens estão se suicidando³⁹ por problemas financeiros, sendo esperado que os estudantes foquem nos estudos e façam Universidade para melhorar a possibilidade de empregabilidade. Para o facilitador, a roda de conversa abordou um tema sensível que é extinção da vida na Terra, sendo oportuno a reflexão crítica dos modelos representados em filmes. Apesar da vida humana no momento atual, o desafio é ofertar uma renda mínima a população vulnerável, considerada a que menos contribui para as mudanças climáticas, porém a que mais sofre.

O Quadro 4.3 apresenta a síntese da exploração e tratamento dos resultados obtidos a partir da roda de conversa.

4.2.4 Discutindo as rodas de conversa

Categorias de análises estabelecidas a partir das três rodas de conversa: 1) Ponderações sobre a origem da vida na Terra e a possibilidade de encontrarmos seres vivos fora dela; 2) Proposta de colônia humana fora da Terra para assegurar sua sobrevivência em longo prazo; 3) Risco de extinção e ação defensiva no caso de um corpo celeste estar em rota de colisão com a Terra; 4) Reflexões sobre carreira e difusão do conhecimento envolvendo áreas da Astronomia; 5) Ciência, Tecnologia e Inovação em Astronomia e os limites explicativos da ciência.

Segundo Marques *et al.* (2021) muito se fala da necessidade de mudança na educação, mas é necessário que as instituições de ensino tomem decisões sobre qual método é mais adequado na sala de aula para que o estudante se torne o protagonista de sua própria aprendizagem. Para Franco (2016) uma prática é tecida pedagogicamente quando há mediação do humano e não a submissão do humano a um artefato técnico previamente construído, como na prática tecnologicamente

³⁹ O Centro de Valorização da Vida (CVV) realiza apoio emocional e prevenção do suicídio, atendendo voluntária e gratuitamente pelo telefone 188 (24 horas por dia e sem custo de ligação), chat, e-mail e pessoalmente em alguns endereços. Disponível em <<https://cvv.org.br/>>, acesso em 28 de maio de 2024.

tecida. Deste modo, estas rodas de conversa organizaram-se em torno de intencionalidades, em um agir consciente e participativo, direção que segundo Franco (2016) é não mecânica, emancipatória, crítica e inclusiva.

Quadro 4.3 - Temas, eixos temáticos e categorias de análises estabelecidas a partir da roda de conversa sobre “Futuro da vida na Terra e no Universo”, 2023.

Temas	Eixos temáticos	Categorias de análises
Impacto de asteroide e extinção dos dinossauros	Defesa planetária	Ação defensiva no caso de um corpo celeste (asteroide ou cometa) estar em rota de colisão com a Terra.
Colisão de cometa com Júpiter		
Morte do Sol	Sistema Sol-Terra-Lua	Mudanças no Sistema Sol-Terra-Lua e possibilidade de novas soluções evolutivas.
Afastamento da Lua		
Os fenômenos naturais <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i>	Riscos globais	Risco de extinção pela intensificação de fenômenos naturais pelas mudanças climáticas decorrentes de atividades humanas.
Gases de efeito estufa decorrentes do sistema capitalista		
Bombas atômicas		
Movimento ambientalista	Participação cidadã	Difusão do conhecimento, sustentabilidade ambiental, social e econômica.
Organização das Nações Unidas (ONU)	Agências especializadas	
Colônias de humanos fora da Terra	Astrobiologia	Proposta de colônia humana fora da Terra para assegurar sua sobrevivência a longo prazo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para Torresi, Pardini e Ferreira (2012) a divulgação científica auxilia as atividades educacionais e as formas mais tradicionais de divulgação são textos, vídeos, feiras, palestras e museus, mas também se pode disseminar o conhecimento científico no universo digital por meio do *Facebook*, *Instagram*, *Twitter* e *YouTube*. Por outro lado, nesta pesquisa o conhecimento científico pode ser disseminado em sala de aula através de rodas de conversa, numa parceria estudante-professor-cientista. Deste modo, os cientistas ao ser questionado entram em contato com a realidade dos estudantes, esses por sua vez ao ouvirem as respostas recebem informações em linguagem compreensível e com confiabilidade. Lüdke e Cruz (2005) evidenciam a importância de aproximar a pesquisa em educação das realidades da universidade e a da escola de educação básica.

Nessa perspectiva, espera-se a construção da credibilidade científica e o combate ao populismo científico e o negacionismo, presentes onde há ambição de poder. Uma proposta para este combate é por meio de práticas educativas com enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) nas salas de aula. Para Strieder e

Kawamura (2017) os propósitos da educação CTS associam-se ao desenvolvimento de percepções, questionamentos e compromissos sociais. Portanto, é necessário que os professores na organização do currículo, na utilização de estratégias e em toda sua prática docente estejam comprometidos com a educação em CTS (Santos; Silva; Martins, 2023).

Rufini, Bzuneck e Oliveira (2012) atestam os benefícios da motivação autônoma para a aprendizagem, ao mesmo tempo, ressaltam a importância de ambientes institucionais que permitam o exercício do comportamento autônomo. Nessa direção, nas rodas de conversa estabelecidas, os estudantes sentiram mais motivados para aprender, sobretudo pelo consentimento em participar e não por serem pressionados. Deste modo, aprender nas rodas ganha um significado para o estudante tanto no exercício da cidadania quanto em torno das suas escolhas profissionais. Entretanto, Ibarra, Ramos e Oliveira (2021) concluíram em revisão da literatura produzida no período de 2005 a 2019, que a desigualdade de gênero ainda marca o contexto da ciência no Brasil, com baixa participação das mulheres nas ciências exatas.

Em conformidade com a BNCC estas rodas de conversa atendendo aos anseios permitiu aos estudantes interpretar leis (por exemplo, lei da gravitação universal), teorias (por exemplo, *big bang* e evolução) e modelos (por exemplo, cosmológico), além de reelaborarem seus próprios saberes relativos às temáticas discutidas, bem como reconhecerem as potencialidades e limitações das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (por exemplo, proposta de encontrar vida fora da Terra, colonizar Marte e defesa planetária). Além disso, foram mobilizados conhecimentos de outras áreas, como Matemática e suas Tecnologias (por exemplo, cálculo por estimativa do Universo) e Ciências Humanas (por exemplo, o papel geopolítico entre americanos e soviéticos na Guerra Fria, alterações climáticas provocadas pela intervenção humana) e Sociais Aplicadas (por exemplo, relação gênero e trabalho).

Ainda sobre as rodas, houve participação plena dos estudantes no uso de linguagens verbais e corporais, que são objetos da área de Linguagens e suas Tecnologias. Portanto, a Astrobiologia consiste em uma área da ciência que oportuniza a interdisciplinaridade na sala de aula, para isso, desafia o professor aproximar suas diversas áreas do conhecimento.

Para Thiesen (2008) há um consenso no campo educativo de que a interdisciplinaridade busca superar a visão fragmentada nos processos de produção e socialização do conhecimento, podendo transformar profundamente a qualidade da educação escolar; entretanto, para que o processo de ensino e aprendizagem interdisciplinar ocorra faz-se necessário ousar num campo que é de todos.

Assim sendo, faz-se necessário subsidiar a formação inicial e continuada dos educadores para que se apropriem da articulação interdisciplinar, na qual os conhecimentos de Biologia, Física e Química se integram de modo a fortalecer a compreensão da Astrobiologia, possibilitando discutir suas potencialidades e limites explicativos. Para Coimbra (2020) a formação de professores, no cenário atual, amplia o eixo formativo para além de conteúdo e prática, na busca da dialogicidade como dimensão importante de uma educação transformadora.

4.3 VISITAS GUIADAS A MUSEUS DE CIÊNCIA

Participaram da visita ao Museu Interativo de Ciência e Tecnologia Estação Ciência do Serviço Social da Indústria (SESI) e Museu Geológico da Bahia, 10 estudantes e ao no Museu Antares de Ciência e Tecnologia, 8 estudantes.

Quando questionados se já haviam visitado algum museu anteriormente, 6 (60%) estudantes responderam que nunca visitaram e 4 (40%) responderam já terem visitado pelo menos uma vez, sendo citados o Museu da Energia da Coelba em Salvador (BA), o Museu Parque do Saber em Feira de Santana (BA) e o Museu Antares de Ciência e Tecnologia em Feira de Santana (BA); outros municípios citados foram Xique-Xique (BA) e São Paulo (SP), porém os nomes dos museus nesses municípios não foram lembrados.

Encontra-se organizados nos Quadros 4.4, 4.5 e 4.6 as expressões chaves, as ideias centrais e as ancoragens, constitutivas da percepção de estudantes quanto à Astrobiologia nos museus visitados. Depois de cada quadro, está apresentado o discurso que representa a voz do grupo de estudantes do estudo.

Quadro 4.4 - Percepção de estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública sobre temáticas da Astrobiologia no Museu Interativo de Ciência e Tecnologia Estação Ciência do Serviço Social da Indústria (SESI), 2023.

E*	Expressões chaves	Ideias centrais (IC)	Ancoragens
E1	“Não”.	<u>Ideia a</u> Não percebido a Astrobiologia na exposição visitada.	A: Não percepção da temática Astrobiologia nas exposições do museu visitado (IC: E1a, E9a e E12a).
E2	“Sim, sobre a evolução tecnológica e como podemos aprofundarmos nisso” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Estudo da evolução tecnológica.	B: Evolução da área de tecnologia e a inovação (IC: E2a, E4a, E4b e E5a).
E4	“Sim, pois obtive conhecimentos adicionais sobre o desenvolvimento tecnológico e tive experiência de virtualmente conhecer uma fábrica por meio da realidade virtual” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Conhecimento do desenvolvimento tecnológico. <u>Ideia b</u> Simulação de realidade virtual.	C: Época e contexto das mudanças socioambientais (IC: E6a, E8a e E11a).
E5	“Sim, como evoluímos tanto em material e tecnologia” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Evolução dos elementos tecnológicos.	D: Evolução corporeamente e perspectivas futuras (IC: E6b e E11b).
E6	“Sim, analiso-se áreas como ambientes aquáticos, o estudo da mente humana, entre outros. Isso tudo, proporciona refletir os contatos que estamos vivenciados, sabendo identificar conceitos evolucionistas e suas funções; em especial, na área psicológica” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Caracterização de ambiente aquático. <u>Ideia b</u> Estudo da mente humana. <u>Ideia c</u> Espaço de reflexão.	E: Dimensão educativa do museu (IC: E6c, E10a e E10b).
E8	“Sim pois falou da origem de como funciona ela sua composição mostrou a mudança das épocas” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Mudança em diferentes épocas.	
E9	“Não”.	<u>Ideia a</u> Não percebido a Astrobiologia na exposição visitada.	
E10	“sim. o conhecimento mas aberto sobre os assuntos tomado no sessi” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Aprendizagem por livre escolha. <u>Ideia b</u> Espaço de aprendizagem.	
E11	“Sim. Contexto Histórico, partes do corpo humano, estrutura, etc.” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Contexto histórico de mudanças. <u>Ideia b</u> Integração do corpo humano.	
E12	“Não”.	<u>Ideia a</u> Não percebido a Astrobiologia na exposição visitada.	

*Estudante.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) concordante que a Museu Interativo de Ciência e Tecnologia Estação Ciência do Serviço Social da Indústria (SESI) aborda a temática da Astrobiologia foi o seguinte:

O museu que visitei é um espaço educativo que prioriza inovações museológicas, por exemplo, a interatividade. Em seus espaços expositivos da evolução tecnológica em diferentes épocas e seus impactos socioambientais, eu reconheci a Astrobiologia, uma vez que aborda sobre como interagimos com a Terra. Além disso, outro espaço expositivo sobre evolução do corpo e da mente remete a algumas reflexões sobre a própria existência no contexto da Astrobiologia. Deste modo, a Astrobiologia se fez presente neste museu na abordagem da evolução e futuro da vida na Terra, particularmente da espécie humana.

Quadro 4.5 - Percepção de estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública sobre temáticas da Astrobiologia no Museu Geológico da Bahia, 2023.

E*	Expressões chaves	Ideias centrais (IC)	Ancoragens
E1	“Sim, com a visita, conseguir ter mais compreensão da origem do universos conhecimento sobre os meteoritos” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Modelo teórico para a origem do Universo. <u>Ideia b</u> Descoberta de meteoritos.	A: Modelo teórico para origem e evolução do Universo (IC: E1a, E4a e E4b). B: Origem e composição química dos meteoritos (IC: E1b, E6a e E6b).
E2	“Sim, a evolução do nosso planeta dos seres as utilizações das rochas em diversas coisas do cotidiano” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Modelo teórico para a evolução da Terra. <u>Ideia b</u> Evolução dos seres vivos. <u>Ideia c</u> Aplicação das rochas.	C: Modelo teórico para origem e evolução da Terra (IC: E2a, E11a e E12a).
E4	“Sim, pois foi-me explicado a origem do universo a dimensão do espaço e conhecimentos que tornam possível a possibilidade de haver vida fora da terra” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Origem do Universo. <u>Ideia b</u> Dimensão do espaço. <u>Ideia c</u> Possibilidades de existência de vida fora da Terra.	D: Evolução dos seres vivos (IC: E2b). E: Aplicação das rochas (IC: E2c e E10a).
E5	“Sim, a interação que tivemos na sala escura, sobre a criação do nosso sistema solar” (<i>sic</i>).	<u>Ideia a</u> Modelo teórico para a origem do Sistema Solar.	F: Possibilidades de existência de vida fora da Terra (IC: E4c). (<i>continua</i>)

		<u>Ideia b</u> Experiência audiovisual.	(continuação)
E6	“Sim, devido as semelhanças das composições químicas dos meteoritos vindos do cinturão, elevando expectativa de exoplanetas com zonas habitáveis” (sic).	<u>Ideia a</u> Composição química dos meteoritos. <u>Ideia b</u> Cinturão de asteroides. <u>Ideia c</u> Exoplaneta. <u>Ideia d</u> Zonas habitáveis.	G: Modelo teórico para a origem e evolução do Sistema Solar (IC: E5a, E9b e E12b). H: Experiência audiovisual no museu (IC: E5b). I: Exoplaneta (IC: E6c).
E8	“mostrou a composição falou sobre a origem” (sic).	<u>Ideia a</u> Composição (?)**. <u>Ideia b</u> Origem (?)**.	J: Zonas habitáveis (IC: E6d).
E9	“Sim aprendi sobre a evolução do universo e dos planetas” (sic).	<u>Ideia a</u> Evolução do Universo. <u>Ideia b</u> Evolução dos planetas.	K: Presença de água na Terra (IC: E12c).
E10	“sim, sobre até que celular que pode ser feito por uma rocha” (sic).	<u>Ideia a</u> Aplicação das rochas.	
E11	“Sim. O museu explicou como se deu a origem do nosso planeta” (sic).	<u>Ideia a</u> Origem da Terra.	
E12	“Sim e principalmente em relação a formação da terra e de alguns planetas, sobre água na Terra” (sic).	<u>Ideia a</u> Formação da Terra. <u>Ideia b</u> Formação de outros planetas. <u>Ideia c</u> Presença de água na Terra.	

*Estudante.

**Não articula informações.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) concordante que o Museu Geológico da Bahia aborda a temática da Astrobiologia foi o seguinte:

O museu que visitei utiliza recurso audiovisual para apresentar um modelo teórico para origem e evolução do Universo, do Sistema Solar e da Terra. O estudo da origem e da composição química dos meteoritos encontrados na Terra traz informações sobre a formação do Sistema Solar, somado a isso, a presença de água na Terra e os conhecimentos a respeito da evolução dos seres vivos, possibilita a busca por vida fora da Terra,

especialmente em exoplanetas localizados dentro das zonas habitáveis. Há também uma relação utilitarista entre rochas e o ser humano.

Quadro 4.6 - Percepção de estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública sobre temáticas da Astrobiologia no Museu Antares de Ciência e Tecnologia, 2023.

E*	Expressões chaves	Ideias centrais (IC)	Ancoragens
E1	“Sim, foi possível conhecer mais sobre o universo, sobre nascimento de estrelas e o que acontece com elas quando morrem” (sic).	<u>Ideia a</u> Conhecer o Universo. <u>Ideia b</u> Ciclo de evolução estelar.	A: Experiência concreta sobre Universo na visita ao museu (IC: E1a e E9a).
E4	“Sim, conhecimentos sobre a terra primitiva e sobre calibramento dos satélites me trouxeram conhecimentos adicionais” (sic).	<u>Ideia a</u> Terra primitiva. <u>Ideia b</u> Satélites artificiais.-	B: Ciclo de evolução estelar (IC: E1b).
E6	“[...] elementos químicos [...] nas galáxias que seria o estopim do fenômeno da vida no Universo. Além da curiosidade em saber que o universo apresentado possuem espectros [...]” (sic).	<u>Ideia a</u> Elementos químicos. <u>Ideia b</u> Galáxias. <u>Ideia c</u> Origem da vida. <u>Ideia c</u> Espectro-eletromagnético.	C: Terra primitiva (IC: E4a). D: Satélites artificiais (IC: E4b). E: Espectros de elementos químicos nas galáxias (IC: E6a, E6b e E6c).
E7	“[...] É fiquei triste em saber que o universo é vista de outras cores, por conta da visão humana que impossibilita de ver como realmente são. As cores dos corpos celestes e etc [...]” (sic).	<u>Ideia a</u> Imagens do Universo. <u>Ideia b</u> Visão humana. <u>Ideia c</u> Cores dos corpos celestes.	F: Origem da vida no Universo (IC: E6c e E11a). G: Espectros de luz visível e cores dos corpos celestes (IC: E7a, E7b, E7c).
E8	“Como se formou como acontece mudança composição etc” (sic).	<u>Ideia a</u> Origem e evolução. (?)**.	
E9	“Sim, sair com um pouco mais de experiência e etc.” (sic).	<u>Ideia a</u> Experiência concreta.	H: Surgimento e extinção dos dinossauros (IC: E10a).
E10	“sim, o surgimento e da extinção dos dinossauro” (sic).	<u>Ideia a</u> Surgimento e extinção dos dinossauros.	I: Chegada do homem à Lua (IC: E11).
E11	“Sim. O conhecimento da origem da vida [...] e chegada do homem na lua” (sic).	<u>Ideia a</u> Origem da vida. <u>Ideia b</u> Chegada do homem à Lua.	

*Estudante.

**Não articula informações.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) concordante que o Museu Antares de Ciência e Tecnologia aborda a temática da Astrobiologia foi o seguinte:

O museu que visitei possibilita uma experiência concreta sobre o Universo, apresentando galáxias, ciclo de evolução estelar, Terra primitiva, surgimento e extinção dos dinossauros e a chegada do homem à Lua. Aborda também a presença, nas galáxias, de elementos químicos essenciais à vida como conhecemos, os quais podem ser determinados por espectros usando satélites artificiais, contribuindo para o estudo sobre onde a vida pode ter se originado. Além disso, com espectro de luz visível percebo a cor de corpos celestes.

Na Figura 4.6 observa-se a representação da Astrobiologia atribuída por estudantes deste estudo em visitas a museus de ciência.

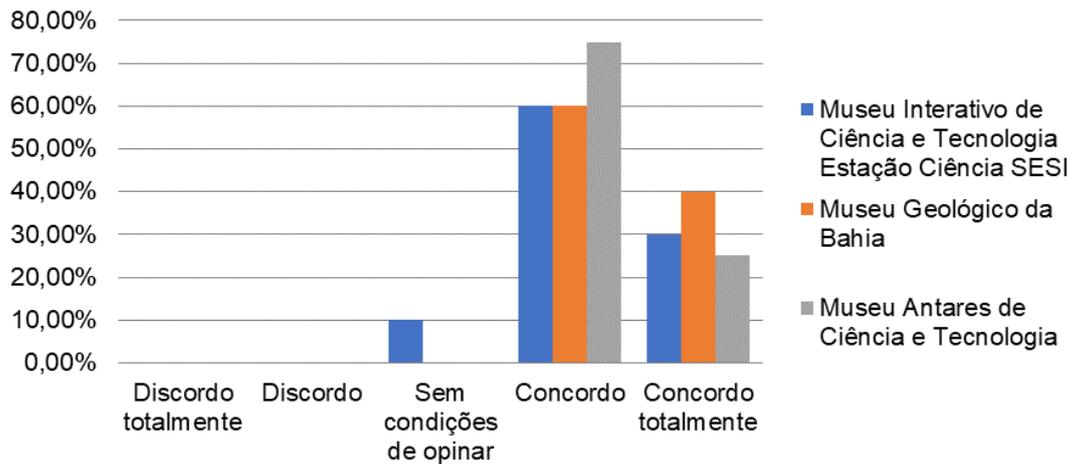
Figura 4.6 - Imagens ilustrativas da Astrobiologia nos museus segundo a visão de estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública, 2023. (A) Sala com painel *touchscreen* com informações sobre diversas áreas do conhecimento - Museu Interativo de Ciência e Tecnologia Estação Ciência do Serviço Social da Indústria. (B) Sala com simulação da origem do Universo e da formação do Sistema Solar - Museu Geológico da Bahia. (C) Espaço com pintura no muro sobre a origem do Universo, da Terra e da Vida - Museu Antares de Ciência e Tecnologia.



Fonte: Registrada pelos autores.

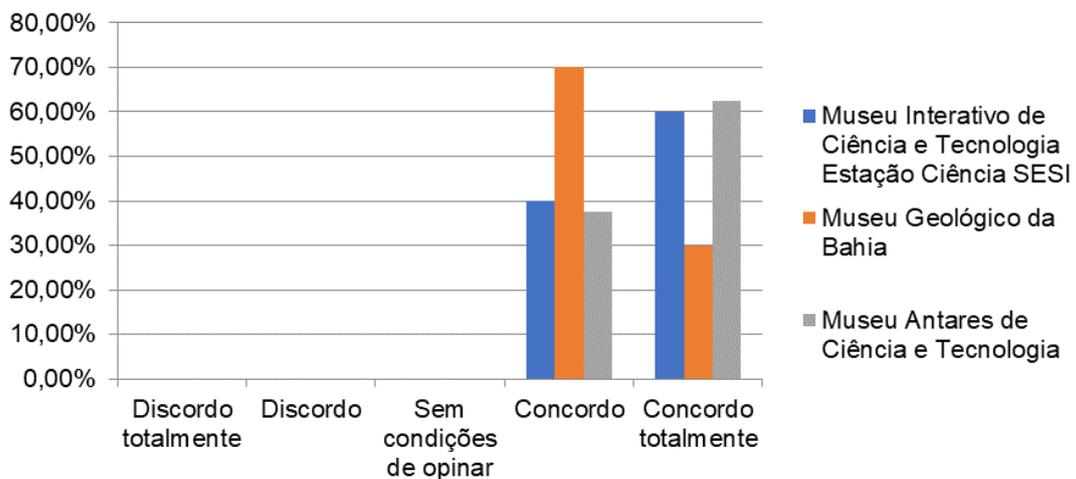
A comparação das opiniões de estudantes sobre aprendizagens no museu e na escola, mediação e aprendizagem em museu, temáticas museais e cotidiano e, exposições escolares, se encontram plotadas nos Gráficos 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente. Em nosso estudo, observamos na opinião de estudantes que há uma desconexão entre os três museus visitados com sua vida cotidiana.

Gráfico 4.1 - Comparação gráfica das opiniões diretas de estudantes do ensino médio da rede pública sobre o item a aprendizagem nos três museus visitados foi diferente da aprendizagem no contexto escolar.



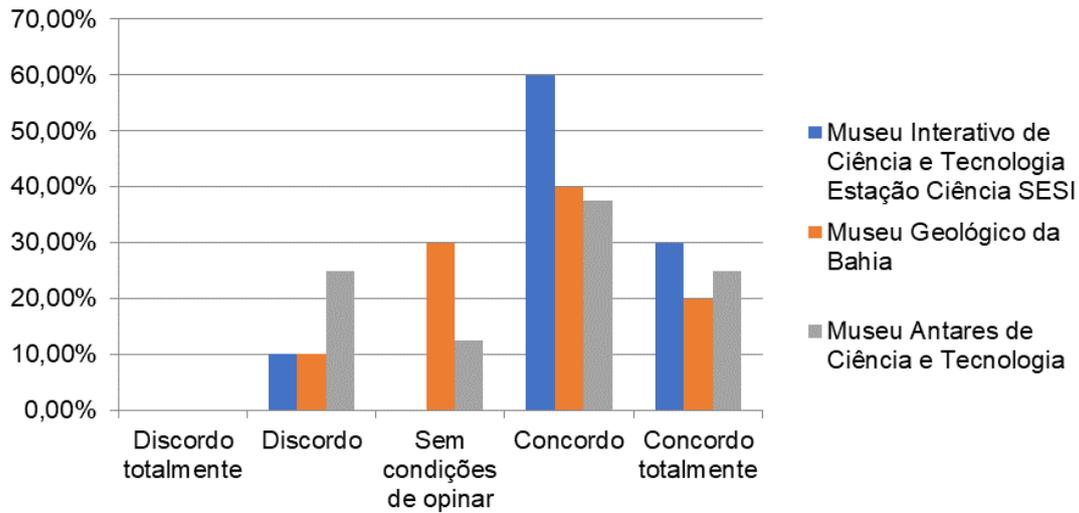
Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4.2 - Comparação gráfica das opiniões diretas de estudantes do ensino médio da rede pública sobre o item a mediação dos monitores/guias dos três museus visitados contribuiu para aprendizagem dos conteúdos abordados na exposição.



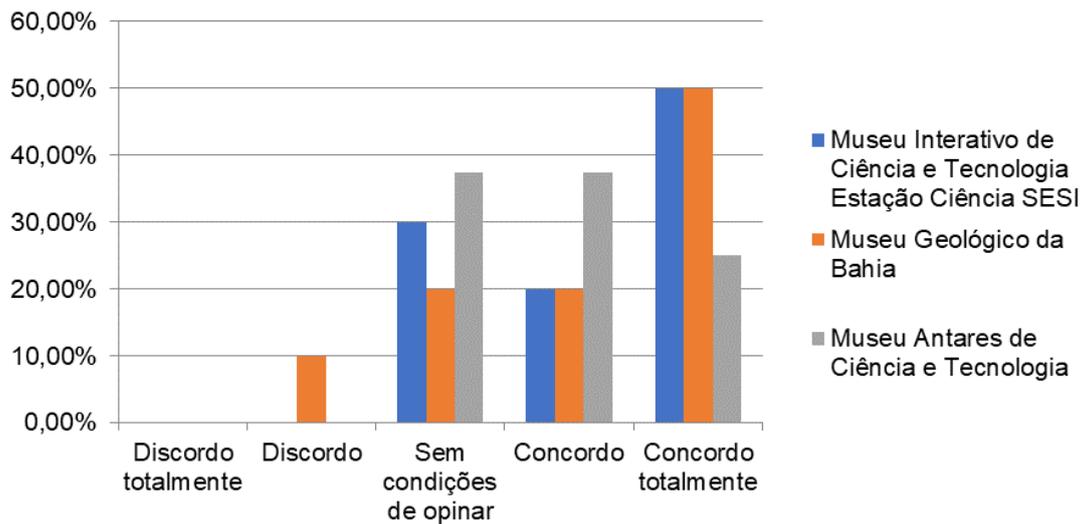
Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4.3 - Comparação gráfica das opiniões diretas de estudantes do ensino médio da rede pública sobre o item os módulos expositivos/salas temáticas dos três museus visitados fizeram conexões com vida cotidiana, contexto sociocultural e experiências prévias.



Fonte: Elaborado pelos autores.

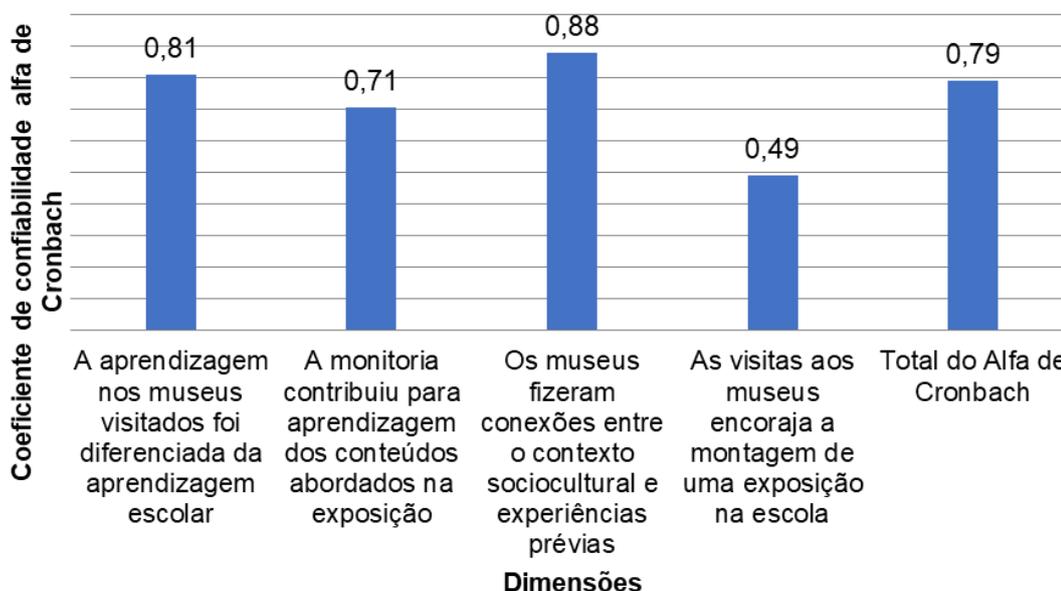
Gráfico 4.4 - Comparação gráfica das opiniões diretas de estudantes do ensino médio da rede pública sobre o item a visita aos três museus encoraja a montagem de uma exposição na escola para divulgação e educação de conhecimentos científicos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O valor de alfa de Cronbach para todos os itens do questionário 3 em conjunto aos três museus visitados foi de 0,791 (Gráfico 4.5), atendendo a preferência encontrada na literatura científica, que sugere o valor de 0,70 como mínimo aceitável para interpretação da confiabilidade de um questionário (Hora, Monteiro; Arica, 2010).

Gráfico 4.5 - Coeficiente de confiabilidade alfa de Cronbach por dimensão e total obtidos com questionário, elaborado na forma de escala de Likert de cinco pontos, para obtenção de opiniões dos estudantes do ensino médio da rede pública sobre visitas a museus de ciências, 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando-se individualmente cada dimensão (Gráfico 5), pode-se observar que as dimensões 1, 2 e 3 obtiveram o nível de confiabilidade. Apenas a dimensão 4 do questionário resultou um coeficiente abaixo do confiável (0,70).

4.3.1 Discutindo as visitas guiadas a museus de ciência

Os resultados aqui apresentados sugerem que, visitas a museus não é uma prática de estudantes ainda que existam esforços dos museus para viabilizar o acesso, como por exemplo, entradas gratuitas. Araújo e Cachioni (2023), apuraram que a distância de museus das residências, o nível de transporte e a informação são importantes para a fruição cultural.

Nos museus visitados os estudantes tiveram a oportunidade de um aprendizado científico, cultural e socializador desenvolvido pelos educadores museais. Além disso, também houve momentos de aprendizagem por livre escolha e aí os estudantes circularam pelo museu e olharam o que desejaram. Para MacManus (2013), o cenário descrito acima expõe uma experiência educacional formal, e, depois, uma experiência educacional informal.

Do ponto de vista dos estudantes, a aprendizagem no museu diferiu da aprendizagem escolar que é voltada para escolarização. Por um lado, para Setton e Marins (2017) não devemos cobrar dos museus uma educação sistemática, uma vez que, o que caracteriza a educação museológica seria sua capacidade de apresentar a partir de estímulos, uma realidade diferente daquela a que temos acesso cotidianamente. Por outro lado, estudo de Massarani *et al.* (2019), sugere que, quando estudantes vão ao museu, eles podem entrar em contato com diversos conhecimentos, tornando esse espaço de aprendizagem interessante e motivador. Nesse sentido cabe destacar que, nos museus visitados, os diversos temas associados à Astrobiologia, foram referidos em tela *touch screen*, sala multimídia, réplicas e pinturas murais. Assim, os museus podem preservar suas montagens tradicionais, a elas acrescentando experiências interativas e/ou demonstrativas.

Para Massarani *et al.* (2019), refletir sobre o contexto da visita dialoga com a abordagem sociocultural da aprendizagem. De tal modo, vista como uma experiência transformadora, a visita aos museus não encoraja os estudantes visitantes a montagem de uma expografia na escola como prática educativa. Nesse sentido, Gouveia Junior (2014), lembra que é nos museus que os bens culturais são cuidados, estudados, exibidos e apreciados pelo público a partir de um olhar sempre novo, ampliando as possibilidades de construção identitária e coletiva, a produção de conhecimentos, as oportunidades de lazer e a inclusão social.

4.4 COMPOSIÇÃO DE POEMA

Participaram da composição de poema os 11 estudantes sujeitos da pesquisa. Os textos dos estudantes aproximam-se do que é próprio do gênero poema, apresentando, como disposição em versos e estrofes.

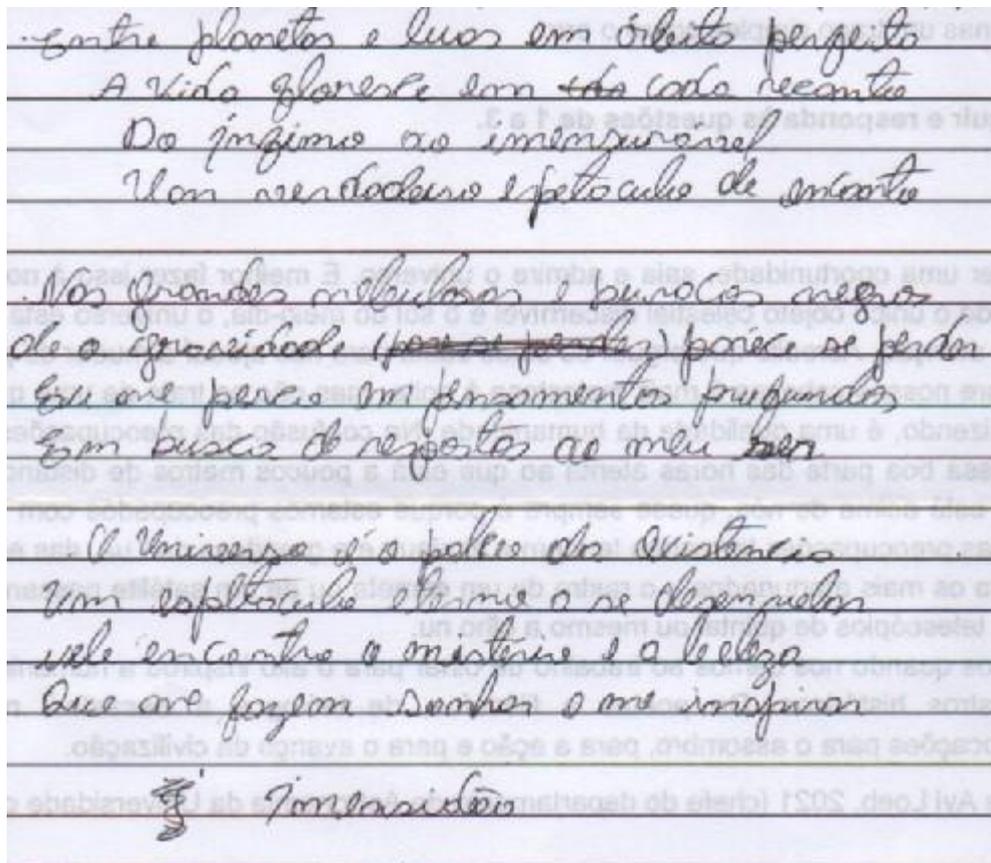
Os poemas elaborados pelos estudantes encontram-se no Apêndice F. Apresentamos a seguir (Figuras 4.7 e 4.8) dois exemplos representativos:

Na análise dos textos foi feita, inicialmente, uma análise quantitativa de palavras relacionadas à Astrobiologia, cujo resultado foi sintetizado na Figura 4.9 e posteriormente, uma análise qualitativa dos conteúdos, resultados nos Quadros 4.7 e 4.8.

Os estudantes autores dos textos analisados, por sua vez, criaram uma imagem poética coletivamente, cujo resultado pode ser apreciado na Figura 4.10⁴⁰.

As análises dos poemas demonstram apropriação dos estudantes de conteúdos astronômicos e a criação de pontes imaginativas conduzidas pela emoção em determinados contextos, por exemplo, tensões da adolescência manifesta por um lado com o brilho das estrelas, por outro, com a escuridão dos buracos negros. Além disso, destacamos a sensibilidade emocional para apreciarmos coisas da natureza e ampliação da percepção das ameaças à vida na Terra.

Figura 4.7 - Poema elaborado pelo Estudante 5 inspirado no tema “Universo, vida fora da Terra e viagens espaciais”, 2023.



Fonte: Registrada pelos autores.

⁴⁰ Obra artística submetida ao projeto “A Arte da Astronomia”, e se selecionada irá compor uma galeria de arte interativa virtual. O projeto é realizado entre os Coordenadores Nacionais de Divulgação vinculados ao Escritório para Divulgação da Astronomia da União Astronômica Internacional de países de língua portuguesa: Angola, Brasil, Cabo Verde, Moçambique e Portugal. Disponível em <<https://iaunocbrasil4.wixsite.com/a-arte-da-astronomia>>, acesso em 20 de dezembro de 2023.

Figura 4.8 - Poema elaborado pelo Estudante 12 inspirado no tema "Universo, vida fora da Terra e viagens espaciais", 2023.

Explosões no início da universos
 Gira nesse planeta a toda a volta.
 Será? que estamos sozinhos
 Agora, vida, procuramos no caminho

Desbravar (podemos) pode ser o futuro
 Colonizar, conquistar outros mundos
 Mas temos que cuidar da Terra
 impedir poluições e a guerra

Observamos e estudamos estrelas
 Escutamos raios de cometas
 Nosso instinto de conquista
 nos leva a procurar novos planetas

Será que estamos a sós?
 de Mercúrio à Netuno
 Será que existe vida
 nos luas de Júpiter
 Será que existe vida
 em Plutão ou Titã
 Sabemos agora ou talvez amanhã

Fonte: Registrada pelos autores.

Quadro 4.8 – Fruição cosmológica a partir da produção dos poemas produzida por estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da rede pública, no município de Feira de Santana, BA, 2023.

POEMAS	Conteúdos astronômicos	Ciclo evolutivo das estrelas.
		Fenômenos que ocorrem nos buracos negros.
		Estrutura do Sistema Solar.
		Concepções sobre o surgimento do Universo.
		Busca por vida fora da Terra.
		Colonizar outro planeta.
		Estudo da matéria interestelar na Galáxia.
	Pensamento, sentimento ou vivência	Articula tensões da adolescência e conceitos astronômicos, apresentando o fascínio do brilho das estrelas e a amedrontada escuridão dos buracos negros.
		Questionamentos se afirmam e se negam sobre a vida fora da Terra.
		Reflexões sobre nossa evolução biológica, cultural e tecnológica e as ameaças à vida na Terra.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Moraes e Castro (2018) apontam o poema como um tipo de texto de configuração estética atrativa que valoriza a criatividade e singularidade, com potencial para gerar nos leitores envolvimento, seduzindo-os aos caminhos da aprendizagem instigante e significativa, além disso, são importantes relatos de cunho histórico-sociológico. Para além da apropriação de ferramentas culturais, o uso de poema possibilita a articulação didática entre ciência e arte, criando contexto entre os estudantes e os professores (Lima; Ramos; Piassi, 2020).

Além disso, o ato criativo da obra “O Universo tocável e seus dilemas” impulsiona a imaginação, permite percepções dos problemas da sociedade e antecipa questões, por exemplo, resolver os problemas do nosso planeta ou ir em busca por um novo planeta? Tal questionamento dialoga com o campo de estudo de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Para Lima, Ramos e Piassi (2020) a produção criativa apoia-se em elementos da vivência do sujeito e se baseia na realidade concreta. Ao ver de Araújo-Jorge (2007), a arte precisa ser incluída na educação científica da população. No entanto, para Hawking (2018), um novo programa de voos espaciais tripulados contribuiria tanto para restaurar o entusiasmo público pelo espaço e pela ciência, quanto aumentaria a reputação pública da ciência em geral.

Figura 4.10 - Obra "O Universo tocável e seus dilemas" pensada coletivamente pela turma do 2º ano do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio e ilustrada pelo Estudante 12.



Fonte: Registrada pelos autores.

4.5 OBSERVAÇÃO DE CORPOS CELESTES

Participaram da observação de corpos celestes 2 estudantes (E4 e E6) sujeitos da pesquisa, os demais estudantes, por sua vez, tiveram impedimento de deslocamento devido ao horário da observação.

Apresentamos a seguir falas espontâneas do público visitante (não sujeitos da pesquisa) da experiência observacional dos corpos celestes no céu noturno:

“É lindo de mais...”

“Ave Maria!”

“Nem parece que é de verdade.”

“Estão bonitos!”

“Parece um desenho.”

“É perfeito!”

“É bonitinho.”

“Que perfeito...”

“Nossa! Que coisa linda.”

O Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) concordante foi o seguinte:

Os corpos celestes visualizados no céu noturno são lindos, mais que bonitos, perfeitos; nem parecem que são de verdade, tem um jeito de desenho.

O método fotográfico na experiência observacional do céu noturno foi utilizado como meio de produzir evidências de alvos astrobiológicos (luas de Júpiter e Saturno) e refletir sobre os aspectos da construção da ciência e seus limites explicativos. A alegria e a satisfação foram as emoções mais sentidas no discurso espontâneo.

Assim, se por um lado o direito a escuridão da noite e a luz das estrelas está ameaçado por poluição luminosa, por outro lado, a Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, fixa normas para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios ao combate à poluição em qualquer de suas formas (Brasil, 2011).

A Figura 4.11 e a Figura 4.12 mostram as práticas da observação do céu, uma atividade pouco explorada em unidade escolar, por outro lado, explorada em observatório astronômico. Cabe informar que o uso do *software Stellarium* permitiu

visualizar corpos celestes fora do alcance da observação pelo telescópio, por exemplo as luas de Saturno.

A observação do céu, em especial a lua Europa em trânsito sobre Júpiter, foi útil no combate ao movimento terraplanista. Segundo pesquisa realizada pelo Instituto Datafolha e divulgada por Martins, Gonsalves e Estevão (2022), cerca de 7% dos brasileiros duvidam que o formato da Terra seja esférico.

Figura 4.11 - Observação do céu noturno e de alvos astrobiológicos (luas de Júpiter e Saturno). (A) Imagens ilustrativas da observação do céu noturno por meio de telescópio Astro-Tech AT72ED, obtidas em 28 de novembro de 2023, no Centro Estadual de Educação Profissional em Saúde do Centro Baiano. (B) Imagem de Júpiter e suas maiores luas às 18h10min. (C) Imagem de Saturno com seus anéis às 18h44min. (D) Imagem da Lua às 20h10min. Imagens não estão representadas em proporção.



Fonte: Registrada pelos autores.

Figura 4.12 - Imagens ilustrativas retiradas das capturas de tela do *Stellarium Web Online Star Map*. (A) Imagem de Júpiter e suas quatro maiores luas, em 28 de novembro de 2023, às 18h10min; Europa em trânsito sobre Júpiter. (B) Imagem de Saturno com seus anéis e maiores luas, em 28 de novembro de 2023, às 18h44min. Imagens com cores aprimoradas e não estão representadas em proporção.



Fonte: *Stellarium Web Online Star Map*. Disponível em <<https://stellarium-web.org/>>, acesso em 03 dezembro de 2023.

4.6 OFICINAS

Em relação ao currículo na Educação Profissional Integrada ao Ensino Médio do Curso Técnico em Química do Centro Estadual de Educação Profissional em Saúde do Centro Baiano em Feira de Santana, na 1ª série estudamos nas aulas do componente curricular Biologia, sobre a influência do livro didático, o modelo de Oparin e Haldane para a origem da vida, proposto na década de 1920. Contudo, na 2ª série realizamos no componente curricular Projeto Experimental I, uma visita técnica ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia, e sob impulso da astrobiologia e astroquímica, conhecemos um modelo mais recente para a origem da vida, proposto por Russel e Hall, em 1997. De tal modo, na 3ª série no componente curricular Projeto Experimental II, desenvolvemos um modelo didático de como a vida poderia ter surgido em uma fonte hidrotermal submarina para uso nas aulas

sobre origem da vida e busca por vida fora da Terra, por exemplo, na lua Europa de Júpiter.

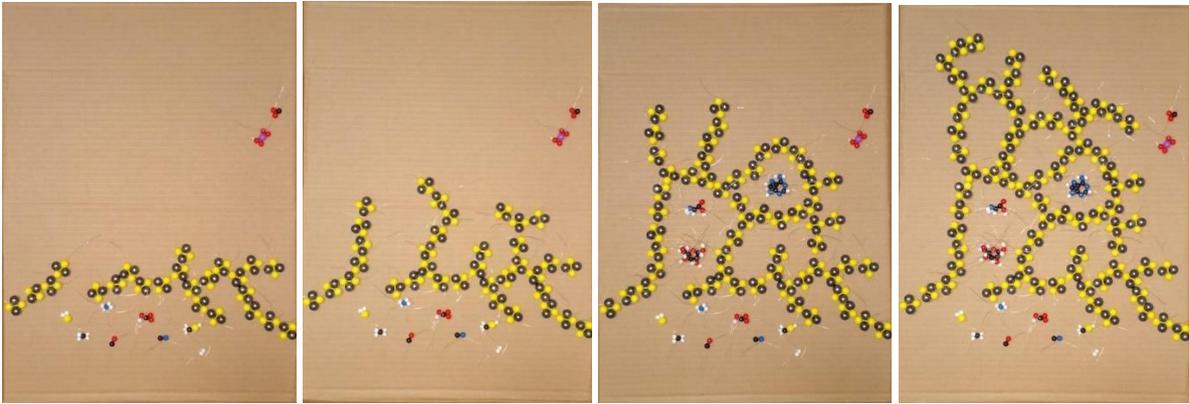
Na modelização considerando às condições da Terra primitiva, os estudantes (E3 e E6) ponderaram que a água oceânica fria infiltra através de fissuras na crosta oceânica e à medida que é aquecida pelo magma, reemerge quente, reduzida e alcalina e mistura-se com água oceânica mais fria, mais oxidada e mais ácida. Este fluido hidrotermal lixivia e transporta metais, tal como ferro, e outros elementos, tal como enxofre, os quais precipitam formando assim depósitos na superfície do fundo oceânico (ver Figura 4.13). A deposição de sulfeto ferroso (FeS), atuariam como uma espécie de barreira ou membrana primitiva, possibilitando a presença de compostos no seu interior, a uma concentração diferenciada em relação a do exterior. Outras entidades químicas teriam substituído os primitivos precipitados de ferro-enxofre, dando origem a vida como a conhecemos – consideramos que a primeira forma de vida foi quimolitotrófica anaeróbica, ou seja, utilizava dióxido de carbono (CO_2) como fonte de carbono e reação entre sulfeto ferroso (FeS) e sulfeto de hidrogênio (H_2S) como a fonte de energia (ver Figura 4.14). Do ponto de vista químico, reações prebióticas consistiu na produção de açúcares (por exemplo, ribose), aminoácidos (por exemplo, glicina), bases nitrogenadas (por exemplo, adenina), ver Figura 4.15, micelas lipídicas e o RNA deverá ter surgido antes do DNA, como se o DNA tivesse resultado da evolução do RNA.

Figura 4.13 - Modelização de uma fonte hidrotermal submarina. Elevação submarina: vaso tubo de vidro cilíndrico reporta ao oceano Hadeano; bomba submersa para aquário reporta ao fluido hidrotermal; substrato para aquário pedra basalto reporta a rocha vulcânica; bucha vegetal reporta a elevação hidrotermal.



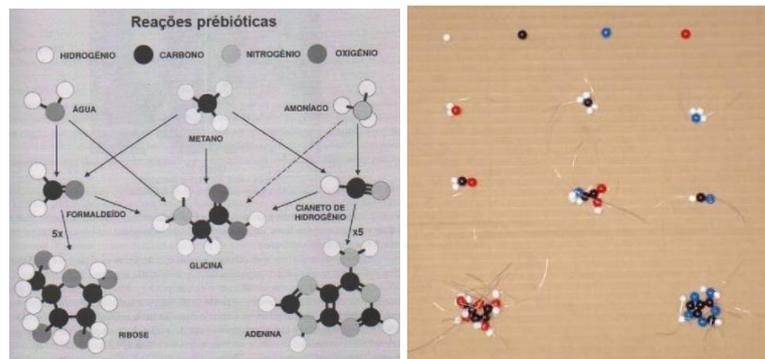
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4.14 - Modelização de como a vida poderia ter surgido em uma fonte hidrotermal submarina. Transições hipotéticas de uma membrana de sulfeto ferroso (FeS) para a química prebiótica da vida celular: missangas cor branca reportada ao átomo hidrogênio (H), preto ao carbono (C), vermelho ao oxigênio (O), azul ao nitrogênio (N), amarelo ao enxofre (S), púrpura ao fósforo (P) e prata ao ferro (Fe); moléculas inorgânicas: sulfeto de hidrogênio (H₂S), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), gás hidrogênio (H₂), dióxido de carbono (CO₂); moléculas orgânicas: ribose (C₅H₁₀O₅), glicina (C₂H₅NO₂) e adenina (C₅H₅N₅).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4.15 - À esquerda, reações prebióticas na produção de açúcares, aminoácidos e bases nitrogenadas (Dias; Maia, 2012, p.65). À direita, modelização das reações com missangas.

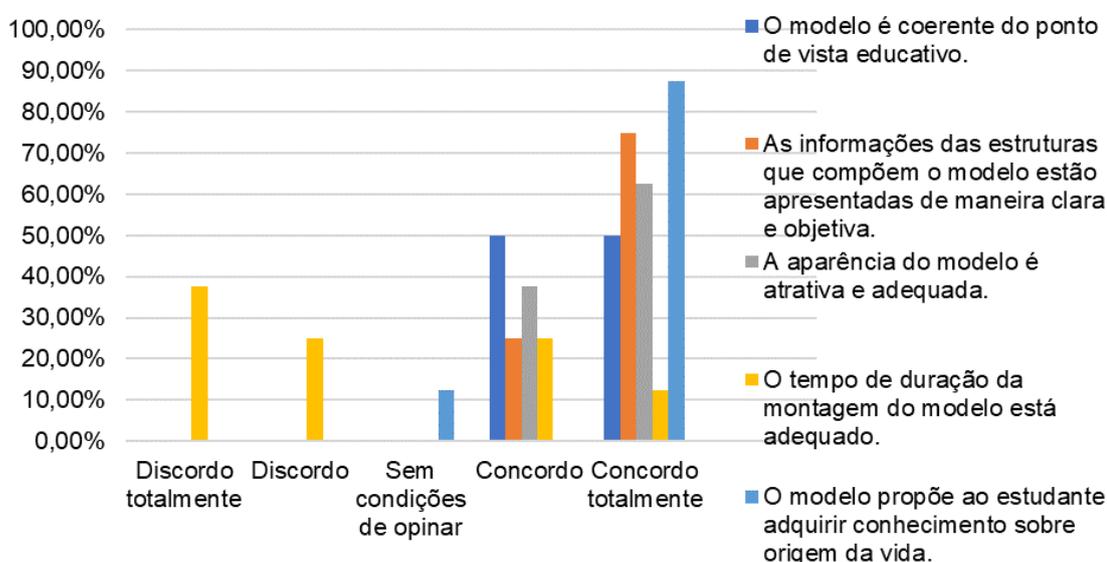


Fonte: Elaborado pelos autores.

Em seguida, o modelo foi comparado ao ambiente análogo a lua Europa de Júpiter representado nas Figuras 2.38 (p.75) e 2.39 (p.76). Para Dias e Maia (2012) se na Terra são encontrados microrganismos que vivem a partir de metabolismo baseado em compostos inorgânicos e em ambientes extremamente inóspitos (nas profundezas oceânicas, a elevadas pressões e temperaturas, acidez elevada e na ausência de luz solar), é bem possível que em locais como no oceano na lua Europa de Júpiter, outrora considerados absolutamente impróprio para albergar vida, poderá ser possível a existência de vida, nomeadamente de organismos extremófilos associados a fontes hidrotermais.

Nesse estudo o coeficiente alfa de Cronbach encontrado foi de 0,86, considerado confiabilidade satisfatória do questionário. De tal modo, 50% dos estudantes concordam totalmente que o modelo é coerente do ponto de vista educativo; 75% concordam totalmente que as informações das estruturas que compõem o modelo estão apresentadas de maneira clara e objetiva; 62,5% concordam totalmente que a aparência do modelo é atrativa e adequada; 12,5% concordam totalmente que o tempo de duração da montagem do modelo está adequado; e 87,5% concordam totalmente que o modelo propõe ao estudante adquirir conhecimento sobre origem da vida, ver Gráfico 4.6.

Gráfico 4.6 - Comparação das opiniões de estudantes sobre o modelo de como a vida poderia ter surgido em uma fonte hidrotermal submarina, coeficiente de alfa de Cronbach 0,86, confiabilidade considerado satisfatório.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O modelo didático proposto neste estudo buscou explicar com linguagem mais próxima dos estudantes e com menor nível de abstração, o modelo mais recente para a origem da vida e a busca dela fora da Terra. Por um lado, ressaltamos que os conhecimentos prévios sobre origem da Vida, evolução biológica, modelos atômicos, estrutura e propriedades de compostos orgânicos, astronomia, história e filosofia da ciência, foram fatores essenciais na aprendizagem do novo conhecimento. Por outro lado, o tempo para modelização foi visto como

inadequado, sendo necessário aumentá-lo. Ademais, a confecção do modelo didático com base em missangas ofereceu baixo custo e durabilidade.

Segundo a Base Nacional Comum Curricular, no Ensino Médio o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas e propõe a elaboração, interpretação e discussão de modelos explicativos sobre o surgimento e a evolução da Vida na Terra e fora dela (Brasil, 2018).

Dias e Maia (2012) acrescentam que as ciências interdisciplinares que abordam os modelos mais recentes do fenômeno Vida, vão da Astrobiologia até a Astroquímica. No entanto, ultrapassando algumas críticas levantadas a modelos anteriores, por exemplo Oparin-Haldane e Urey-Miller, o modelo de Russell-Hall tem igualmente limitações específicas. Ainda segundo esses autores:

À medida que se foi tendo a certeza de que os aminoácidos encontrados nos meteoritos têm origem extraterrestre, não foi mais necessário simular a atmosfera primitiva da Terra para explicar o surgimento daqueles compostos. Então, a experiência de Urey-Miller perdeu adeptos e, para muitos, passou à História, sem contudo o seu significado histórico, e até filosófico, sair desvirtuado; com efeito, ela ganhou valor universal ao oferecer uma explicação também para a origem dos aminoácidos dos meteoritos, mas, naturalmente, fora do contexto do nosso planeta (Dias; Maia, 2012, p.147).

Por outro lado, a hipótese de Oparin-Haldane, assim como as experiências nela baseadas, incluindo a de Urey-Miller, deixaram de ter o impacto que já tiveram por se basearem numa composição da atmosfera primitiva não aceita nos dias de hoje. Pensa-se que a essa atmosfera não teria sido tão redutora quanto era então imaginado, mas constituída por água, monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, metano, amoníaco e vestígios de hidrogênio. Outra crítica feita a este modelo, embora algo discutível, prende-se com o fato da ausência de oxigênio da atmosfera primitiva impedir a existência de uma camada de ozônio, pelo que, a radiação UV que atingia a superfície da Terra, sendo muito energética, podia facilmente decompor os aminoácidos e outros materiais sensíveis. Acresce que a ideia da existência da “sopa primitiva” é igualmente questionada, dado que, por questões termodinâmicas, a acumulação destes compostos nos oceanos não poderia ter atingido grandes concentrações, nem muitos deles seriam suficientemente estáveis para darem origem a tal acumulação (Dias; Maia, 2012, p.147-148).

A hipótese de que os coacervados de Oparin tenham sido a origem de uma membrana celular primitiva é atualmente refutada; são estruturas pouco estáveis, pelo que não teriam resistido por muito tempo no meio primitivo e, ainda mais, por sua produção serem utilizados materiais originários nos seres vivos atuais (Dias; Maia, 2012, p.148).

O modelo de Russel e Hall tem igualmente algumas limitações específicas, citadas pelos próprios autores, destacando-se, por exemplo, o fato de ser necessária uma concentração de ferro (ferroso, Fe^{2+}) e de bissulfureto (HS^-) superior à encontrada nas soluções hidrotermais, para que ocorresse a precipitação das membranas de sulfureto ferroso (FeS) (Dias; Maia, 2012, p.152).

4.7 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Estudantes sob a supervisão do professor pesquisador, por meio de elementos estruturais (suportes expositivos) e de elementos gráficos e visuais (imagens, textos, legendas e cenografia) construíram, o circuito expositivo respeitando a arquitetura da unidade escolar, com vistas a prover ao acervo possibilidades de interação com o público visitante e potencializar a problematização na ação educativa durante a exposição (Figura 4.16). Para Bordinhão, Valente e Simão (2017), a produção imagética da expografia se constitui na materialização do discurso, por meio de objetos e diálogos que juntos revestem a exposição de qualidades sensoriais.

Figura 4.16 - Exposição “Astrobiologia vai à escola”, do Prof. Rodrigo Oliveira, detalhe de material que compõe o acervo.



Fonte: Registrada pelo autor.

4.8 EXTROVERSÃO

Na extroversão a comunidade escolar interpretou a narrativa, por meio dos elementos que configuraram a exposição, ver Figura 4.17.

Figura 4.17 – Visitação da exposição “Astrobiologia vai à escola”, do Prof. Rodrigo Oliveira, no Centro Estadual de Educação Profissional em Saúde do Centro Baiano, 15 e 16 de julho de 2024, Feira de Santana/BA.



Fonte: Registradas pelos autores.

Na observação participante, o pesquisador obteve as seguintes informações do encontro entre visitante e conjunto expositivo: interesse de dois estudantes para participar de observações do céu através de telescópio; opinião de uma estudante que, o modelo didático usando missangas ajuda no entendimento de como componentes químicos podem ter dado origem as células; curiosidade de uma

estudante como motivação para saber o que era a peça expositiva, entendida como criativa; expectativa de um professor sobre o motivo da Terra encontra-se solitária dentro da tela expositiva; reclamação de uma funcionária que a exposição poderia ser aberta ao público externo, produzindo fotos com auxílio de *smarthphones* para publicação em redes sociais; debate de estudantes sobre o significado da obra de arte “O Universo tocável e seus dilemas”; expectativa de um grupo de estudantes sobre se há vida fora da Terra; e questionamento de outro grupo de estudantes sobre como participar de eventos como apresentador de pesquisa. Cabe destacar a atuação espontânea, em determinado momento, como monitor da exposição, para o público visitante, o Estudante 6 (entusiasmado com o modelo didático) e o Estudante 12 (entusiasmado com a fruição cosmológica).

Destaca-se ainda o desinteresse do público alvo, levantando a questão se a programação estava afinada com a rotina escolar, uma vez que no tempo do recreio os estudantes priorizam a alimentação escolar e após as aulas o transporte, especialmente aqueles cadastrados no serviço de transporte coletivo escolar.

É importante salientar que segundo Santos e Rocha (2021), os registros de visitantes em livros de comentários de museus de ciência são potencialmente ricos em informações a respeito dos públicos que frequentam os museus e suas demandas. No entanto, a observação participante que adotamos também possibilitou o estudo de público. Mais que isso, Schiele (2008) *apud* Santos e Rocha (2021) argumenta que o visitante quer ser ouvido e, mais que isso, querem ser atores e exercitar seu direito de voz. Por sua vez, Marandino (2005) propõe que os processos de transformação do conhecimento científico com fins de ensino e divulgação não são meras simplificações, já que novos saberes são produzidos pelas relações que ocorrem no âmbito do encontro entre visitante e conjunto expositivo.

4.9 APRESENTAÇÃO DE TRABALHO CIENTÍFICO EM EVENTO

A produção científica intitulada “Visita de estudantes ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia na perspectiva da aprendizagem interdisciplinar de Astronomia”, decorrente do processo de ensino e aprendizagem desenvolvidos na visita ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia foi aceita, apresentada por 2

estudantes (E4 e E6) e classificada em 1º lugar na Categoria Ciências Exatas da Etapa Territorial da 11ª Feira de Ciências, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia (FECIBA), promovida pelo Núcleo Territorial Portal do Sertão – NTE19, realizada entre os dias 07 e 08 de novembro de 2023, em Feira de Santana, BA. Deste modo foi automaticamente habilitada e apresentada por 3 estudantes na Etapa Estadual realizada no Encontro Estudantil da Rede Estadual da Educação, no período de 12 a 14 de dezembro de 2023, em Salvador, BA.

A produção científica citada também foi aceita e apresentada por 3 estudantes (E2, E4 e E6) no MILSET BRASIL 2024, realizado no período de 27 a 31 de maio de 2024 em Fortaleza, CE, sendo credenciada na cerimônia de premiação para participar do evento Mostra Científica de Inovação, Tecnologia e Engenharia da Escola Professora Izaura Antonia de Lisboa (MOCITEPIAL) em Arapiraca, AL, em novembro de 2024.

Em entrevista publicada no site da Secretaria da Educação do Estado (SEC) um dos estudantes (E4) explicou:

"Preparamos um questionário para entender como a aprendizagem interdisciplinar dos estudantes se processa durante a visita e analisamos se os alunos fizeram alguma correlação entre o ambiente dos museus e a Astronomia. A partir disso, criamos gráficos para analisar os resultados", já o professor-orientador comentou "É gratificante oportunizar a iniciação científica na Educação Básica, buscando atrair estudantes baianos para a carreira científica. Além disso, desejamos estimular visitas a museus espalhados pela Bahia"⁴¹.

Para o professor-orientador, ver o projeto dos seus estudantes ser exibido em uma mostra científica em outro Estado é uma sensação prazerosa. "É gratificante oportunizar a iniciação científica na Educação Básica, buscando atrair estudantes

⁴¹ Publicado no site da Secretaria da Educação do Estado (SEC) com título "Projeto de estudantes feirenses é selecionado para mostra científica, em Alagoas". Disponível em < <https://estudantes.educacao.ba.gov.br/noticias/projeto-de-estudantes-feirenses-e-selecionado-para-mostra-cientifica-em-alagoas>>, acesso em 03 de julho de 2024.

baianos para a carreira científica. Além disso, desejamos estimular visitas a museus espalhados pela Bahia", comentou. A Figura 4.18 ilustra as apresentações do trabalho⁴².

Para Leite, Pereira e Barbosa (2022) a iniciação científica, tradicionalmente realizada no ensino superior, tem-se realizada também no nível médio de ensino, com semelhanças principalmente quanto aos aspectos formativos.

Figura 4.18 - Apresentação de pôster do trabalho "Visita de estudantes ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia na perspectiva da aprendizagem interdisciplinar de Astronomia". (A) Etapa Territorial e (B) Etapa Estadual da 11ª Feira de Ciências, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia. (C) MILSET BRASIL 2024.



Fonte: Registradas pelos autores.

4.10 PRODUTOS EDUCACIONAIS

Os produtos educacionais gerados neste trabalho foram os seguintes e-books: "Sequência didática para o ensino e aprendizagem da Astrobiologia", "Rodas de conversa com estudantes sobre Astrobiologia", "Caderno de resumos e pôsteres de trabalhos científicos sobre Astrobiologia apresentados em eventos" e "Exposição Astrobiologia vai à Escola", ver Figura 4.19.

⁴² Vale destacar que hospedagens, refeições e deslocamentos para os eventos foram custeados pela Secretaria da Educação do Estado (SEC).

Figura 4.19 – Capa dos produtos educacionais elaborado a partir da dissertação do Mestrado Profissional em Astronomia, na área de concentração Ensino e Difusão de Astronomia, da Universidade Estadual de Feira de Santana, intitulada “Ensino de Biologia contextualizado na Astronomia: contribuições da expografia de microrganismos extremófilos”, defendida no ano de 2024.



Fonte: Registradas pelos autores.

Elaborado em determinado contexto sócio-histórico-cultural e respaldado num referencial teórico-metodológico, esses produtos educacionais podem ser usados e compartilhados de modo crítico por professores e outros profissionais envolvidos com o ensino e divulgação científica em escola, universidade, centros e museus de ciência.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Astrobiologia possibilitou interfaces entre Arte, Ciência e Filosofia. Abarcar essa relação permitiu articulações entre a abordagem educacional Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a filosofia educacional de Paulo Freire nos questionamentos sobre a origem e o futuro da vida na Terra ou fora dela, sendo a escola um espaço educacional privilegiado para tal acontecimento e o Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia o ponto de partida.

Entende-se que na sequência didática conhecimentos conceituais relacionados a temática origem da Vida, pode ser articulado e aprofundado com os recentes conhecimentos fornecidos pela Astrobiologia, caracterizada como eixo integrador de conteúdos na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química).

Diante deste contexto, o debate promoveu etapas de investigação científica com processos de argumentação, desenvolvendo o pensamento crítico dos estudantes e estabelecendo consenso sobre a possibilidade da existência de vida fora da Terra. Em linhas gerais, um grupo argumentou que se houve manutenção e expansão da vida mesmo sob a diversidade de situações geofísicas e geológicas que se deram na Terra é possível a existência de vida fora da Terra; outro grupo, argumentou que a falta de um sistema planetário que preservou uma arquitetura semelhante como a nossa forja que não é possível a existência de vida fora da Terra. Assim, um terceiro grupo ao avaliar as evidências e explicações dos grupos anteriores estabelece o consenso de que há microrganismos extremófilos vivendo fora da Terra.

Por meio de rodas de conversa, em torno dos temas Astrobiologia e divulgação científica em museus, estabeleceu-se relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedades (CTS) de maneira vinculada a realidade dos estudantes, a partir de seus questionamentos a astrofísico, astrônoma e astrônomo que lecionam numa universidade pública local. A isto se acrescenta o fato da aproximação entre o estudante da escola pública de ensino médio e a universidade, assim como a abordagem da trajetória acadêmica e profissional da mulher na área de ciências exatas, no caso a Astronomia.

Apesar da livre opção de estudantes chegarem a um museu e aprender, ainda existe a necessidade de a escola criar um canal que assegure esse direito, propondo no planejamento visitas escolares a museus, uma vez que são territórios pouco explorados espontaneamente. Nos museus de ciência visitados os estudantes acessaram a patrimônio científico e cultural, identificando temas associados à área da Astrobiologia como a origem do Universo, da Terra e da vida, além do futuro da vida na Terra ao comprometermos a saúde dos oceanos. Cabe destacar que a visualização do registro de vida mais antigo da Bahia (299-251 milhões de anos) no Salão de Fósseis no Museu Geológico da Bahia, colabora no entendimento do que é na realidade um ser vivo primitivo na escala evolutiva.

A observação da lua Europa de Júpiter através de telescópio, produziu evidências de alvos astrobiológicos e foi oportuno para o momento atual de abordagens não-científicas, por exemplo o movimento terraplanista, que podem ser danosas quando influenciam políticas públicas. Cabe destacar que ao participarem da observação, emoções se mostraram relevantes e foram sentidas no discurso espontâneo.

A composição de poemas a partir da contemplação do céu e a criação colaborativa do desenho fruição cosmológica mesclou Arte, Ciência e Filosofia. De tal modo, numa perspectiva estética e poética os estudantes vivenciaram um olhar crítico e emancipatório sobre as tensões da adolescência e conceitos astronômicos, além de antecipar questões: por que devemos tocar em Marte?

A modelização de como a vida poderia ter surgido em uma fonte hidrotermal submarina sob o impulso da descoberta de microrganismos extremófilos proposta neste estudo foi atrativa, coerente do ponto de vista educativo e ampliou os conhecimentos sobre a origem da vida no contexto da Astrobiologia e Astroquímica, contribuindo para entendimento interdisciplinar da busca por vida em outros corpos celestes, por exemplo, na lua Europa de Júpiter, de maneira clara e objetiva, oportunizando questionamentos, argumentação e olhar crítico sobre a ciência.

Na extroversão o observador (o pesquisador) e os observados (os visitantes da exposição) dialogaram permitindo compreender que a expografia (planejamento e materialização) provocou no público visitante a curiosidade, vista como subjacente a nova aprendizagem, na possibilidade da existência de vida fora da Terra. Além disso, dois dos estudantes, sujeitos da pesquisa, por iniciativa própria atuaram como

monitores da exposição em determinado período, remetendo a percepção de pertencimento.

A participação tanto nas Etapas Territorial e Estadual da 11ª Feira de Ciências, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia quanto no MILSET BRASIL 2024 com apresentação de pôster “Visita de estudantes ao Museu Antares de Ciência e Tecnologia na perspectiva da aprendizagem interdisciplinar de Astronomia”, despertou o interesse científico e incentivou talentos de estudantes da Rede Estadual de Educação, fortalecendo a iniciação científica do currículo da educação básica em diálogo com as demandas territoriais.

Vale ressaltar que a execução das modalidades didáticas desse estudo, esbarrou em obstáculos, por exemplo, o tempo horas-aula para os conteúdos disciplinares, na contramão do novo ensino médio, se fazendo necessário uma adequação pedagógica do tempo-espaço escolar para as atividades que promoveram articulação interdisciplinar. Outro obstáculo foi a observação do céu noturno que pressupõe deslocamento do estudante público-alvo no trajeto de casa-escola-casa, motivo identificado para a baixa adesão. Além disso, cabe destacar que é preciso promover a temática Vida e evolução como eixo integrador de conteúdos do componente curricular Biologia para ampliação da compreensão científica de modelos explicativos. Por outro lado, a ancoragem da concepção, montagem e avaliação da expografia nos componentes curriculares Projeto Experimental I e II possibilitou manter os processos contínuos de aprendizagem.

Por fim, considera-se que a concepção, montagem e avaliação da expografia contribuiu de forma prazerosa para divulgação e popularização da Astrobiologia, redimensionando conteúdos de natureza científico e culturais, mediado por modalidades didáticas diversas, voltadas ao entendimento contextualizado sobre a busca de vida em ambientes extraterrestres análogos a Terra. Desse contexto emerge os *e-books* “Sequência didática para o ensino e aprendizagem da Astrobiologia”, “Rodas de conversa com estudantes sobre Astrobiologia”, “Caderno de resumos e pôsteres de trabalhos científicos sobre Astrobiologia apresentados em eventos” e “Exposição Astrobiologia vai à Escola”, como produtos educacionais para a promoção de uma educação da Astrobiologia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.D.S.; GEHLEN, S.T. ORGANIZAÇÃO CURRICULAR NA PERSPECTIVA FREIRE-CTS: PROPÓSITOS E POSSIBILIDADES PARA A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 21, e11994, 2019.

ALMEIDA, P.; MARTÍNEZ, A.M. As pesquisas sobre aprendizagem em museus: uma análise sob a ótica dos estudos da subjetividade na perspectiva histórico-cultural. *Ciênc. educ.*, v. 20, n. 3, pp. 721-737, 2014.

ALVES-BRITO, A.; CORTESI, A. Complexidade em Astronomia e Astrof[ísica]. *Rev. Bras. Ensino Fís.* v. 43, suppl. 1, e20200418, 2020.

ALVES-BRITO, A.; MASSONI, N.T. *Astrofísica para a educação básica: a origem dos elementos químicos no Universo*. 1. ed. Curitiba: Appris, 2019.

AMABIS, J.M. *et al. Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Universo e Evolução*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

AMADOR, D.D.; MANDETTA, M.A. Desenvolvimento e validação de um jogo de tabuleiro para crianças com câncer. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 35, p. eAPE00121, 2022.

ARAÚJO-JORGE, T.C. Relações entre ciência, arte e educação: relevância e inovação. *FIOCRUZ*, 2007.

ARAUJO, O.S.C.C.; CACHIONI, M. Idosos visitantes de museus: um estudo de público em instituições brasileiras. *An. mus. Paul.*, v. 31, p. 1-39. e36, 2023.

ATHAYDE, S.A. *Processo educacional no ensino de Ciências e Biologia na perspectiva da Astrobiologia*. 2015. 60f. Dissertação (Mestrado Profissional em Astronomia) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2015.

BAHIA. Secretaria da Educação do Estado da Bahia. *Documento Curricular Referencial da Bahia para o Ensino Médio* (v. 2). Rio de Janeiro: FGV Editora, 2022. 563 p.

BAHIA. Secretaria da Educação do Estado da Bahia. *Edital 00075549758 e Processo nº 011.5560.2023.0061587-77 nº 011.5560.2023.0061587-77*, para seleção de projetos de pesquisas de iniciação científica dos/as estudantes da rede estadual de ensino na 11ª Feira de Ciências, Empreendedorismo Social e Inovação da Bahia – FECIBA, 2023.

BARDIN, L. *Análise do conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2020.

BAROSS, J.A.; HOFFMAN, S.E. Submarine hydrothermal vents and associated gradient environments as sites for the origin and evolution of life. *Orig Life Evol Biosph*, v. 15, p. 327–345, 1985.

BAUER, J.E.A. *Construção de um Discurso Expográfico*: Museu Irmão Luiz Godofredo Gartner. Florianópolis, SC, 2014. 117 p.

BELISARIO, R. A busca pela vida fora da Terra continua em planetas semelhantes ao nosso. *Ciênc. Culto.*, v. 67, n. 4, p. 14-16, 2015.

BERTRAND, J.C. *et al.* For three billion years, microorganisms were the only inhabitants of the earth. *In*: Bertrand, J.C. *et al.* (eds). *Environmental Microbiology: Fundamentals and Applications*. Springer: Dordrecht, 2015.

BLUMBERG, B.S. The NASA Astrobiology Institute: early history and organization. *Astrobiology*, v. 3, n. 3, p. 463-70, 2003.

BORDINHÃO, K.; VALENTE, L.; SIMÃO, M.S. *Instituto Brasileiro de Museus*. Caminhos da memória: para fazer uma exposição. Brasília, DF: IBRAM, 2017. 88p.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução nº 1, de 27 de outubro de 2020. *Diário Oficial da União*, Brasília, 29 de outubro de 2020, Seção 1, pp. 103-106.

BRASIL. Lei Complementar n. 140, de 8 de dezembro de 2011. Brasília, DF: Presidência da República, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *Documento de área 2013 (Ensino)*. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. *Guia Digital PNLD 2021*. Brasília: MEC, 2021.

BRETONES, P.S.; COMPIANI, M.A. OBSERVAÇÃO DO CÉU COMO PONTO DE PARTIDA E EIXO CENTRAL EM UM CURSO DE FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 12, n. 2, p. 173-188, 2010.

BRITO, G.M.F. *Ensino de biologia na perspectiva da astrobiologia: origem e evolução da vida no planeta terra*. 2021. 115f. Dissertação (Mestrado Profissional em Astronomia) - Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2021.

CAPECE, M.C. *et al.* Polyextremophiles and the constraints for terrestrial habitability, *In*: Seckbach, J, *et al.* (eds). *Polyextremophiles. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, Lotter. Springer: Dordrecht, 2013.

CARNEIRO, M.H.S.; SANTOS, W.L.P.; MÓL, G.D. Livro didático inovador e professores: uma tensão a ser vencida. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 07, n. 02, p. 101-113, 2005.

CARRIL, M.G.P.; NATÁRIO, E.G.; ZOCCAL, S.I. Considerações sobre aprendizagem significativa, a partir da visão de Freire e Ausubel - uma reflexão

teórica. *e-Mosaicos*, v. 6, n. 13, p. 68-78, dez. 2017.

CHEFER, C.; OLIVEIRA, A.L. Astrobiologia no contexto do ensino de ciências no Brasil: cosmovisões de pesquisadores e professores da área. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 24, e39005, 2022.

CHELINI, M.J.E. Novas tecnologias para. novas (?) expografias. *M&.*, v. 1, n. 2, p. 59-71, 2012.

CHRISTNER, B.C. *et al.* Isolation of bacteria and 16S rDNAs from Lake Vostok accretion ice. *Environ Microbiol.*, v.3, n.9, p.570-7, 2001.

COELHO, J.G. O Telescópio Espacial James Webb: uma nova era na astronomia. *Cad. Astron.*, v. 3, n. 2, 2022.

COIMBRA, C. L. Os Modelos de Formação de Professores/as da Educação Básica: quem formamos? *Educ. Real.*, v. 45, n. 1, e91731, 2020.

COLÍN-GARCÍA, M. *et al.* Hydrothermal vents and prebiotic chemistry: a review. *Bol. Soc. Geol. Mex*, v. 68, n. 3, pp. 599-620, 2016.

CURY, M.X. *Exposição: concepção, montagem e avaliação*. São Paulo: Annablume, 2006. 160p.

DALMORO, M; VIEIRA, K.M. DILEMAS NA CONSTRUÇÃO DE ESCALAS TIPO LIKERT: O NÚMERO DE ITENS E A DISPOSIÇÃO INFLUENCIAM NOS RESULTADOS? *RGO*, v.6, Edição Especial, p.161-174, 2013.

DAMIANI, M.F. *et al.* Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. *Caduc.*, n. 45, p. 57-67, 2013.

DAMINELI, A. Legado incômodo. A história da bactéria GFAJ-1 contaminou a Nasa e a revista Science. *Revista Pesquisa FAPESP*, 2011. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/legado-incomodo/>>, acesso em 21 julho 2023.

DAMINELI, A.; STEINER, J. (Orgs). *O Fascínio do universo*. São Paulo: Odysseus Editora, 2010.

DAMINELI, A.; DAMINELI, D.S.C. Origens da vida. *Estud. av.*, v. 21, n. 59, p. 263-284, 2007.

DES MARAIS, D.J.; WALTER, M.R. Astrobiology: exploring the origins, evolution, and distribution of life in the Universe. *Annu Rev Ecol Syst.*, v. 30, p. 397-420, 1999.

DIAS, I.V.R.; MAIA, H.L.S. *Origem da vida: recentes contribuições para um modelo científico*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

DIAS, T.L.S. Curadoria autoral-coletiva de uma exposição educativa sobre racismo científico: relatando experiências itinerantes. *Rev. Ciênc. & Ideias*, v. 12, n.2, pp. 126-143, 2021.

DOMINGO, R.P.; ARAÚJO, M.A. Os webmuseus e suas ressonâncias na educação on-line. *Paidéi@*, v. 9, p.1-15, 2017.

DUARTE, R.T.D. *et al.* Brazilian research on extremophiles in the context of astrobiology. *Int J Astrobiol*, v. 11, n. 4, p. 325-333. 2012.

FARIAS, M.L.L.; BARBOSA, M.A.A. Integrando o ensino de astronomia e termodinâmica: explorando a zona habitável no diagrama de fases da água. *Rev. Bras. Ensino Fís*, v. 39, n. 4, e4402, 2017.

FARIAS, R. EXOPLANETAS: O QUE SÃO E COMO DETECTAMOS? *Portal SBAstroBio*. 2022. Disponível em <<https://sbastrobio.org/index.php/2022/02/14/exoplanetas-o-que-sao-e-como-detectamos/>>, acesso em 13 de abril de 2024.

FERREIRA, M. *et al.* Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. *Rev. Bras. Ens. Fis.*, v. 43, 2021.

FILIPE, F.A.; SILVA, D.S.; COSTA, A.C. Uma base comum na escola: análise do projeto educativo da Base Nacional Comum Curricular. *Ensaio: aval. pol. públ. educ.*, v. 29, n. 112, pp. 783-803, 2021.

FIORESI, C.A.; SILVA, H.C. Ciência popular, divulgação científica e Educação em Ciências: elementos da circulação e textualização de conhecimentos científicos. *Ciênc. educ.*, v. 28, e22049, 2022.

FRANCO, M.A.R.S. Prática pedagógica e docência: um olhar a partir da epistemologia do conceito. *Rev. Bras. Estud. Pedagog.*, v. 97, n. 247, p. 534-551, 2016.

FUKI, A. *et al.* *Ser protagonista: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Evolução, Tempo e Espaço*. Editores responsáveis André Zamboni, Lia Monguilhott Bezerra. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2020.

GALANTE, D. *et al.* (Orgs). *Astrobiologia: uma ciência emergente / Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia*. São Paulo: Tikinet Edição: IAG/USP, 2016.

GIL, A.C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

GLIEM, J.A.; GLIEM, R.R. Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales In: MIDWEST RESEARCH TO PRACTICE CONFERENCE IN ADULT, CONTINUING, AND COMMUNITY EDUCATION, Columbus, p. 82-88, 2003. *Proceedings...* Ohio - USA: Ohio State University, 2004.

GODOY, L.P.; DELL'AGNOLO, R.M.; MELO, W.C. *Multiversos: ciências da natureza: origens: ensino médio*. 1. ed. São Paulo: FTD, 2020.

GOUVEIA JUNIOR, M. O novo museu e a sociedade da informação. *Perspect. ciênc. inf.*, v. 19, n. 4, pp. 81-93, 2014.

GOMES-SANTOS, S.N. Modos de apropriação do gênero debate regrado na escola: uma abordagem aplicada. *D.E.L.T.A.*, v. 25, n.1, p.39–66, 2009.

GRAEF, L.L. O Modelo de inflação: progressos e desafios. *Cad. Astro.*, v. 4, n. 2, p. 21–31, set. 2023.

HAWKING, S. *Breves respostas para grandes questões*. Tradução Cássio de Arantes Leite. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2018. 256 p.

HAYS, L. *NASA Astrobiology Strategy*. NASA, Washington, 2015, 256p.

HORA, H.R.M.; MONTEIRO, G.T.R.; ARICA, J. Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. *Produto & Produção*, v.11, n.2, p.85-103, 2010.

IBARRA, A.C.R.; RAMOS, N.B.; OLIVEIRA, M.Z. Desafios das mulheres na carreira científica no Brasil: uma revisão sistemática. *Rev. bras. orientac. Prof.*, v. 22, n. 1, p. 17-28, 2021.

JAGGARD, V. Travel Through deep time with this interactive Earth. *Smithsonian Magazine*, 30 set. 2014.

JAVAUX, E.J.; DEHANT, V. Habitability: from stars to cells. *Astron Astrophys Rev*, v. 18, n. 3, p. 383-416, 2010.

KNAUSS, P. A presença de estudantes o encontro de museus e escola no Brasil a partir da década de 50 do século XX. *Varia hist.*, v. 27, n. 46. p. 581-597, jul/dez 2011.

KOONIN, E.V.; MARTIN, W. On the origin of genomes and cells within inorganic compartments. *TRENDS in Genetics* v.21, n.12, 2005.

LEFEVRE, F.; LEFEVRE, A.M.C.; MARQUES, M.C.C. Discurso do sujeito coletivo, complexidade e auto-organização. *Ciênc. saúde coletiva*, v.14, n.4, p.1193-1204, 2009.

LEITE, E.G.; PEREIRA, R.C.M.; BARBOSA, M.S.M.F. A INICIAÇÃO CIENTÍFICA NOS CONTEXTOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA E SUPERIOR: DOS DOCUMENTOS OFICIAIS AOS ASPECTOS FORMATIVOS. *Alfa, Rev. Linguíst.*, v. 66, e13679, 2022.

LÉVY, P. *Cibercultura*. Tradução de Carlos Irineu da Costa. São Paulo: Ed. 34, 1999.

LIMA, G.D.S.; RAMOS, J.E.F.; PIASSI, L.P.D.C. CIÊNCIA, POESIA, FILOSOFIA: DIÁLOGOS CRÍTICOS DA TEORIA À SALA DE AULA. *Educ rev*, v. 36, p. e215986, 2020.

LIMA, J.C. Uso público da razão e argumentação: análise dos debates sobre o Programa Mais Médicos. *Interface*, v. 21, p.1115–1127, 2017.

LINEWEAVER, C.H.; FENNER, Y.; GIBSON, B.K. The galactic habitable zone and the age distribution of complex life in the Milky Way. *Science*. v. 303, p. 59-62, 2004.

LINEWEAVER, C.H; CHOPRA, A. The Habitability of Our Earth and Other Earths: Astrophysical, Geochemical, Geophysical, and Biological Limits on Planet Habitability. *Annu Rev Earth Planet Sci*, v. 40, p. 597–623, 2012.

LIU, F.; LI, N.; ZHANG, Y. The radioresistant and survival mechanisms of *Deinococcus radiodurans*, *Radiation Medicine and Protection*, v. 4, p. 70-79, 2023.

LONGUINHOS, R.R. *Divulgação científica em astrobiologia por meio de exposição como promotora do ensino interdisciplinar entre biologia, física e química*. 2020. 167p. Dissertação (Mestrado Profissional em Astronomia) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

LOPES, S.; ROSSO, S. *Ciências da natureza: Lopes & Rosso: Evolução e Universo*. Editora responsável Maíra Rosa Carnevalle. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

LÜDKE, M.; CRUZ, G.B. Aproximando universidade e escola de educação básica pela pesquisa. *Cad. Pesqui.*, v. 35, n. 125, p. 81-109, 2005.

MADIGAN, M.T. *et al. Microbiologia de Brock*. Tradução de Alice Freitas Versiani *et al.* 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 1032p.

MANSUR, V. *et al.* Da publicação acadêmica à divulgação científica. *Cad. Saúde Pública*, v.37, n.7, e00140821, 2021.

MARANDINO, M. A pesquisa educacional e a produção de saberes nos museus de ciência. *Hist. cienc. saude-Manguinhos*, v. 12 (suplemento), p. 161-81, 2005.

MARCY, Y. *et al.* Dissecting biological “dark matter” with single-cell genetic analysis of rare and uncultivated TM7 microbes from the human mouth. *PNAS*, v. 104, n. 29, p. 11889-11894, 2007.

MARGULIS, L.; SAGAN, D. *Microcosmos – quatro bilhões de anos de evolução de nossos ancestrais microbianos*. Trad. Mirtes Frange de Oliveira Pinheiro. São Paulo: Cultrix, 2011.

MARQUES, H.R. *et al.* Inovação no ensino: uma revisão sistemática das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. *Avaliação*, v. 26, n. 03, p. 718-741, 2021.

MARTIN, W.; RUSSELL, M.J. On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. v. 358, p. 59–85, 2003.

MARTINS, A.G.; GONSALVES, R.; ESTEVAO, I.R. Terraplanismo: perspectivas psicanalíticas de um movimento. *Analytica*, v. 11, n. 20, p. 1-20, 2022.

MARTINS, Z. *et al.* Earth as a Tool for Astrobiology - A European Perspective. *Space Sci Rev*, v. 209, p. 43–81, 2017.

MASSARANI, L. *et al.* A experiência de adolescentes ao visitar um museu de ciência: um estudo no Museu da Vida. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 21, e1052, 2019.

MASSARANI, L. *et al.* EXPERIÊNCIAS DE APRENDIZAGEM EM VISITA FAMILIAR À EXPOSIÇÃO “QUANDO NEM TUDO ERA GELO” DO MUSEU NACIONAL. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 24, p. e35674, 2022.

MASSARANI, L.; LEAL, T.; WALTZ, I. O debate sobre vacinas em redes sociais: uma análise exploratória dos links com maior engajamento. *Cad. Saúde Pública*, v. 36, n. Suppl 2, e00148319, 2020.

MATTHIENSEN, A. *Uso do Coeficiente Alfa de Cronbach em Avaliações por Questionários*. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2010.

MCMANUS, P. *Educação em museus: pesquisas e prática*. São Paulo: FEUSP, 2013. 97p.

MEDEIROS, E.A.; AMORIM, G.C.C. Análise textual discursiva: dispositivo analítico de dados qualitativos para a pesquisa em educação. *Laplage em Revista*, v.3, n.3, pp.247-260, 2017.

MELLO, G.P. Planetas habitáveis. *In: Galante, D. et al. (Orgs). Astrobiologia: Uma Ciência Emergente*. São Paulo: Tikinet Edição: IAG/USP, 2016. cap. 4, p. 75-93.

MÉNDEZ, A. *et al.* Habitability Models for Astrobiology. *Astrobiology*, v. 21, n. 8, p. 1017-1027, 2021.

MERINO, N. *et al.* Living at the Extremes: Extremophiles and the Limits of Life in a Planetary Context. *Front in Microbiol*, v. 10, 2019.

MINAYO, M.C.S.; SANCHES, O. Quantitativo-Qualitativo: Oposição ou Complementaridade? *Cad. Saúde Públ.*, v.9, n.3, p.239-262, 1993.

MORAES, A.C.; CASTRO, F.M.F.M. Por uma estetização da escrita acadêmica: poemas, cartas e diários envoltos em intenções pedagógicas. *Rev. Bras. Educ.*, 2018, v. 23, e230091, 2018.

MOREIRA, M.C.A. *et al.* Produtos educacionais de um curso de mestrado profissional em ensino de ciências. *R. Bras. Ens. Ci. Tecnol.*, v. 11, n. 3, p. 344-363, 2018.

MORTIMER, E. *et al.* *Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar: Origens: o Universo, a Terra e a Vida*. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2020.

MOURA, A.F.; LIMA, M.G. A Reinvenção da Roda: Roda de Conversa, um instrumento metodológico possível. *RTE*, v. 23, n. 1, p. 95–103, 2014.

NASCIMENTO, A.K.C.; BADUY, R.S. Simulação, oficina e roda de conversa: estratégias de aprendizagem ativa na saúde. *EemD*, v. 43, n. 84, p. 152-167, 2021.

NASCIMENTO-DIAS, B.L. *et al.* As bases filosóficas da astrobiologia. *Opinião Filosófica*, v. 14, n. 1, 2023.

NEITZEL, C.L.V. *Aplicação da astronomia ao ensino de física com ênfase em astrobiologia*. 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006

OGO, M.Y.; GODOY, L.P. *Coleção #contato biologia*. 1º ano. 1. ed. São Paulo: Quinteto Editorial, 2016.

ORLANDI, E.P. *Análise do Discurso: princípios e procedimentos*. 12ª edição. Campinas: Pontes Editores, 2015.

PAULINO-LIMA, I.G. *Investigação das condições de sobrevivência de microrganismos extremófilos em ambientes extraterrestres simulados*, 2010. 256 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

PEZZATO, L.M.; L'ABBATE, S. O uso de diários como ferramenta de intervenção da Análise Institucional: potencializando reflexões no cotidiano da Saúde Bucal Coletiva. *Physis*, v. 21, n. 4, p. 1297-1314, 2011.

PRATO DO DIA #59. Astrobiologia, a busca científica por vida extraterrestre, vive um momento especial. Entrevistado: Douglas Galante. Entrevistador: Pablo Nogueira e Fabio Mazzitelli. 16 de novembro de 2023. *Podcast*.

QUILLFELDT, J.A. Astrobiologia: água e vida no sistema solar e além. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 27, n. Especial, p. 685-697, dez. 2010.

RAMOS, L.O.L.; FERREIRA, R.A. Sobre uma práxis interdisciplinar: aproximações e proposições conceituais. *Rev. bras. Estud. pedagog.*, v. 101, n. 257, pp.197-216, 2020.

RIZZATTI, I.M. *et al.* Os produtos e processos educacionais dos programas de pós-graduação profissionais: proposições de um grupo de colaboradores. *ACTIO*, v. 5, n. 2, p. 1-17, mai./ago. 2020.

RODRIGUES, F. *et al.* Astrobiology in Brazil: Early history and perspectives. *Int J Astrobiol*, v. 11, n. 4, p. 189-202, 2012.

RODRIGUES, F.; SILVA, E.P. Busca de vida fora da Terra. *In: Galante, D. et al. (Orgs). Astrobiologia: Uma Ciência Emergente*. São Paulo: Tikinet Edição: IAG/USP, 2016. cap. 11, p. 217-234.

RODRIGUES, F.; GALANTE, D.; AVELLAR, M.G.B. Astrobiologia: Estudando a vida no Universo. *In: Galante, D. et al. (Orgs). Astrobiologia: Uma Ciência Emergente*. São Paulo: Tikinet Edição: IAG/USP, 2016.

ROTHSCHILD, L.J.; MANCINELLI, R. L. Life in extreme environments. *Nature*, v. 409, n. 6823, p. 1092-1101, 2001.

RUFINI, S.E.; BZUNECK, J.A.; OLIVEIRA, K.L. A Qualidade da Motivação em Estudantes do Ensino Fundamental. *Paidéia*, v. 22, n. 51, p. 53-62, 2012.

RUSSELL, M.; HALL, A.; MARTIN, W. Serpentinization as a source of energy at the origin of life. *Geobiology*, v. 8, n. 5, p. 355–371, 2010.

RUSSELL, M.J.; HALL, A.J. The emergence of life from iron monosulphide bubbles at a submarine hydrothermal redox and pH front. *J Geol Soc London*, v. 154, p. 377–402, 1997.

RUSSELL, M.J.; MURRAY, A.E.; HAND, K.P. The Possible Emergence of Life and Differentiation of a Shallow Biosphere on Irradiated Icy Worlds: The Example of Europa. *Astrobiologia*, v. 17, n. 12, 2017.

RUSSO, M.E. *Astrobiologia: uma proposta de experimento e perfil dos pesquisadores no Brasil*. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

SAGAN, C. *Cosmos*. Tradução Paul Geiger. 1ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

SANTOS, K.C. *et al. Diálogo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: O Universo da Ciência e a Ciência do Universo*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

SANTOS, K.K.P.; ROCHA, J.N. Territórios pouco explorados: o estudo dos registros de visitantes em livros de comentários de dois museus de ciências brasileiros. *Perspect. ciênc. inf.*, v.26, n. 3, p. 159-178, 2021.

SANTOS, M.S. Integração e diferença em encontros disciplinares. *Rev. bras. Ci. Soc.*, v. 22, n. 65, p. 51–60, out. 2007.

SANTOS, M.I. *Temas atuais no ensino de biologia: abordando a astrobiologia no contexto da origem da vida*. 2019. 69f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Biologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, 2019.

SANTOS, T.A.S.; SILVA, M.A.A.; MARTINS, M.R. Ensino de Biologia sob as lentes da Educação CTS: uma análise crítica dos cadernos de apoio à aprendizagem do estado da Bahia. *R. Ens. Biol.*, v. 16, n. nesp.1, p. 754–776, 2023.

SANTOS, W.L.P.; MORTIMER, E.F. Uma análise dos pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (ciência-tecnologia-sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ens. Pesqui. Educ. Ciência.*, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000.

SASSERON, L.H. Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: relações entre Ciências da natureza e escola. *Ens. Pesqui. Educ.*

Ciênc., v.17, n. especial, p. 49-67, 2015.

SCARPA, D.L. O PAPEL DA ARGUMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS: LIÇÕES DE UM WORKSHOP. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.*, v. 17, n. spe, pp. 15-30, 2015.

SCHRENK, M.O.; BRAZELTON, W.J.; LANG, S.Q. Serpentinization, Carbon, and Deep Life. *Rev Mineral Geochem.* v. 75, n. 1, pp. 575-606, 2013.

SCHRÖDINGER, E. *O que é vida? O aspecto físico da célula viva – seguido de Mente e matéria e Fragmentos autobiográficos.* Tradução de Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997. (UNESP/Cambridge).

SCHWIETERMAN, E.W. *et al.* Exoplanet biosignatures: a review of remotely detectable signs of life. *Astrobiology*, v. 18, n. 6, p. 663-708, 2018.

SEAGER, S. *et al.* The Venusian Lower Atmosphere Haze as a Depot for Desiccated Microbial Life: A Proposed Life Cycle for Persistence of the Venusian Aerial Biosphere. *Astrobiology*, v. 21, n. 10, p. 1206-1223, 2021.

SETTON, M.G.J.; OLIVEIRA, M.M. OS MUSEUS COMO ESPAÇOS EDUCATIVOS. *Educ. rev.*, v. 33, e162678, 2017.

SIEGERT, M. *et al.* Physical, chemical and biological processes in Lake Vostok and other Antarctic subglacial lakes. *Nature*, v. 414, p.603–609, 2001.

SIFFERT, B.B. A procura por exoplanetas habitáveis. *Cad. Astron.*, v. 3, n. 2, p. 4-15, 2022.

SILVA, D.C.D. *et al.* Características de pesquisas qualitativas: estudo em teses de um programa de pós-graduação em educação. *Educ. rev.*, v. 38, e26895, 2022.

SILVA, F.S.; CATELLI, F. Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 4, p. e20190029, 2019.

SILVA, J.C.; ROBERTO, A.J.; ALVES, J.C.P. Detecção do trânsito planetário de um exoplaneta com um telescópio de pequena abertura. *Rev. Bras. Ensino Fís*, v. 42, e20200131, 2020.

SILVA, N.B.; TEIXEIRA, P.M.M. Evolução biológica: dificuldades e fatores variáveis na aprendizagem dos estudantes do ensino médio. *R. Ens. Biol.*, v.14, n.2, p.817–837, 2021.

SILVA, R.O. *et al.* E-books como produtos educacionais: definição e tópicos de construção segundo o método científico-tecnológico. *In: DICKMANN, Ivo (Org.). Mosaico Temático.* Chapecó: Editora Livrologia, 2020. p. 161-181.

SILVA, V.B. *Ensino dos aspectos físicos na astrobiologia para alunos do ensino*

médio. 2019. 92 f.: il. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do ABC, 2019.

SPINA, L. *et al.* Chemical evidence for planetary ingestion in a quarter of Sun-like stars. *Nat Astron*, v.5, p.1163–1169, 2021.

STEINER, J.E. A origem do universo. *Estud. av.*, v. 20, n. 58, pp. 231-248, 2006.

STRIEDER, R.B.; KAWAMURA, M.R.D. Educação CTS: Parâmetros e Propósitos Brasileiros. *ALEXANDRIA: R. Educ. Ci. Tec.*, v. 10, n. 1, p. 27-56, 2017.

TEIXEIRA, O.P.B. A Ciência, a Natureza da Ciência e o Ensino de Ciências. *Ciênc. educ.*, v. 25, n. 4, pp. 851-854, 2019.

THIESEN, J.S. A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem. *Rev. Bras. Educ.*, v. 13, n. 39, p. 545–554, 2008.

THOMPSON, M. *et al.* *Conexões: Ciências da Natureza e Suas Tecnologias: Terra e equilíbrios*. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

TORRESI, S.I.C.; PARDINI, V.L.; FERREIRA, V.F. Sociedade, divulgação científica e jornalismo científico. *Quím. Nova*, v. 35, n. 3, p. 447–447, 2012.

TYSON, N.G. *Respostas de um astrofísico*. Tradução de Nicolas Pettengrill. 1ª ed. Rio de Janeiro: Record, 2020. 272 p.

VALENTE, M. E.; CAZELLI, S.; ALVES, F. Museus, ciência e educação: novos desafios. *Hist. cienc. saude-Manguinhos*, v. 12, p. 183–203, 2005.

VIEIRA, F. *et al.* Habitabilidade cósmica e a possibilidade de existência de vida em outros locais do universo. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, v. 40, n. 4, e4308, 2018.

WAGENSBERG, J. *Principios fundamentales de la museología científica moderna*. In: *Patrimonio, museos y ciudad*. Cuaderno Central, n. 55, p. 22-24, 2001.

WESTALL, F. *et al.* A Hydrothermal-Sedimentary Context for the Origin of Life. *Astrobiology*, v. 18, n. 3, 2018.

WESTALL, F. *et al.* Habitability on Mars from a microbial point of view. *Astrobiology*, v. 13, n. 9, p. 887-897, 2013.

WESTALL, F. *et al.* The Habitability of Venus, *Space Sci Rev*, v. 219, n. 17, 2023.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1998.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Estudante, você está sendo convidado(a) a participar voluntariamente de uma pesquisa sobre a vida em ambientes extremos de nosso próprio planeta e maneiras de detectar sinais de vida em planetas e luas de nosso Sistema Solar e em exoplanetas. Caso você não queira participar, não há problema algum. Se aceitar, você participará de rodas de conversas com cientistas, observações do céu com telescópio, montagem e monitoria de uma exposição. Ainda se aceitar, você poderá sair da pesquisa a qualquer momento, sem dar nenhuma explicação.

Os encontros serão em sala de aula, pátio e auditório da escola, além disso, no Observatório Astronômico Antares da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Tanto os materiais estruturais e visuais para exposição, quanto à visita ao Observatório serão custeados integralmente pela escola e/ou pelos pesquisadores. Nenhum dado que possa identificá-lo(a) será utilizado e fotos que venham ser utilizadas estarão devidamente cuidadas para não identificá-lo(a).

Os possíveis benefícios resultantes da sua participação são apropriação do conhecimento, divulgação e popularização da ciência e tecnologia. Contudo, esta investigação também pode trazer riscos ao manusear materiais, por exemplo, telescópio, suportes expositivos, cenografia, e para reduzir os riscos será realizado treinamento.

Caso você tenha dúvidas, poderá entrar em contato com o pesquisador responsável o professor Rodrigo de Queiroz Oliveira, pelo telefone/WhatsApp (75) 98193-0856 e/ou pelo e-mail rodrigodeqo@yahoo.com.br. Esse Termo é assinado em duas vias, sendo uma sua e a outra para os pesquisadores.

Declaração de Consentimento: Concordo em participar do estudo intitulado expografia “Microrganismos extremófilos como modelos para busca de vida extraterrestre”.

Assinatura do participante ou responsável _____

Assinatura do professor pesquisador _____

Local e Data: _____

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS SOBRE VISITAS AOS MUSEUS DE CIÊNCIA

Questionário 1

Já havia visitado algum museu anteriormente? Em caso afirmativo, qual(is)?

Questionário 2

Na sua opinião, as exposições do museu visitado abordaram a temática da Astrobiologia? Em caso afirmativo, qual(is)?

Questionário 3

Considerando a visita ao Museu, faça um X para indicar sua opção de resposta.

QUESTÕES	OPÇÃO DE RESPOSTA				
A aprendizagem no Museu foi diferente da aprendizagem no contexto escolar.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
A mediação dos monitores/guias do Museu contribuiu para que eu obtivesse aprendizagem correta dos conteúdos abordados na exposição.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
Os módulos expositivos/salas temáticas do Museu fizeram conexões com minha vida cotidiana, com meu contexto sociocultural e com minhas experiências prévias.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
A visita ao Museu encoraja a montagem de uma exposição na minha escola para divulgação e educação de conhecimentos científicos.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)

Fonte: Elaborado pelos autores.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO SOBRE OFICINAS PARA TRANSPOSIÇÃO DE UM MODELO CIENTÍFICO PARA UM MODELO DIDÁTICO

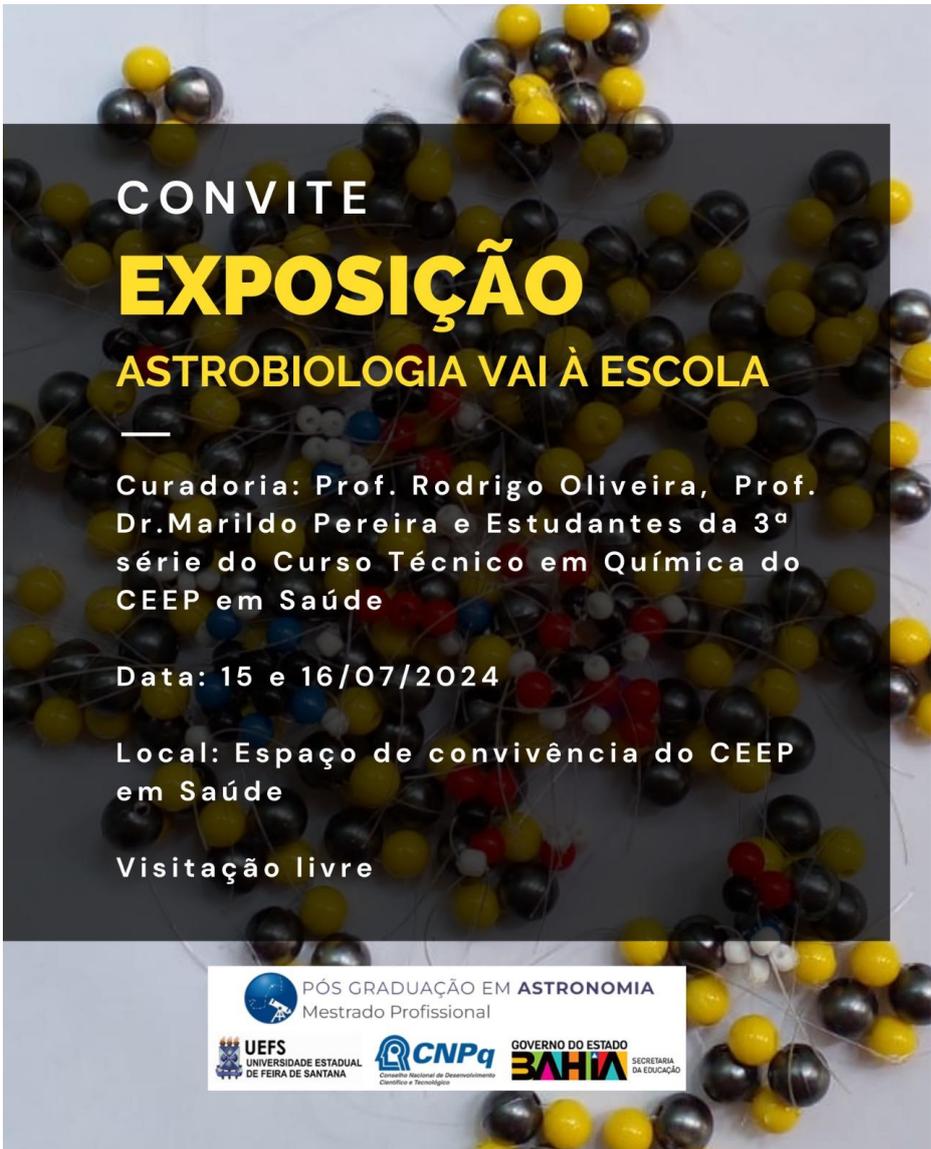
Questionário

Considerando a simulação do modelo de como a vida poderia ter surgido em uma fonte hidrotermal submarina, faça um X para indicar sua opção de resposta.

QUESTÕES	OPÇÃO DE RESPOSTA				
O modelo é coerente do ponto de vista educativo.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
As informações das estruturas que compõem o modelo estão apresentadas de maneira clara e objetiva.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
A aparência do modelo é atrativa e adequada.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
O tempo de duração da montagem do modelo está adequado.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)
O modelo propõe ao estudante adquirir conhecimento sobre origem da vida.	Discordo totalmente (1)	Discordo (2)	Sem condições de opinar (3)	Concordo (4)	Concordo totalmente (5)

Fonte: Elaborado pelos autores.

APÊNDICE D – CONVITE EXPOSIÇÃO ASTROBIOLOGIA VAI À ESCOLA



CONVITE
EXPOSIÇÃO
ASTROBIOLOGIA VAI À ESCOLA

Curadoria: Prof. Rodrigo Oliveira, Prof. Dr. Marildo Pereira e Estudantes da 3ª série do Curso Técnico em Química do CEEP em Saúde

Data: 15 e 16/07/2024

Local: Espaço de convivência do CEEP em Saúde

Visitação livre

 PÓS GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
Mestrado Profissional

 UEFS
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DE FEIRA DE SANTANA

 CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico

 GOVERNO DO ESTADO
BAHIA
SECRETARIA
DA EDUCAÇÃO

Fonte: Elaborado pelos autores.

APÊNDICE E – TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, LEVANTADOS E ANALISADOS POR ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO DA REDE ESTADUAL DE ENSINO, TENDO EM VISTA A PRODUÇÃO DO DEBATE SOBRE AS POSSIBILIDADES DE EXISTÊNCIA DE VIDA FORA DA TERRA

(continua)

Fonte	Título	Dados da publicação	Link para o site	Data de acesso
Aventuras na História	Ex-cientista da NASA afirma que vida alienígena foi encontrada em Marte, na década de 1970	Alana Sousa. Publicado em 15 de outubro de 2019.	https://aventurasnahistoria.uol .com.br/noticias/historia- hoje/ex-cientista-da-nasa- afirma-que-vida-alienigena- foi-encontrada-em-marte-na- decada-de-1970.phtml	19 de maio de 2023
BBC News Brasil	Por que cientistas de renome cada vez mais defendem a busca por vida extraterrestre	Pallab Ghosh, 17 de fevereiro de 2020.	https://www.bbc.com/portuguese/geral-51525919	15 de maio de 2023
CNN Brasil	'Terra 2.0': Conheça os exoplanetas candidatos para abrigar a humanidade	Wesley Galzo, 27 de fevereiro de 2021.	https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/terra-20-conheca-os-exoplanetas-candidatos-para-abrigar-a-humanidade/	19 de maio de 2023
Correio Braziliense	Aumentam evidências de que satélite de Júpiter pode abrigar vida	Paloma Oliveto. Postado em 20 de abril de 2022. Atualizado em 20 de abril de 2022.	https://www.correiobraziliense .com.br/ciencia-e- saude/2022/04/5001682- aumentam-evidencias-de- que-satelite-de-jupiter-pode- abrigar-vida-humana.html	19 de maio de 2023
El País	Por que é possível que estejamos sozinhos no universo?	Patricia Sánchez Blázquez e Pablo G. Pérez González, 11 de julho de 2020	https://brasil.elpais.com/ciencia/2020-07-11/por-que-e-possivel-que-estejamos-sozinhos-no-universo.html	19 de maio de 2023
Exame	9 evidências científicas de que alienígenas podem existir	Marina Demartini Publicado em 1 de novembro de 2015. Última atualização em 13 de setembro de 2016.	https://exame.com/ciencia/9- evidencias-cientificas-de-que- alienigenas-podem-existem/	19 de maio de 2023
g1	Novo planeta que pode ser habitável é encontrado pela Nasa	Por Júlia Putini, 12 de janeiro de 2023.	https://g1.globo.com/ciencia/n oticia/2023/01/12/novo- planeta-que-pode-ser- habitavel-foi-encontrado-pela- nasa.ghtml	15 de maio de 2023
g1	Gás, água e gelo: entenda o que a ciência já achou e onde concentra as buscas por	Por Laís Modelli, 15 de setembro de 2020. Atualizado há 2 anos.	https://g1.globo.com/ciencia- e- saude/noticia/2020/09/15/gas- agua-e-gelo-entenda-o-que-a- ciencia-ja-achou-e-onde- concentra-as-buscas-por-	19 de maio de 2023

	vida fora da Terra		vida-fora-da-terra.ghtml	
National Geographic	É possível acompanhar a busca por vida extraterrestre – saiba onde	Por Jill K. Robinson. Publicado em 6 de agosto de 2021.	https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2021/08/e-possivel-acompanhar-a-busca-por-vida-extraterrestre-saiba-onde	15 de maio de 2023
National Geographic	Por que os sinais de vida em Marte são tão misteriosos?	Por Nadia Drake. Publicado em 4 de fevereiro de 2022.	https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2022/02/p-or-que-os-sinais-de-vida-em-marte-sao-tao-misteriosos	15 de maio de 2023
Super interessante	Sim, aliens existem (ou existiram), cientistas concluem	Por Denis Russo Burgierman. Publicado em 15 junho de 2016.	https://super.abril.com.br/ciencia/sim-aliens-existem-ou-existiram-cientistas-concluem	15 de maio de 2023
Terra	Ciência se aproxima da descoberta de vida fora da Terra	Colaborou Adrielen Alves, repórter da Rádio Nacional, 2 de junho de 2018.	https://www.terra.com.br/byte/ciencia/espaco/ciencia-se-aproxima-da-descoberta-de-vida-fora-da-terra,7988691a6b4844941c65a81eee0dd2e8vee1e575.html#:~:text=A%20ci%C3%AAnci a%20est%C3%A1%20cada%20vez,dada%20nos%20pr%C3%B3ximos%20dez%20anos.	15 de maio de 2023
UOL	Não estamos sós? Cientistas encontram evidências de vida em Vênus	Marcella Duarte. Colaboração para Tilt em 14 de setembro de 2020. Atualizada em 15 de setembro de 2020.	https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2020/09/14/nao-estamos-sos-cientistas-encontram-evidencias-de-vida-em-venus.htm	19 de maio de 2023
Veja	‘Não adianta procurar vida inteligente fora da Terra’	Por Raphael Veleda. Atualizado em 6 maio de 2016. Publicado em 12 de fevereiro de 2012.	https://veja.abril.com.br/ciencia/nao-adianta-procurar-vida-inteligente-fora-da-terra/	19 de maio de 2023

Fonte: Elaborado pelos autores.

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continua)

Estudante 1

Universo

Olhamos para o céu a pensar, refletindo no que há de ter lá

Será outro planeta? outra galáxia? outros sóis, outras luas? outras vidas?

São tantas perguntas e poucas respostas, que ao decorrer do tempo, buscamos descobrir, o que a na imensidão do céu, que nos encanta, ao mesmo tempo nos espanta

começamos a explorar-lo, e cada vez mais a questiona-lo será que não tem fim? e seguimos assim, indo cada vez mais longe, nessa exploração espacial, procurando achar um final ou quem sabe um recomeço em outro planeta ou galáxia.

(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 2

Me sinto como...

Estou num vago em uma imensidão
minha mente se encontra em meio ao
ataque de Nagasaki e Hiroshima
onde ela só queria a calma
que o espaço origina

As vezes sinto-me
como grão de areia dentre todos
uma poeira cósmica
me transformando a própria nebulosa

Outras vezes posso ser considerado
uma anã branca se degenerando
no caos que se tornou essa tal geração z
sem compaixão
sem compreensão
sem visão

dentre tudo ainda sei
que posso renascer das cinzas
irei me transformar nada mais
nada menos que uma gigante vermelha
(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 3

Somos grãos de poeira estelar
Assim como a lua, vejo o teu olho a brilhar
Deixando um rastro luminoso no meu ser.

As estrelas dançam em meio a escuridão
Os cosmos nos encantam
Na astronomia, nós encontramos inspiração

Deitados no chão, exploramos o espaço
Descobrimos mundos em um abraço
Planetas, estrelas, luas, cometas e asteroides a vagar
A astronomia nos faz sonhar e viajar
(*sic*)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 4

Minha mente é como um buraco negro
que rompe com o tecido espaço tempo
ao lembrar do passado recordeo
do brilho de mil sois ao encontro do reflexo no espelho
mas mais profundamente um vazio
deixada pela minha insignificância perante o tempo
estrelas que brilham na minha pobre alma
morreram em combustão pelos eventos que
percorreram em minha vida
uma explosão em cadeia de eventos cósmicos
resultaram na evolução do meu ser
é dado o momento em que aceito que o tempo não para
somos o resultado de bilhões de anos de evolução
somos o resultado de erros e acertos
de extinção e de proliferação
de Morte e de vida
Sou, não, somos o universo olhando para si mesmo
consumindo e sendo consumidos
Nada somos
(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 5

Imensidão

Entre planetas e luas em orbita perfeita
A vida floresce em cada recanto
Do ínfimo ao imensurável
Um verdadeiro espetáculo de encontro

Nas grandes nebulosas e buracos negros
Onde a gravidade parece se perder
Eu me perco em pensamentos profundos
Em busca de resposta ao meu ser

O Universo é o palco da existência
Um espetáculo eterno a se desenovelar
Nele encontro o mistério e a beleza
Que me fazem sonhar e me inspirar
(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 6

Aquele Astro

Certa noite, através das lâminas de vidro, conduzindo luz, olhei para o céu
Cera noite, olhei para o universo. Aquele tal universo cheio de cores e espectros. E
outrora, aquela cada cor uma origem, evolução ou futuro da vida. Juntamente com
uma dor, emoção e sofrimento.

Certa noite, olhei para aquele astro. Astro? Sim, o astro que brilha e irradia o calor,
com todo seu gás e temor, explode. Sensações nebulosas vem e vai e um novo
astro se refaz.

Certa noite, olhei para mim, uma pequena anã branca. Furioso e descontrolado. Em
uma fusão estelar, explodo e luminosamente me refaço, como uma supernova.

Segundo um ciclo estelar, o nascer de um e a morte de outro. Em que haja luz, haja
vida! Ou em que haja luz, haja morte para um recomeço que se faz e se refaz em
um expansivo universo. O meu universo!

(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 7

Afinal, somos estrelas (ou parte delas)... Nosso brilho é intenso, ofuscante. Talvez até já mortas, ou muito fracas, carregando sua dor ate finalmente se apagar. E se perder na imensidão do espaço tempo, até o final de sua vida miserável. Como uma gigante vermelha.

Nunca me vi como uma estrela, mas sim, como um buraco negro. Um abismo, vazio e indescritível. Sugando para si tudo que se aproxima, mostrando toda a beleza por fora e o mais puro breu por dentro.

Sou difícil de ser ler, acho que ninguém foi longe o suficiente para me conhecer, nem eu mesma me conheço. Talvez, eu quisesse que alguém me observasse como eu observo as estrelas nas noites de domingo, ou me lesse como um artigo sobre a lua e ficasse empolgado. E me admirasse como eu admiro as fotos sobre espaço que a Nasa publica.

E talvez, o final da vida não seja como um terrível e miserável ponto final. Talvez, apenas talvez, iremos voltar para casa. Afinal, somos parte do espaço, ou somos ele.

(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 8

Ele

E perceptível que no olho dele
Há uma beleza muito simples
Nele eu vejo diversas constelações
É coisa calma e nem parece que possui tribulações

É igual a lua de sangue
É algo raro
Não existe sentimento mais claro
É mais bonito que um astro

Cria mais eletricidade que um buraco negro
É algo muito além do espaço
Pela primeira vez não foi algo trágico
Mas foi magico

Em nos há muito mais que um elo
É mais lindo que os anéis de Saturno
Sei que somos nosso próprio nós
Eu lembro disso toda vez que durmo

No seu olhar
Encontro a simplicidade
E uma necessidade encontrar
Um amor com reciprocidade
(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 11

Tão perto mas tão distante
tão bonito quanto várias estrelas brilhantes
Mais místico que o evento de horizontes
Parte do que sabemos e pouco para o que temos
Ilimitadas são as teorias big bang, criacionista
Mas qual realmente é a verdadeira
Não sabemos mas estimamos com o que temos
O que podemos para desvendar
Parte deste mistério que nos rodeia
desde de antes de nossa existência
Eis o Universo que vivemos
(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(continuação)

Estudante 12

Explosão no início do universo
Gera nosso planeta e todo o resto
Será? que estamos sozinhos
Afora, vida, procuramos no caminho

Desbravar pode ser o futuro
Colonizar conquistar outros mundos
Mas temos que cuidar da Terra
Impedir poluições e a guerra

Observamos e estudamos estrelas
Calculamos rotas de cometas
Nosso instinto de conquista
Nos leva a procurar novos planetas

Será que estamos sós?
de Mercúrio a Netuno
Será que existe vida
nas luas de Saturno
Será que existe vida
em Paris ou Titã
Saberemos agora ou talvez amanhã
(sic)

APÊNDICE F – POEMAS DE ESTUDANTES
(conclusão)

Estudante 13

No universo tudo é mistério e
beleza. Estrelas brilham, numa
imensidão, galaxias dançam num
balé sideral, e no infinito somos
um grão de arroz afinal.

No universo infinito, sou poeira
estelar, pequeno fragmento
de luz a brilhar. Então olho
para o céu noturno com paixão
o admiro, pois sou um elo eterno
com a vastidão infinita e quando
partir, nas noites estreladas ainda
hei de brilhar

Brilho e me vejo admirando o buraco
negro, incrível e misterioso e me pego
pensando no qual vazio ele pode ser,
e nisso vejo que temos algo parecido
(*sic*)

ANEXO A – TRILHA ANCESTRAL: ORIGENS

DOCUMENTO CURRICULAR DA ETAPA DO ENSINO MÉDIO

374

ESTRUTURA CURRICULAR - 2ª SÉRIE	
AGRICULTURA E SOBERANIA ALIMENTAR - 120 HORAS. CONTEXTOS E ÉTICAS PARA AS CIÊNCIAS - 80 HORAS. TRILHA ANCESTRAL: ORIGENS - 80 HORAS. COMPONENTE ELETIVO - 80 HORAS. PROJETO DE VIDA- 40 HORAS.	
COMPONENTE CURRICULAR	OBJETOS DE CONHECIMENTO
TRILHA ANCESTRAL: ORIGENS 80 HORAS	<ul style="list-style-type: none"> • Cosmologias dos povos. • Forças fundamentais da natureza: gravitacional, eletromagnética, força nuclear forte e força nuclear fraca. • Teoria do Big Bang. O universo em expansão. Origem e formação do universo: entre a fé e a razão. • A vida no universo. • Sol (energia da vida) - Sistema Solar. • Formação dos primeiros elementos químicos. • Terra primitiva e suas características. • Atmosfera primitiva e seus aspectos químicos - Teoria de Oparin e Haldane e a Experiência de Miller e Urey. • Teoria da Endossimbiose e Teoria da Invaginação da Membrana Plasmática. • Teorias autotróficas e heterotróficas. • Teorias biológicas (biogênese x abiogênese). • Surgimento dos oceanos. • Origem da vida sobre a Terra. • Astrobiologia: um olhar sobre a vida, a Terra e o universo. • Fixismo e evolucionismo. • Pangeia: massa continental. • Deriva das placas continentais. • Eras geológicas. • Evolução humana: trabalho (mediação homem-natureza), transformação da natureza, criação de tecnologia (ferramentas), desenvolvimento do cérebro e da linguagem (símbolos e fala), desenvolvimento da escrita. Evidências da evolução da vida na Terra. • Evolução humana: as organizações em sociedade, a exploração do espaço geográfico. • Mudanças anatomofisiológicas. • Nomadismo e sedentarismo. Gens, hordas, famílias. • Ocupação dos continentes. • Arqueoastronomia: as primeiras civilizações e suas contribuições para a astronomia. • Espeleologia: para compreensão da evolução da Terra e da evolução humana. • Importância dos registros arqueológicos e paleontológicos.
COMPONENTE ELETIVO 80 HORAS	Escolha da Unidade Escolar.
PROJETO DE VIDA 40 HORAS	<ul style="list-style-type: none"> • Eu e o outro (responsabilidade social). Representações e identidades do eu, sujeito, em meus territórios: grupo e raízes. • As visões de natureza e ser humano dos povos indígenas, africanos e orientais. • A representação do eu na vida cotidiana e o conceito de estigma. • A influência da mídia para padrões e comportamentos. • Reflexões críticas dos valores sociais (fracasso, sucesso, ressentimento etc.). • Ética hoje: conceito de moral, autonomia, responsabilidade, virtudes e compromisso social.


 Fonte: Bahia (2022, p.374).

ANEXO B – EXPLORANDO O TEMA: ASTROBIOLOGIA (continua)

Explorando o tema

Astrobiologia

A Astrobiologia é uma área da ciência que busca entender a origem, a evolução, a distribuição e o futuro da vida na Terra e no Universo. Entre os objetivos dos estudos nessa área estão:

- buscar planetas habitáveis, dentro ou fora do Sistema Solar, e as possíveis formas de vida existentes nesses ambientes;
- identificar as condições necessárias para que a vida se inicie, desenvolva e evolua;
- identificar as mudanças que ocorrem no ambiente e as relações que os seres vivos estabelecem com ele ao longo do tempo;
- determinar padrões para a detecção de vida e os limites para sua existência.

Exoplaneta: planeta que se localiza fora do Sistema Solar e que orbita uma estrela.

Formas de vida extraterrestre

Em Astrobiologia, os termos "forma de vida" ou "vida extraterrestre" referem-se aos microrganismos. Por serem mais resistentes e alguns apresentam adaptações para sobreviver a ambientes distintos e adversos, como os que normalmente são encontrados espaço, o modelo de vida desses seres vivos é utilizado para os estudos dessa área.

Até setembro de 2015 foram descobertos e confirmados 1890 **exoplanetas**. Alguns desses astros apresentam condições de temperatura que permitem a presença de água em estado líquido, uma exigência básica para a existência de vida. Embora determinadas condições não impeçam a ocorrência de algumas formas de vida, a água no estado líquido facilita o rearranjo entre diferentes moléculas, e a consequente formação de moléculas mais complexas. Por esta razão, a Astrobiologia considera um planeta habitável aquele que apresente água sob a forma líquida.

Água extraterrestre

Veja a seguir alguns corpos celestes presentes em nosso Sistema Solar que, segundo estudos, possuem água no estado líquido assim como a Terra, e por isso são candidatos a abrigar alguma **forma de vida**.

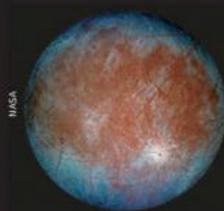
Calisto (lua de Júpiter), Mimas (lua de Saturno), Triton (lua de Netuno) e Plutão (planeta-anão) são outros astros que podem apresentar condições para a existência de vida e, por isso, também são alvo de pesquisa da Astrobiologia.

Ceres (planeta-anão)



Possui 25% de água congelada, dos quais uma fração pode estar sob a forma líquida. No entanto, ainda não é possível afirmar se Ceres possui ou não camadas de água em estado líquido ou oceanos no subsolo.

Europa (lua de Júpiter)



Acredita-se que possua um mar sob sua crosta gelada e, em alguns locais, podem existir lagos com água líquida sobre a superfície. Evidências mostram que o fundo de seu oceano pode abrigar fontes hidrotermais, similares às existentes na Terra.

Ganímedes (lua de Júpiter)



A maior lua do Sistema Solar possui um oceano subterrâneo com grande quantidade de sais dissolvidos em água. Além desse oceano, estudos apontam para a existência de várias camadas de gelo e água entre sua crosta e o núcleo.

ANEXO B – EXPLORANDO O TEMA: ASTROBIOLOGIA (conclusão)

Unidade 1

Antigas e novas suposições

A ideia sobre vida em outros planetas é antiga. Essa discussão se tornou cada vez mais acirrada conforme novas teorias e evidências experimentais surgiam. Confira abaixo.

300 a.C.

Epicuro
341-271 a.C.
Primeiro filósofo grego com registros sobre o tema.

1514 Nicolau Copérnico (1473-1543)
Físico polonês que retomou o tema após muito tempo sem estudos a respeito.

1984 ALH84001
Meteorito de origem marciana descoberto no ano de 1984 na Antártida, e que parecia conter microrganismos. Estudos descartaram essa possibilidade, mas identificaram moléculas orgânicas similares às de seres vivos.

1908 Svante Arrhenius (1859-1927)
Químico sueco que popularizou a hipótese da Panspermia, alavancando estudos na área.

1924/1953 Alexandr Oparin e Stanley Miller
O primeiro cientista propôs a teoria sobre a origem da vida na Terra e o segundo fortaleceu essa teoria por meio de experimentações.

2009 Sonda Kepler
Lançada em 2009 com o objetivo de identificar possíveis planetas fora do Sistema Solar que possuam condições semelhantes às da Terra. São os chamados exoplanetas.

2011 Kepler-452b
Exoplaneta descoberto pela sonda Kepler que apresentou mais condições para abrigar vida.

Veja as respostas das questões desta seção nas Orientações para o professor.

- Suponha que o planeta Kepler-452b possa abrigar vida. Qual seria a condição básica necessária para que isso ocorra? Se necessário, realize uma pesquisa sobre o assunto.
- A teoria de Oparin e Haldane dá suporte à teoria sobre a existência de vida fora da Terra. Explique essa afirmação.
- Forme um grupo com seus colegas e conversem sobre quais poderiam ser os impactos científicos caso fosse confirmada a existência de vida extraterrestre. Em seguida, escreva suas conclusões no caderno e apresentem para o restante da turma.
- A Astrobiologia também procura na Terra informações que possam ser utilizadas na busca de vida extraterrestre. Faça uma pesquisa e verifique quais ambientes terrestres são de interesse da Astrobiologia e o porquê.

Astros (dimensões)

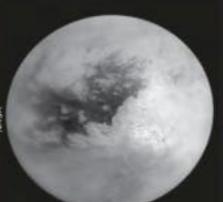
Ceres: 1000 km de diâmetro.
 Encélado: 500 km de diâmetro.
 Europa: 3130 km de diâmetro.
 Ganimedes: 5268 km de diâmetro.
 Marte: 6790 km de diâmetro.
 Titã: 5150 km de diâmetro.

Encélado
(lua de Saturno)



Acredita-se que, nesta lua de Saturno, exista um reservatório de água líquida abaixo de uma camada espessa de gelo. Pesquisas recentes sugerem que pode haver atividade hidrotermal neste oceano, o que caracterizaria ambiente potencialmente sustentável para organismos.

Titã
(lua de Saturno)



Estudos indicam que este astro abrigou vida cujo crescimento foi interrompido. No entanto, pesquisas afirmam que ele possui todos os materiais e elementos para ser considerado um planeta como a Terra, como moléculas orgânicas, água no estado líquido, temperaturas adequadas e chuvas.

Marte
(planeta)



Marte apresenta água congelada em seus polos. Além disso, em 2015 foi confirmada a existência de água líquida em Marte. Uma sequência de imagens mostrou a formação de rios temporários durante o verão marciano. Agora, os cientistas buscam evidências sobre a presença de seres vivos nessas áreas.

Estudo da vida / 43

Fonte: Ogo e Godoy (2016, p.42-43).

**ANEXO C – TERMO DE CIÊNCIA DOS PAIS OU RESPONSÁVEIS
PARA SAÍDA DE ESTUDANTE PARA AÇÕES EXTERNAS**



Estado da Bahia

SECRETARIA
DA EDUCAÇÃO

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL EM SAÚDE DO CENTRO BAIANO

CÓDIGO INEP 29093520

CÓDIGO SEC 1105975

ATO DE CRIAÇÃO – PORTARIA Nº 9314/2012 – D.O. 09/11/2012

**TERMO DE CIÊNCIA DOS PAIS OU RESPONSÁVEIS
PARA SAÍDA DE ESTUDANTE PARA AÇÕES EXTERNAS**

Eu, _____,
(nome do responsável legal)

portador(a) do RG nº _____, órgão emissor
_____, com data de expedição em ____/____/____, declaro estar
ciente que o(a) _____ estudante

(Nome completo do aluno)

portador(a) do RG nº _____, a participar da Visita
Técnica, que acontecerá no Museu Geológico da Bahia e Estação Ciência SESI, no
município de Salvador, onde serão desenvolvidas ações pertinentes aos propósitos
formativos do estudante. O evento ocorrerá no dia 25/05/2023 (quinta-feira), com
saída 07h10min, do CEEP em Saúde do Centro Baiano, e retorno previsto para as
17h30min, sob a responsabilidade de Rodrigo de Queiroz Oliveira, professor desta
Unidade de Ensino - contato Telefone/WhatsApp (75) 98193-0856.

Feira de Santana, _____ de _____ de 2023.

(Assinatura do responsável legal)

(Assinatura do professor responsável)

*** Esta autorização deverá permanecer junto aos documentos do(a) estudante,
devidamente assinada, com cópia para a gestão da instituição de ensino.**

Rua Juracy Magalhães Jr., s/n - Centro, Feira de Santana - BA, 44135-000

E-mail: escola.1105975@enova.educacao.ba.gov.br

Tel. (75) 3221-0499 | 3223-5591

ANEXO D – ASTROBIOLOGIA: VIDA NO UNIVERSO

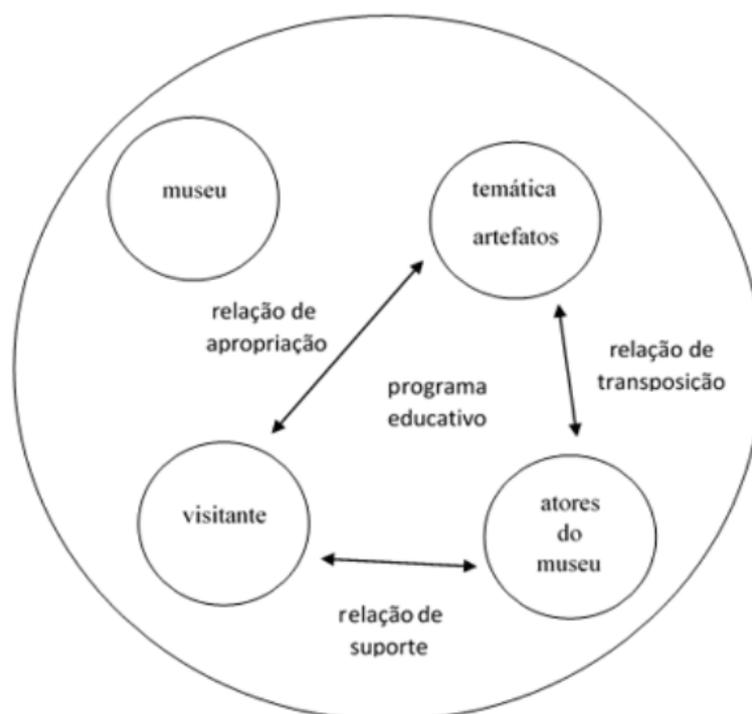


Figura 1.5. Um planeta em constante evolução – a Terra vem passando por mudanças de temperatura, composição química da atmosfera e dos oceanos, radiação solar. Como essas alterações mudam a vida do planeta e como a vida responde e interfere na evolução do próprio planeta? Como isso definirá o futuro da vida? Projeto e supervisão: Augusto Damineli / Ilustração: Paulo Roberto F. Santiago

Fonte: Rodrigues, Galante e Avellar (2016, p.39).

ANEXO E – DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DA ASTROBIOLOGIA NOS MUSEUS DE CIÊNCIA

FIGURA 1. Relações entre os três atores fundamentais: os artefatos (módulos expositivos) /atores do museu (mediadores) /visitantes (Fonte: traduzido e adaptado de ALLARD *et al*, 1998)



Fonte: Massarani *et al.* (2019, p.6).

ANEXO F – FUTURO DA VIDA NA TERRA E NO UNIVERSO

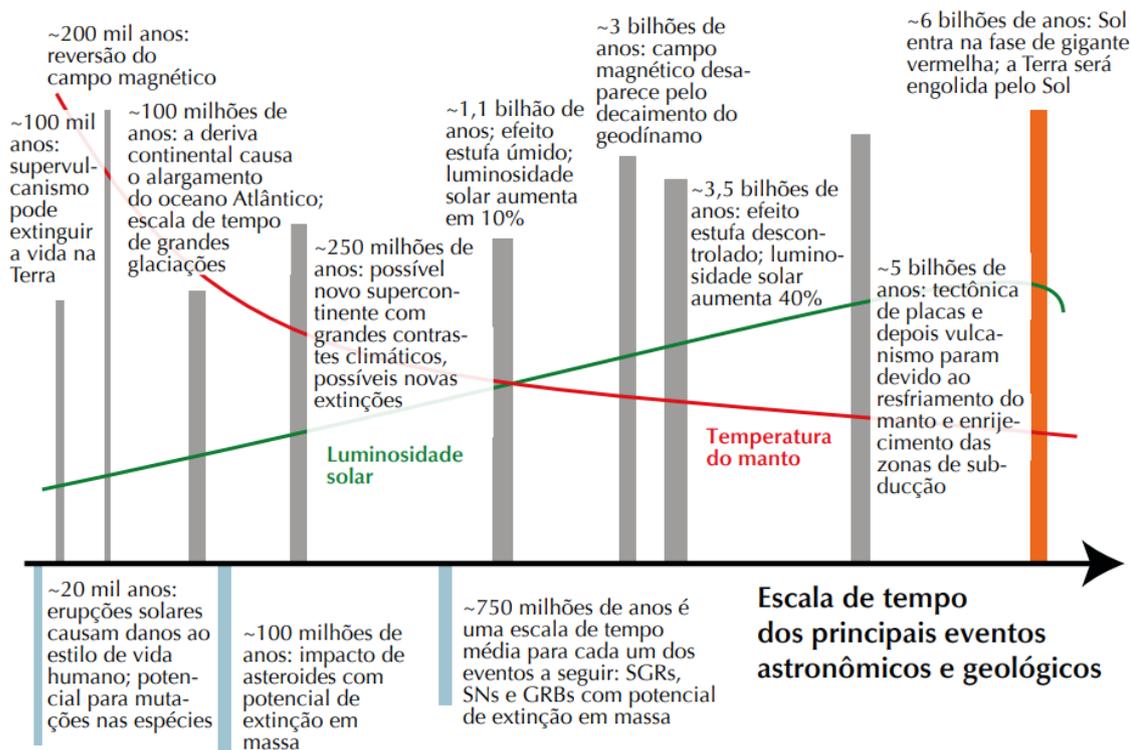


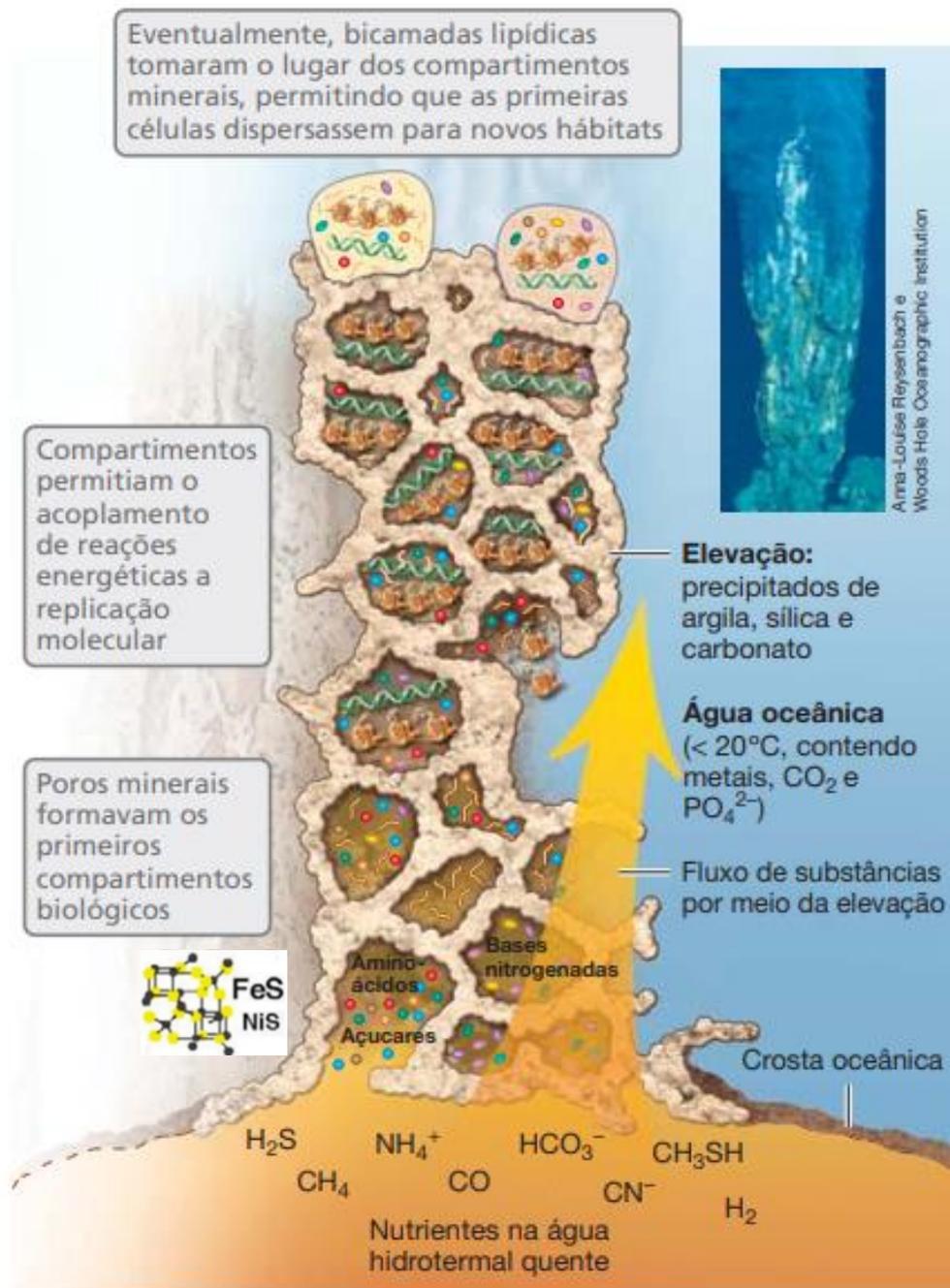
Figura 15.1. Escalas de tempo aproximadas para os eventos descritos no texto. Fonte: Adaptado de Pross (2012)

Fonte: Galante *et al.* (2016, p.317).

ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO

(continua)

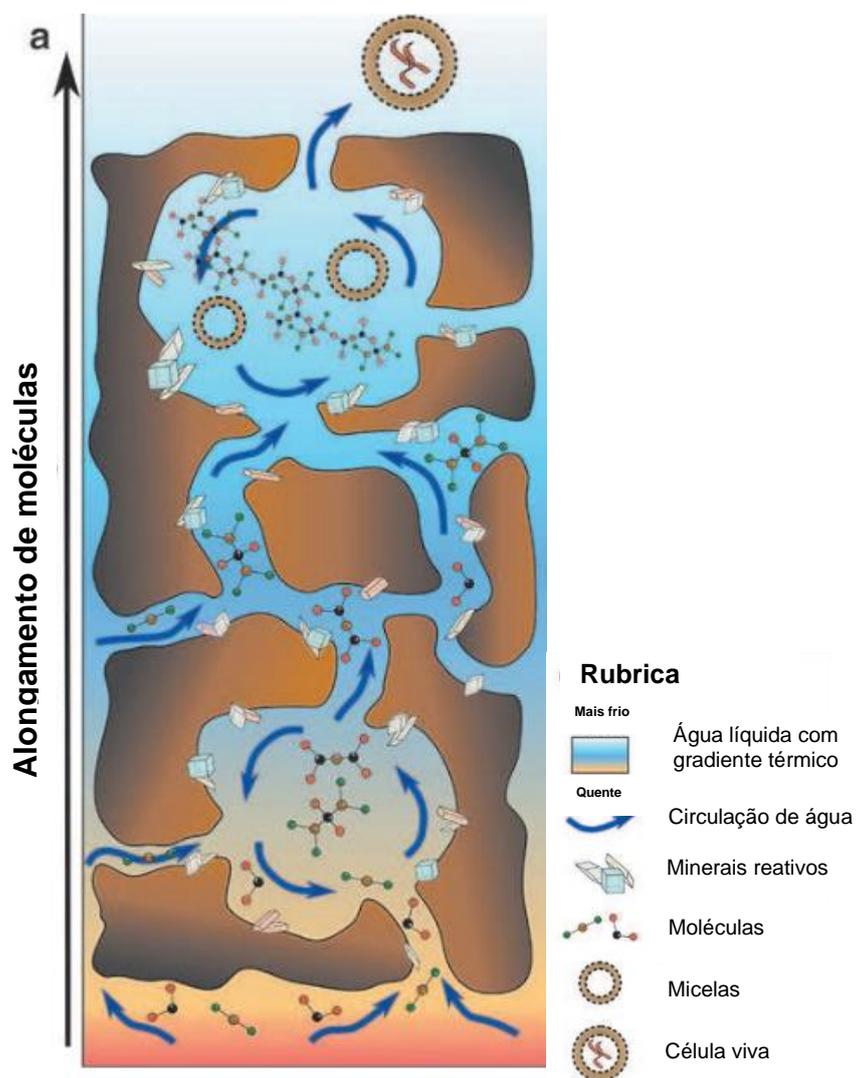
Figura 1 – Prancha elevação submarina e sua possível ligação com a origem da vida. Modelo do interior de uma elevação hidrotermal com representações das transições hipotéticas da química prebiótica da vida celular. Detalhe: foto de uma verdadeira elevação hidrotermal. O fluido hidrotermal quente, reduzido e alcalino mistura-se com a água oceânica mais fria, mais oxidada e mais ácida, formando precipitados. A elevação é formada por precipitados de compostos de Fe e S, argilas, silicatos e carbonatos. Minerais precipitados formam poros que poderiam ter servido como compartimentos ricos em energia que facilitaram a evolução das formas pré-celulares de vida. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: adaptado de Madigan *et al.* (2016, p.349).

ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO
(continuação)

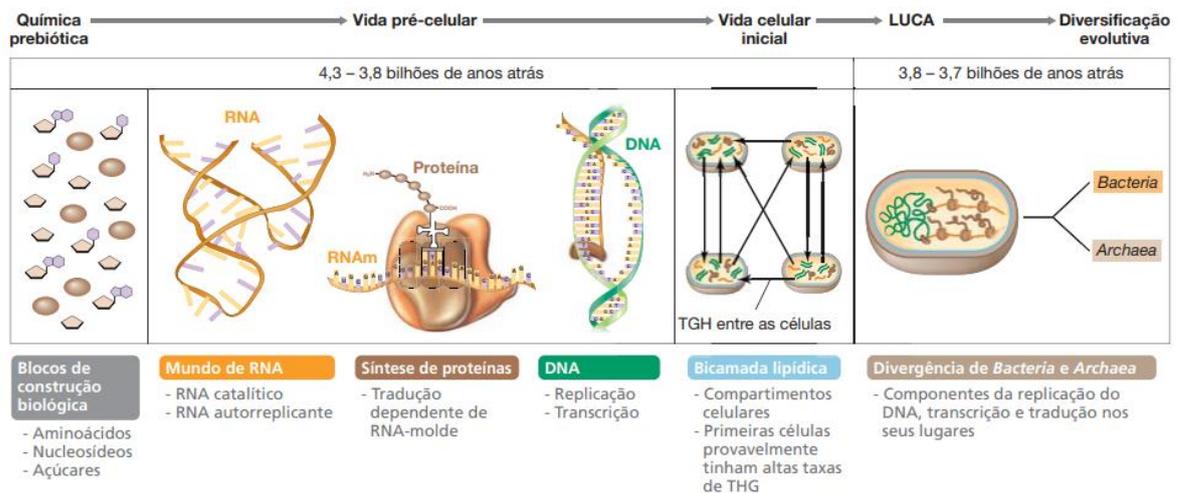
Figura 2 – Prancha esboço mostrando uma estrutura de colmeia porosa onde fluidos hidrotermais e água do mar podem circular, levando à acúmulo de moléculas orgânicas. A reduzida superfície mineral dentro dos poros de ventilação podem ser locais favoráveis para a organização estrutural de macromoléculas. Nossa hipótese é a formação de micelas lipídicas nesses ambientes e a incorporação das moléculas de transferência de informações dentro das micelas, talvez devido a agitação moderada do efluente hidrotérmico. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Westall *et al.* (2013, p.889), tradução nossa.

ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO (continuação)

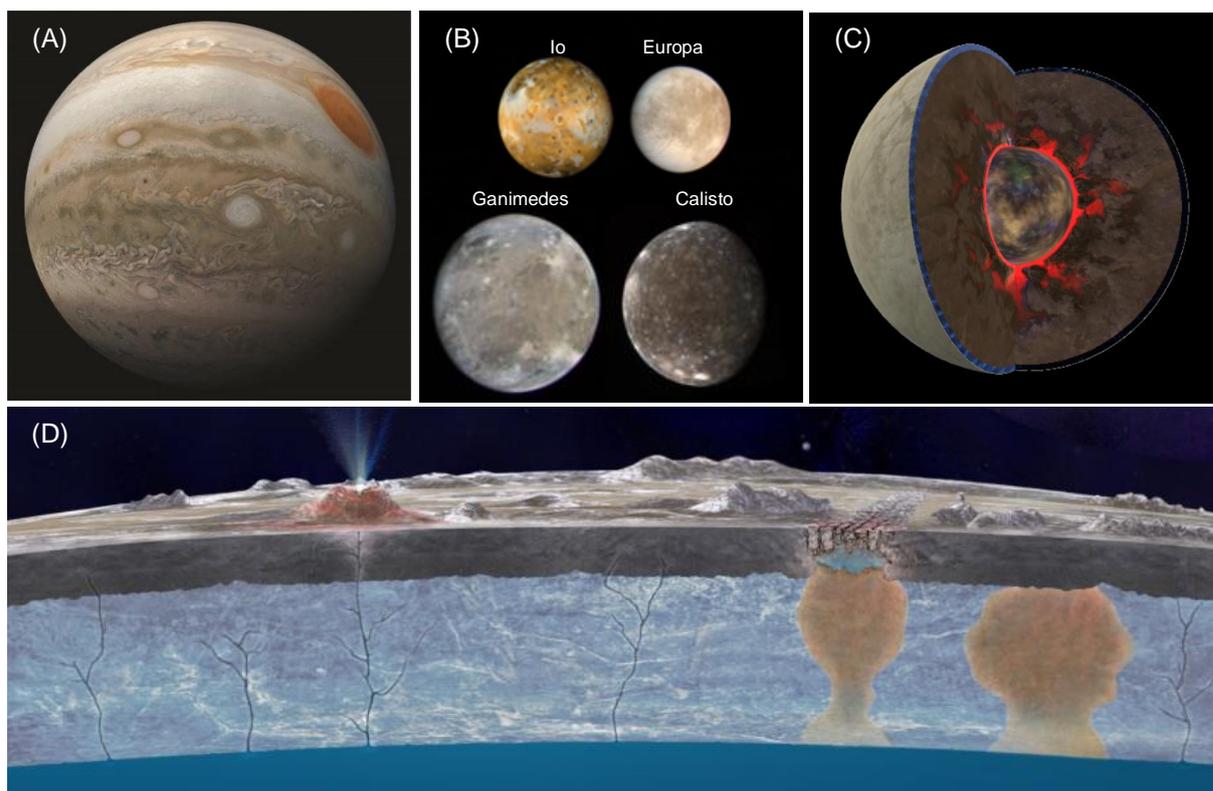
Figura 3 – Prancha eventos hipotéticos que precederam a origem da vida celular. Os primeiros sistemas biológicos autorreplicantes podem ter sido baseados em RNA catalítico. Em algum momento, os RNA enzimáticos evoluíram a capacidade de sintetizar proteínas, e as proteínas tornaram-se as principais moléculas catalíticas. A conversão de genomas baseados em RNA para genomas baseados em DNA exigiu a evolução de enzimas DNA e RNA-polimerase. A bicamada lipídica além de conter e proteger as biomoléculas é o local de transporte de elétrons e a evolução desta estrutura era, provavelmente, importante para a conservação de energia. O último ancestral comum (LUCA), que precedeu a divergência de *Bacteria* e *Archaea*, era um organismo celular que tinha bicamada lipídica e utilizava DNA, RNA e proteínas. A transferência horizontal de genes (THG) pode ter permitido a rápida transferência de genes benéficos entre as formas de vida primitiva. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Madigan *et al.* (2016, p.350).

ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO
(continuação)

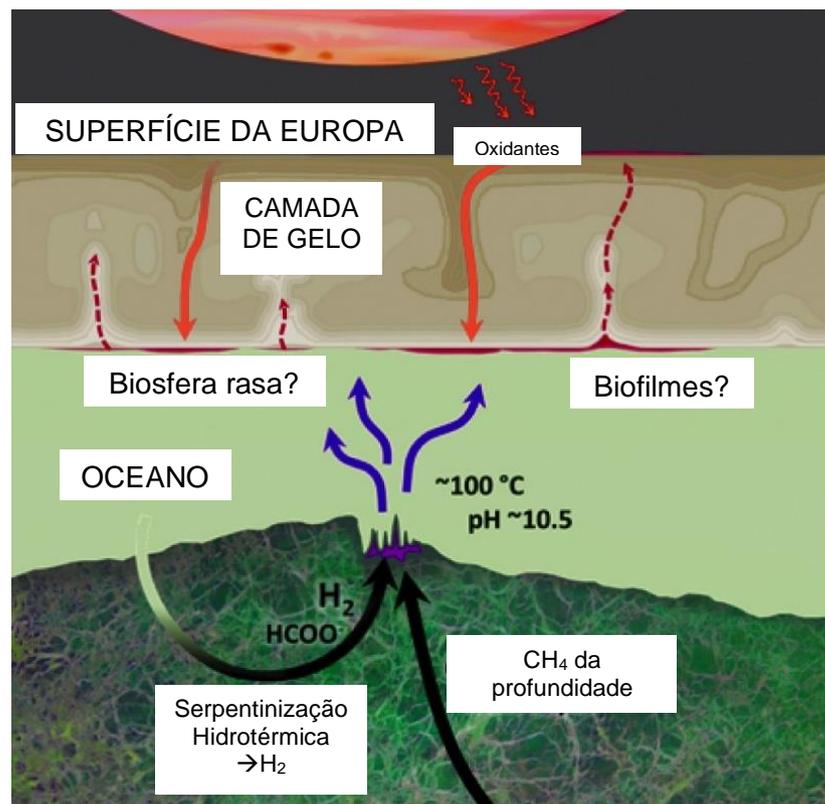
Figura 4 – Luas geladas de Júpiter. (A) Imagem de Júpiter capturada pela espaçonave Juno em 2019. (B) Imagem das luas Io, Europa, Ganimedes e Calisto tiradas pela Voyager 1 em 1979. (C) Modelo da lua Europa, mostrando um oceano global de água líquida e salgada entre a crosta gelada (com espessura de aproximadamente 15 a 25 quilômetros) e o interior rochoso com núcleo composto de ferro. (D) Seção transversal da superfície da lua Europa. Os pesquisadores acreditam que a forte gravidade de Júpiter cria marés em Europa, mantendo o oceano em estado líquido, além de transferir parte do calor e partículas rochosas para superfície por convecção, podendo haver água ejetada de fissuras no gelo (plumas). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: NASA/JPL-Caltech. Disponíveis em (A) <<https://solarsystem.nasa.gov/planets/jupiter/overview/>>, (B) <<https://www.jpl.nasa.gov/images/pia00012-galilean-satellites>> e (C-D) <<https://europa.nasa.gov/why-europa/europa-up-close/>>, respectivamente. Acessos em 18 de maio de 2023.

ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO
(continuação)

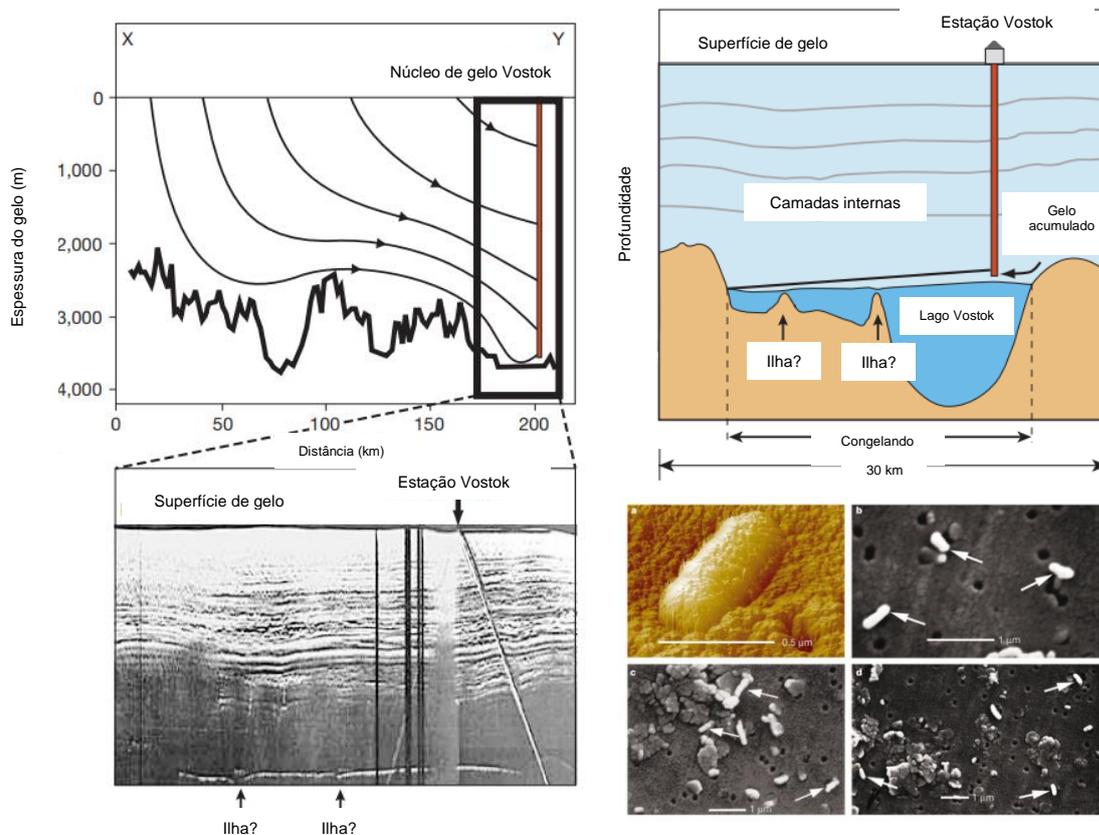
Figura 5 - Modelo para o surgimento de vida em um monte hidrotermal alcalino na lua Europa de Júpiter. Europa está sujeita à radiação superficial e às forças das marés, podendo atingir um estado dinâmico estável, onde reações de serpentinação (água-rocha) resultaria na produção de H_2 e formato ($HCOO^-$), os quais com o metano (CH_4) primitivo (abiótico) da profundidade dos fluidos hidrotermais poderiam ser arrastados por convecção para o oceano. Juntamente com o metano, os fluidos hidrotermais também poderiam ter lixiviadas entidades químicas, como monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3) e sulfeto de hidrogênio (H_2S), o que seria de esperar numa lua com um manto e crosta dominados por falialita ($2FeO \cdot SiO_2$), dando origem a vida como a conhecemos, a qual seria transportada para formar biofilme sob uma camada de gelo, dando origem a uma iniciante biosfera. (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Russell, Murray e Hand (2017, p.1266), tradução nossa.

ANEXO G – PRANCHA COM FIGURA PARA OFICINA SOBRE MODELO DIDÁTICO (conclusão)

Figura 6 - Lago Vostok, na Antártica. À esquerda, seções transversais do perfil da perfuração do Lago Vostok, mostrando o padrão de camadas internas. À direita, ilustração artística da perfuração e imagens de bactérias congeladas no gelo de acreção do Lago Vostok a uma profundidade de 3.590 m. Uma única bactéria em microscópio de força atômica. Ocorrência de bactérias em microscopia eletrônica de varredura (indicadas por setas). (Representação fora de proporção; cores meramente ilustrativas.)



Fonte: Siegert *et al.* (2001), tradução nossa.