



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
FACULDADE DE FÍSICA

TAINAH CAMPELO SANTOS

**BIOASSINATURAS: UMA PROPOSTA DE ASTROBIOLOGIA PARA EDUCAÇÃO
BÁSICA E A NOVA BNCC**

Belém-PA

2022

TAINAH CAMPELO SANTOS

**BIOASSINATURAS: UMA PROPOSTA DE ASTROBIOLOGIA PARA EDUCAÇÃO
BÁSICA E A NOVA BNCC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para obtenção de outorga de Grau de Licenciado em Física.

Orientadora: Profa. Msc. Lizangela Maria Almeida da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Rubens Silva

Belém-PA

2022

TAINAH CAMPELO SANTOS

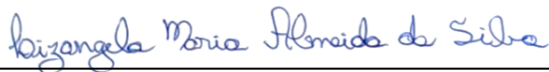
**BIOASSINATURAS: UMA PROPOSTA DE ASTROBIOLOGIA PARA EDUCAÇÃO
BÁSICA E A NOVA BNCC**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Licenciado em Física.

Área: Pesquisa em Ensino de Física

Aprovado em: 08 de Fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

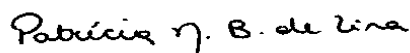


Prof. Msc. Lizangela Maria Almeida da Silva. – Orientadora SEDUC/PA

Prof. Dr. Rubens Silva. – Coorientador - UFPA


Luciana de Nazaré Farias
Docente UEPa
Matrícula: 6580637-3

Membro: Prof. Dr. Luciana de Nazaré Farias – UEPA



Membro: Prof. Msc. Patrícia Natália Belarmino de Lira – SEDUC/PA

Em homenagem à Elizete Campelo da Silva,
que não está mais entre nós, mas a sua
lembrança me inspira. Obrigada por todo amor
que me foi dado, prometo não desistir, pois o
amor que eu sinto é o que me faz sobreviver.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por toda força durante minha caminhada, discernimento em cada etapa da vida, aconchego nos momentos bons e difíceis, orientação e amor para comigo.

À minha mãe, Lucirene Campelo, por todo cuidado, amor, carinho, esforço, sacrifícios e companheirismo, buscando sempre ser o melhor exemplo de mãe e amiga para meu irmão e eu. Tornando-se a cada dia mais o exemplo vivo da pessoa que eu busco ser.

Ao meu pai, Walmir Santos, por ter me proporcionado todo o amor e carinho desse mundo, incentivo, confiança, perseverança, apoio de todas as formas, investimento nos meus estudos e incentivo a minha caminhada como mulher na ciência que desde muito novinha veio despertando o interesse em mim.

Ao meu irmão, Rodrigo Campelo, por me ajudar em diversos momentos, me fazer rir e brincar até mesmo quando os momentos são difíceis.

À minha eterna avó, Elizete Campelo, que partiu há pouco tempo e Infelizmente não pode vivenciar esse momento comigo, mas deixou as melhores lembranças, ensinamentos, palavras de carinho e amor. Aqui deixo registrada minha gratidão eterna à senhora por tudo o que me ensinou e seu apoio até quando pode me dar. Espero que onde esteja, olhe por mim, me aconchegue nos momentos em que a saudade que eu sinto apertar e me guie em direção ao melhor caminho.

À minha prima, Dayane Campelo, por toda a força, companheirismo, cuidado e amor durante toda minha vida, acreditando e incentivando o melhor de mim sempre.

Ao meu namorado, Alexsandro Corrêa, pelo seu amor, carinho, cuidado, companheirismo, parceria, apoio em todos os momentos. Tornando essa etapa da minha vida mais leve e fazendo todos os dias minha vida mais feliz.

As minhas amigas de escola, Claudia Cristina, Stefanny Pantoja, Sianni Melo, pelo companheirismo, apoio, força, risadas e brincadeiras durante as etapas da minha vida.

À todos os meus amigos da UFPA, especialmente Amanda Cristina, Clara Tabosa, Nathalia Guimarães, por todo o apoio emocional e acadêmico nos momentos em que mais precisei.

Aos meus queridos professores de música, Emerson Miranda e Abraão Moraes, pelos ensinamentos, conselhos e oportunidades que contribuíram para meu amadurecimento.

Ao grupo do Núcleo de Astronomia da UFPA (NASTRO), por terem feito parte do meu desenvolvimento e trajetória na graduação.

À Prof. Msc. Lizangela Almeida, pela orientação e contribuição na formação acadêmica, e que mesmo enfrentando dificuldades na saúde e na vida pessoal ainda esteve lutando junto comigo para a construção desse trabalho.

À UFPA, por toda estrutura, oportunidades que me foram ofertadas, que contribuíram exponencialmente para meu crescimento pessoal e profissional ao lado de pessoas especiais e de professores incríveis.

"A ciência nos ensina que somos criações cósmicas raras, aglomerados de poeira vinda de restos de estrelas, moléculas animadas pela faísca da vida, capazes de se perguntar sobre suas origens. Somos, como disse Carl Sagan, como o Universo pensa sobre si mesmo, um enigma que talvez não seja compreensível. Carregamos a história do cosmos em nossos átomos. Essa é a união essencial do ser com o cosmo. A meu ver, poucas visões artísticas ou religiosas têm tanta poesia e espiritualidade quanto essa."

(Marcelo Gleiser)

RESUMO

O distanciamento entre as disciplinas escolares das ciências da natureza impossibilita a compreensão plena dos fenômenos que permeiam a vida cotidiana, afetando o histórico de aprendizagem dos alunos, uma vez que esses eventos não ocorrem de maneira isolada, ou seja, não são específicos de área da Física, Química ou Biologia. No entanto, inserir nesse contexto a prática interdisciplinar no âmbito escolar, levanta uma série de desafios que perpassam principalmente na própria preparação dos professores colocando em evidência a necessidade de se reinventar diante desse cenário. Sendo assim, o uso da Astrobiologia como um tema transversal às Ciências da Natureza pode contribuir para o desenvolvimento de ensino e aprendizagens essenciais embasados na interdisciplinaridade entre conceitos presentes em ciências da natureza a fim de sanar as lacunas deixadas na educação básica por conta de um ensino fragmentado, assim como ajudar os professores da educação básica na criação de um plano de trabalho norteador. Dessa forma, o presente estudo propõe-se a apresentar uma alternativa de trabalho para o corpo docente de modo a contribuir com a prática interdisciplinar e transdisciplinar associando conteúdos referentes ao estudo de bioassinaturas, de maneira a integrar as disciplinas das ciências da natureza para trabalhá-las em conjunto com o currículo escolar do ensino médio. Para isso, buscou-se identificar e interligar tópicos de estudo comuns entre a Astrobiologia e o ensino de ciências através da análise documental da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) identificando e agrupando os temas estruturadores com a finalidade de desenvolver uma visão de mundo nos alunos e proporcionar um conhecimento mais amplo e contextualizado de fenômenos a partir do olhar integrado da Física, Química e Biologia. Assim, almeja-se que este trabalho seja capaz de nortear os professores da educação básica através de uma proposta de cunho interdisciplinar que possa ser incorporadas ao seu planejamento de aula sem alterar os objetos de conhecimentos estabelecidos, proporcionando um ambiente motivador e que favoreça o desenvolvimento das habilidades e competências necessárias à formação dos educandos.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade, Ensino, Bioassinaturas, BNCC, Astrobiologia.

ABSTRACT

The distance among the school subjects about natural sciences makes it impossible to fully understand the phenomena that permeate everyday life, affecting students' history learning, since these events do not occur in an isolated way, in other words, they are not specific to the area of Physics, Chemistry or Biology. However, inserting interdisciplinary practice, in this context, taking into account the school environment raises a series of challenges that surround mainly the preparation of teachers, highlighting the need to reinvent themselves in this scenario. Thus, the use of Astrobiology as a transversal theme to Natural Sciences can contribute to the development of essential teaching and learning based on the interdisciplinarity among concepts present in natural sciences in order to fulfill the gaps left in basic education due to a fragmented teaching, as well as helping basic education teachers in creating a guiding work plan. In this way, the present study aims to present an alternative work for the teaching staff in order to contribute to interdisciplinary and transdisciplinary practice, associating contents related to the study of biosignatures, in order to integrate the disciplines of natural sciences to work in conjunction with the high school curriculum. Therefore, this research sought to identify and link common study topics between Astrobiology and science teaching through document analysis of the National Common Curricular Base (BNCC) identifying and grouping the structuring themes in order to develop a world view in students and to provide a broader and more contextualized knowledge of phenomena from an integrated perspective of Physics, Chemistry and Biology. Thus, it is hoped that this work will be able to guide basic education teachers through an interdisciplinary proposal that can be incorporated into their lesson planning without change the established objects of knowledge, providing a motivating environment that favors the development of the skills and competences necessary for students' education.

Keywords: Interdisciplinarity, Teaching, Biosignatures, BNCC, Astrobiology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Diagrama mostrando diferentes limites de HZ para estrelas que variam em tipo espectral de F0 a M7. Vários planetas dentro de nosso sistema solar são mostrados, junto com exoplanetas selecionados.....	23
Figura 2.2 – Resumo das bioassinaturas gasosas, superficiais e temporais	25
Figura 2.3 – Via de transferência de elétrons em um fotossistema	33
Figura 2.4 – Espectros de absorbância dos principais pigmentos	35
Figura 2.5 – Mudança da VRE, devido a variações na concentração de clorofila	37
Figura 2.6 – Fluorescência da vegetação na Terra.	41
Figura 2.7 – Milky Seas. Uma representação composta que mostra uma perspectiva de satélite do primeiro mar leitoso bioluminescente registrado do espaço	42
Figura 2.8 – Variações de sazonalidade de dióxido de carbono (A) e metano (B) em média mensal ao norte em Mauna Loa (19.º5 N; símbolos vermelhos) e observatórios do Polo Sul (90 ° S; símbolos azuis).....	44
Figura 2.9 – Mudança sazonal no espectro global de superfície. Variações sazonais significativas são aparente entre o verão do hemisfério norte (julho de 2014; parte superior) e o inverno (fevereiro de 2015; parte inferior).	48
Figura 3.1 – Transversalidade da Astrobiologia.	50
Figura 3.2 – Esquema de disciplinas que compõe o estudo de Bioassinaturas as quais podem ser trabalhadas pelos professores nas turmas do ensino médio..	54

LISTA DE ABREVIATURAS

NASA	National Aeronautics and Space Administration
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
USP	Universidade de São Paulo
HZ	Zona Habitável
OP	Fotossíntese Oxigenada
UVB	Ultra Violeta-B
UVC	Ultra Violeta-B
RC	Centro da Reação
VRE	Vegetação de Borda Vermelha
NIR	Infra Vermelho Próximo
BNCC	Base Nacional Comum Curricular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Relevância do tema e problema da pesquisa.....	14
OBJETIVOS	19
JUSTIFICATIVA	20
2 BIOASSINATURAS: AS PEGADAS DA VIDA	20
2.1. Vida, exoplanetas e habitabilidade	21
2.2. Definição de bioassinaturas	23
2.3. Categorias de bioassinaturas	25
3 BIOASSINATURAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS A LUZ DA NOVA BNCC	48
3.1. A BNCC e a transversalidade da Astrobiologia	48
3.2. Bioassinaturas e o dialogo com as competências e habilidades da BNCC	51
4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	54
4.1. Proposta sequencial didática para implementação na educação básica.....	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A	63

1 INTRODUÇÃO

O modo tradicional da estruturação da educação básica brasileira, separada em séries e componentes curriculares (apesar de seus méritos, apresenta limites), divide e gera certo distanciamento dos saberes científico. A forte especialização dos conteúdos desenvolve nos alunos dificuldades em associar conhecimentos entre diferentes áreas de conhecimento (como a química física e biologia), problemas em se inserir em um contexto, entender em sua completude os fenômenos estudados etc. Como consequência desse processo, é perceptível a frustração por partes dos alunos (GERHARD, 2010).

Diante desse cenário e as atuais mudanças a qual vem acontecendo, há a necessidade de se repensar outros métodos de ensino que demandam do professor novos paradigmas educacionais que estejam de acordo com elas. Dentre esses paradigmas, é necessário que a formação do corpo docente contemple abordagens que sejam mais críticas e reflexivas a fim de traçar novos atributos que permita o aprofundamento de atitudes interdisciplinares capazes de desenvolver o dialogo entre as diversas áreas do conhecimento (INSTITUTO UNIBANCO, 2020).

A interdisciplinaridade é caracterizada como a capacidade de romper as barreiras existentes entre as disciplinas, criando a capacidade de resolver problemas por meio da integração de uma ou mais áreas do conhecimento, promovendo dessa forma, uma aprendizagem que tenha significado visando garantir a construção de um conhecimento globalizante (SHAW, 2018).

Nesse sentido, levando em conta a demanda educacional da sociedade do século XXI surge a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento que tem o objetivo de garantir aos estudantes o direito de aprender um conjunto fundamental de conhecimentos e habilidades comuns, atuando como um guia para as escolas nos processos de gestão curriculares adequados com o intuito de promover ambientes mais autênticos de investigação científica para os estudantes, na qual as discussões possam ser pautadas em procedimentos científicos mais realísticos (reforçando ainda mais a importância de se desenvolver um trabalho interdisciplinar), buscando conexões mais acentuadas entre os espaços escolares e a sociedade tecnológica que os cerca (SILVA; SASSERON, 2020).

No entanto, segundo Shaw (2018), trabalhar nessa perspectiva da interdisciplinaridade reforçada pela BNCC exige uma preparação dos professores, o que diante do tradicionalismo

presente durante sua formação torna-se um desafio. Além disso, existem outros entraves na efetivação dessa proposta como, por exemplo, a estruturação dos currículos e a organização do tempo de planejamento pedagógico.

Nessa perspectiva, a Astrobiologia (área da ciência que estuda a vida no contexto cósmico) e seus eixos de pesquisa, possuem um papel muito importante, pois contam com profissionais de vários setores como biólogos, físicos, químicos, astrônomos que colaboram entre si investigando um fenômeno comum, a vida (SILVA, 2018). Apesar de ser o ponto principal de atuação da Astrobiologia, existem muitos outros temas que podem ser abordados dentro desse ramo de conhecimento pelos professores da educação básica como artifício para ensinar ciências e, além disso, desenvolver um olhar mais respeitoso e cuidadoso com o planeta a partir do entendimento das suas ações e devidas consequências e impactos na Terra.

Sendo assim, além de ser uma ciência repleta de interdisciplinaridade a Astrobiologia alcança o patamar da transdisciplinaridade permitindo uma permeabilidade por entre as fronteiras do conhecimento, sua inserção no contexto educacional pode ser mais uma opção para a melhoria do ensino de Ciências (FRIAÇA, 2010; SILVA, 2018). E ainda, existe a contextualização, que pode ser alcançada com a Astrobiologia ao serem abordados assuntos presentes no cotidiano do aluno como: água, estados físicos da matéria, vida entre outros presentes na grade curricular (SILVA, 2018).

Por este motivo, este trabalho, propôs-se a elaborar uma proposta interdisciplinar de ensino de ciências para os professores da educação básica do estado do Pará, usando um dos eixos de pesquisa da Astrobiologia para o desenvolvimento dessa concepção, onde serão identificados pontos de estudo comuns aos assuntos componentes da BNCC dentro dos eixos temáticos Terra e Universo permitindo que possam ser trabalhados conteúdos de ciências por meio da Astrobiologia. Além disso, possibilitar uma maior mobilidade para o professor manejar diversos conteúdos de forma a abranger uma maior quantidade de assuntos a serem trabalhados de forma contínua em cada ano do ensino médio (BRAZIL, 2018).

De um total de dez eixos de pesquisas em astrobiologia como: história da complexidade cósmica, universo molecular, habitabilidade, Sistema Solar, exoplanetas, extremófilos, origens da vida, bioassinaturas, evolução das biosferas, ação humana na Terra e além. Para desenvolver essa proposta foi escolhido um, as Bioassinaturas. Antes de se entender o que são, é necessário entender alguns conceitos, vida e habitabilidade (SILVA, 2016).

A busca por vida é sem dúvida um dos projetos mais emocionantes e intrigantes da humanidade. Essa investigação é moldada em um único referencial acessível e conhecido, o planeta Terra. Algumas estratégias para essas buscas são baseadas na procura de material orgânico em corpos celestes localizados em zonas habitáveis (região em volta da estrela que permite que um planeta ou uma lua com uma dada atmosfera consiga manter água líquida em sua superfície) com o intuito de encontrar rastros de vida passada ou presente. (POHRILLE; SOKOLOWSKA, 2020).

A “Vida” no contexto aqui estudado é um sistema molecular extremamente complexo, dinâmico, auto-organizado, autorreplicante e metabolicamente ativo o qual é baseado em carbono e que evolui (PACE, 2001). Apoiado nessa definição, a maioria das abordagens designadas à detecção de organismos vivos depende da busca por essas Bioassinaturas que nada mais são do que processos químicos, características ou espécies que fornecem evidências sobre a presença de vida (CATLING et al. , 2018; KIANG et al., 2018).

Dessa forma, este trabalho, além de se ensinar ciências por meio da prática interdisciplinar e transdisciplinar, propõe-se a também difundir e inserir a Astrobiologia por meio do eixo de pesquisa bioassinaturas como alternativa de ensino para a nossa região, colaborando com uma formação científica de cidadãos mais críticos e sugerindo uma alternativa de trabalho para o corpo docente das escolas do Pará que já esteja de acordo com a nova BNCC que facilite a transposição do conhecimento acadêmico para a educação básica e enfatizando a importância de se desenvolver um trabalho integrado entre as disciplinas de química, física e biologia.

1.1 Problema da pesquisa e Relevância do tema

Os ritmos acelerados de avanços relacionados à ciência e tecnologias estão presentes na sociedade contemporânea por meio de muitos exemplos no próprio cotidiano, quer seja por meio do seu consumo ou por impactos e consequências causadas por ela (GOMES et al., 2019). O processo de aprendizagem também está inserido nesse contexto em que o acesso à informação ocorre quase que de forma imediata exigindo que não só o aluno apresente um novo perfil de acordo com a modernização da ciência e tecnologia, mas também o professor (GONÇALVES et al., 2021), uma vez que, conforme os Parâmetros Curriculares Nacionais — PCN (BRASIL, 1998), é importante que o educador esteja em constante atualização com as novas tendências e abordagens de ensino.

No entanto, se por um lado em decorrência da ascensão moderna ocorreu à sistematização do conhecimento científico que possibilitou a ocorrência de avanços tecnológicos a fim de uma melhor qualidade de vida e um conforto ao ser humano, por outro sobreveio um afunilamento do saber científico à medida que passaram a serem estudados aspectos específicos de um fenômeno que se encontra disciplinarizado (GOMES et al., 2017). Dessa forma, a ciência passou a ser vista de forma fragmentada e especializada trazendo resquícios desse pensamento até os dias atuais.

O distanciamento entre a realidade do mundo conectado, globalizado e em rede com o ensino em sala de aula associado a essa visão individualista da ciência em que as disciplinas são vistas de forma isolada, desconectada e descontextualizada, também afeta de maneira significativa a aprendizagem do educando (GOMES et al., 2019; SILVA, 2018). Como forma de suprir os danos causados por essa visão mecanicista de especializações do conhecimento, são utilizadas inúmeras abordagens pelo professor para estimular a atenção do aluno associada a uma forte necessidade de inserir questões atuais que muitas vezes estão restritas apenas ao ambiente escolar. Assim de acordo com Fazenda et al (2008), essa conduta fragmentada de conhecimento é visto como:

Especializado, restrito e fragmentado, o conhecimento passou a ser disciplinado e segregador. Estabeleceu e delimitou as fronteiras entre as disciplinas, para depois fiscalizá-las e criar obstáculos aos que as tentassem transpor. "A excessiva disciplinarização do saber científico faz do cientista um ignorante especializado". Criou um pássaro, deu-lhe asas potentes, mas que só alça vôo no campo restrito da sua especialidade — trancou-o em uma gaiola. (FAZENDA et al., 2008, p. 67).

Como consequência desse processo, há um distanciamento entre a vivência fora do ambiente escolar com o aprendizado em sala de aula ocasionando dificuldade do aluno em enxergar o todo. Essa adversidade em unir a vivência do aluno, com o conhecimento científico e o que se ensina em sala de aula, também complica trabalho de ensinar do professor ainda mais, pois existem lacunas no processo de formação de professores que fazem com que o educador sinta dificuldades em inserir novos conteúdos a suas atividades em sala, gerando como consequência, aulas ministradas da mesma forma por muitos anos (SILVA, 2018).

Para o educando, existe a necessidade de entender não só o que as disciplinas têm a oferecer, mas enxergar também a sua relevância, sentido e o significado daquele conhecimento adquirido com a vida cotidiana. Segundo Silva (2018), caso essa interligação

não ocorra, as aulas tornam-se mais desinteressantes do ponto de vista do aluno ocasionando uma aprendizagem mecânica baseada em resolução de problemas fictícios desligada do mundo real.

Uma possibilidade na tentativa de aproximar o que é visto em sala, que está cada vez mais distante, com o contexto escolar e a vivência, é a Interdisciplinaridade. Esse conceito propõe-se a superar a visão fragmentada e linear da produção de conhecimento, possibilitando que haja uma articulação contextualizada do saber (FEISTEL; MAESTRELLI, 2008). Além disso, a interdisciplinaridade promove conexões entre diferentes disciplinas criando pontes entre elas, causando transformações profundas no processo de uma aprendizagem significativa (OCAMPO et al. 2016). Uma aprendizagem significativa ocorre quando existe a conexão entre o conceito estudado com o que está pré-estabelecido no imaginário do aluno, produzindo correlações entre o conhecimento do educando de mundo real com o que é visto em sala (SILVA, 2018) formando um indivíduo crítico para viver em sociedade. Dessa forma, para Japiassu (1976), a questão interdisciplinar é:

Reconhecemos diante de um empreendimento interdisciplinar todas as vezes que ele conseguir incorporar os resultados de várias especialidades, que tomar de empréstimos a outras disciplinas certos instrumentos e técnicas metodológicos, fazendo uso dos esquemas conceituais e das análises que se nos encontram diversos ramos do saber, a fim de fazê-los integrarem e convergirem, depois de terem sido comparados e julgados. Onde poderemos dizer que o papel específico da atividade interdisciplinar consiste, primordialmente, em lançar uma ponte para ligar as fronteiras que haviam sido estabelecidas anteriormente entre as disciplinas com o objetivo preciso de assegurar, a cada uma, seu caráter propriamente positivo, segundo modos particulares e com resultados específicos (JAPIASSU, 1976, p. 75).

A interdisciplinaridade também aparece como um novo modo de reorganização das disciplinas científicas e de reformulação de suas estruturas de ensino, promovendo um processo de ensino e aprendizagem mais motivador para os alunos dentro de um contexto epistemológico, social e histórico. Em síntese, um ensino pautado em atividades interdisciplinares favorece a formação de alunos e professores com uma visão geral de mundo, preparados para “articular, religar, contextualizar, situar-se num contexto e, se possível, globalizar, reunir os conhecimentos adquiridos” (MORIN, 2002, p. 29).

É importante ressaltar que assumir uma conduta interdisciplinar não significa abandonar ou menosprezar as especificidades de cada disciplina, mas sim completá-la, de forma a estimular a percepção entre os fenômenos, o que é fundamental para o

desenvolvimento de uma visão articulada do ser humano no ambiente em que vive como agente construtor e transformador do meio (FAZENDA et al., 200, p. 65)

No entanto trabalhar nessa perspectiva é uma tarefa desafiadora para o professor. Exige que haja uma maior flexibilidade, atitude e disposição para atuar de forma integrada com as outras áreas, o que pode ser muito difícil, uma vez que a própria formação inicial oferecida pelas universidades ao corpo docente não os prepara o suficiente para lidar com essa nova linha de trabalho, visto que o currículo de licenciatura também vem de uma linha fragmentada de conhecimento (OLLIVEIRA; FENNER, 2020).

Dessa forma existe uma insegurança por parte de muitos profissionais da educação para o planejamento e realização de atividades interdisciplinares, pois estão fora do ambiente em que estão acostumados a trabalhar e também do que é comumente adotado nas escolas (OLLIVEIRA; FENNER, 2020). Outra questão problemática bastante comum é a falta de tempo para realização de discussão e execução de propostas como essa, pois não envolve somente expor um conjunto de ideias de diferentes áreas, mas é necessário que todos os profissionais estejam envolvidos e engajados sobre a melhor forma de ministrar e lidar com os conteúdos (SILVA, 2018).

Pensando na superação das dificuldades para a implantação de práticas interdisciplinares no ensino de ciências, encontra-se a Astrobiologia, ciência responsável por estudar o universo com vida. Trata-se de uma disciplina que traz consigo uma crítica ao distanciamento e a estrutura disciplinar da educação científica devido a sua necessidade de uma abordagem integrativa entre área do conhecimento (FRIAÇA, 2010).

Sua extensão cria de forma natural pontes entre temáticas que abrangem áreas distintas como: Astronomia, Biologia, Física, Química, Geologia e muitas outras que podem contribuir para a produção de um conhecimento científico partindo de uma investigação comum que é o estudo da vida em seu contexto cósmico (FRIAÇA, 2010; SILVA, 2016) e nesse processo, derruba as fronteiras tradicionais existentes entre diferentes áreas do conhecimento. Por isso, mais do que interdisciplinar a Astrobiologia alcança patamares da transdisciplinaridade, isso quer dizer que um objeto não é estudado apenas por diversas disciplinas, mas viabiliza uma permeabilidade entre as fronteiras do conhecimento onde convivem novos objetos e maneiras de compreensão (FRIAÇA, 2010).

Apesar de a Astrobiologia ser considerada uma ciência emergente, vem se mostrando conhecida principalmente com a ajuda da mídia, e desperta não só o interesse de alunos, mas

também de professores que enxergam essa disciplina como um terreno fértil para argumentações de conteúdos ligados ao ensino de ciências naturais tais como: discussões como o modo como vivemos e agimos, questões ambientais, tecnologias, estudo da vida e muitas outras, permitindo que a partir da visão de profissionais de áreas distintas possam contribuir com argumentações relevantes para o entendimento do assunto estudado a partir de diferentes pontos de vistas (SILVA, 2018).

A temática do estudo da vida possui uma abrangência muito grande e que se enquadra tanto em contextos locais quanto também podem ser expandidos em termos universais, pois envolvem tópicos que estão fortemente presente dentro da área de Astrobiologia. Olhar o ambiente em que vivemos é estar de cara com vida em abundância, visto que a região Amazônica possui uma vasta biodiversidade e cerca de 80% de toda água doce superficial planetária (elemento essencial para a manutenção de vida) (SILVA, 2018). Dessa forma, a Astrobiologia promove discussões respeito da importância e preservação da nossa região como também possibilita perfeitamente relacionar os parâmetros de vida que conhecemos até o momento e expandi-la para um conceito mais universal inserindo professor e aluno em um contexto.

O estudo da vida é apenas um dos campos que a Astrobiologia abarca, seu estudo possui eixos de pesquisas como: Sistema Solar, Extremófilos, Ação humana na Terra, habitabilidade e vida, Bioassinaturas e muitos outros (SILVA et al., 2016). No eixo de pesquisa em Bioassinaturas, por exemplo, existem pontos de estudos que se fazem comuns com tópicos de estudo da grade curricular de alunos da educação básica que estão em consonância com a Base Nacional comum Curricular-BNCC (documento que define as aprendizagens essenciais que os estudantes brasileiros devem ter na educação básica), o qual explicita a necessidade de integração às três áreas de conhecimento que compõe as Ciências da Natureza.

Em síntese, a Astrobiologia pode ser considerada uma ferramenta de ensino extremamente poderosa rompendo as barreiras acadêmicas por meio da interdisciplinaridade e transdisciplinaridade que foram criadas em torno do conhecimento científico devido o alto grau de especialização das disciplinas que não só afetou o modo de produção da ciência, mas também a produção de conhecimento, inclusive o modo de ensinar na escola (GOMES, 2018, p. 20-21). E ainda, a Astrobiologia pode ser usada para incluir discussões em sala de aula mostrando a importância da nossa região, fornecer conhecimento a cerca da nossa

biodiversidade, discutir sobre água, terra, atmosfera, etc., redirecionando os olhos dos alunos para que conheça e entenda o grau de importância do nosso lar e que passem adquirir pontos de vistas que busquem a observar a natureza com mais respeito e cuidado, tendo como ponto de partida as escolas e difundindo para as famílias e comunidades a fim de apresentar o nosso papel quanto habitante e apresentar ações que contribuam para a manutenção de vida no nosso planeta (SILVA, 2018).

Dessa forma, conhecendo o grau de importância da Astrobiologia e sua permeabilidade em relação às áreas distintas de conhecimento, nos próximos capítulos será apresentada uma proposta interdisciplinar entre disciplinas voltadas às ciências da natureza por meio do tópico Bioassinaturas (apresentado mais detalhadamente no próximo capítulo) ao longo do ensino médio, utilizando conhecimentos físicos, químicos e biológicos presentes nos currículos escolares apresentados pela nova BNCC, com o intuito de compreender essa recente estratégia na busca de vida em astros e discutir a respeito de sua habitabilidade e detecção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo da Pesquisa:

Neste trabalho, procura-se contribuir com a prática docente à luz da Base Nacional Comum Curricular direcionada aos alunos do ensino médio, introduzindo alternativas de ensino que visam despertar um maior interesse do aluno através de vínculos criados com os temas desenvolvidos no âmbito escolar por meio de uma proposta interdisciplinar e desafiadora, o qual o aluno e professor devem estar inseridos, fazendo uso da Astrobiologia, mais especificamente o tópico Bioassinaturas, como eixo integrador do ensino de ciências naturais através de conhecimentos físicos, químicos e biológicos presentes nos currículos escolares trazendo recursos para um melhor entendimento e para a construção de uma visão holística no que se refere aos processos que estão presentes à cerca da vida e sua detecção.

Além do propósito de contribuir para o ensino de ciências utilizando a contextualização e a interdisciplinaridade presente na Astrobiologia, também se pretende cooperar com o desenvolvimento de práticas de cunho educacional que transcendam o ambiente escolar viabilizando reflexões profundas nos professores e alunos a respeito da preservação do nosso ecossistema que é rico em vida, visto que serão apresentadas técnicas de

detecção de vida em outros lugares que até o momento apresentam resultados negativos, trazendo a tona a importância da preservação e manutenção da vida no nosso planeta.

1.2.2 Objetivos Específicos

À vista disso, abaixo são pautadas de forma mais direcionadas os objetivos que devem ser alcançadas com desenvolvimento do trabalho:

- Contribuir com a prática interdisciplinar e transdisciplinar Inserindo a a Astrobiologia como uma proposta de ensino de ciências na educação básica;
- Promover uma cultura de paz por meio da Astrobiologia;
- Apresentar uma alternativa de trabalho para o professor contemplando as competências e habilidades referentes à nova BNCC;
- Possibilitar a aproximação entre o meio acadêmico com a educação básica;

1.3 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema foi feita a partir da análise das dificuldades observadas e vivenciadas por professores da educação básica em inserir e adaptar suas temáticas de trabalho em uma rede interdisciplinaridade, visto que, parte desse problema está associada a uma educação fragmentada experimentada por grande parte dos professores, tornando esta transição difícil afetando também o aluno.

Dessa forma, utilizar a Astrobiologia como proposta interdisciplinar ensino traz melhorias significativas à questão de ensino-aprendizagem. E ainda, rompe o ciclo vicioso que está enraizado na educação básica promovendo a interligação dos conteúdos vistos em sala com o contexto vivido pelo professor e aluno.

2 BIOASSINATURAS: AS PEGADAS DA VIDA

Neste capítulo, será apresentada uma pequena discussão do que são bioassinaturas utilizando como referencia principal o artigo *Exoplanet Biosignatures: A Review of Remotely Detectable Signs of Life* de Schwieterman et al (2018) , alguns conceitos que estão por trás desse tema e sua devida importância para o estudo da vida a partir da concepção de vida que se conhece no nosso planeta.

2.1 Vida, exoplanetas e habitabilidade.

A astrobiologia, de acordo com o Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) (2021) da Universidade de São Paulo (USP), é uma área da ciência que estuda a vida no universo em conexão com o ambiente astronômico: a sua origem, evolução, distribuição e futuro. Essa ciência tem como alvo a procura por vida em outros ambientes tais como luas, planetas, exoplanetas, etc. Para ocorrer essa busca é necessário que o conceito sobre esse assunto esteja bem estabelecido para que possamos delimitar traços comuns encontradas em todos os seres vivos conhecidos e partirmos da suposição de que a vida extraterrestre compartilha essas características com a que está presente na Terra. O que se sabe sobre esse contexto envolve pesquisas que são extremamente complexas e cheias de caminhos tortuosos que geram dúvidas e discussões até hoje e que também está intimamente entrelaçado com os assuntos discutidos nesse material.

Quando se expande a busca por vida em outros ambientes é necessário entender o que é um ambiente habitável. Em uma definição mais geral é possível compreender como lugar habitável é aquele que apresenta condições adequadas para o surgimento e evolução da vida (COCKELL, 2016). No que tange o conhecimento a cerca da definição de vida, a universalidade das leis da física e química trouxe a ajuda necessária para que fosse estabelecido um consenso sobre esse assunto.

Para ocorrer o surgimento de vida, é necessária a existência de três componentes essenciais: uma fonte de energia que guie as reações metabólicas, a existência de um solvente líquido que seja responsável por mediar às reações e a existência de vários nutrientes que construam uma biomassa e que também produza enzimas que catalisem as reações metabólicas (SCHWIETERMAN et al., 2018). O estudo sobre esse tópico envolve basicamente os princípios gerais da física, química e biologia o qual sugerem que esse solvente líquido mencionado anteriormente é provavelmente a água, tanto por causa da abundância cósmica dos elementos que formam a molécula, quanto também por suas propriedades físico-químicas que fazem com que seja potencialmente adequado para mediar reações macromoleculares (SCHWIETERMAN et al., 2018; COCKELL, 2016), por conta disso esse solvente líquido tem um papel extremamente importante de forma expansiva, ativa e às vezes, sutis nos seres vivos conhecidos (DES MARAIS, 2013).

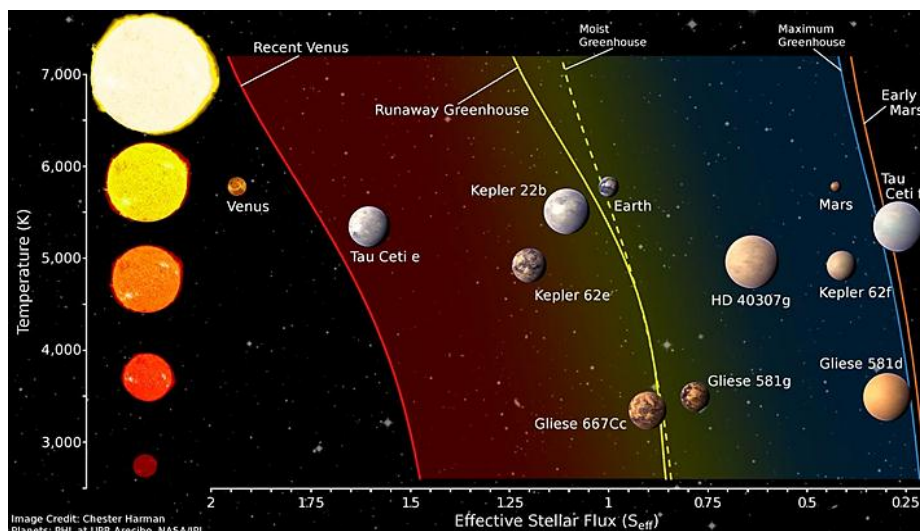
Outro aspecto que é considerado um definidor de vida, é a capacidade de evolução, que é extremamente necessária para que os organismos presentes no ambiente sejam capazes

de suportar as mudanças nas condições ambientais (SCHWIETERMAN ET AL., 2018; DES MARAIS, 2013). Esse processo exige necessariamente que existam moléculas funcionais muito complexas, tais como, proteínas e carboidratos (GALANTE ET AL., 2016, p. 120) que impeçam, por exemplo, que o ambiente tome uma condição extrema permitindo assim que essas moléculas perdurem há longo prazo (SCHWIETERMAN ET AL., 2018). Em síntese, de acordo com Pace (2001) a vida no contexto aqui estudado é um sistema molecular extremamente complexo, dinâmico, auto-organizado, autorreplicante e metabolicamente ativo o qual é baseado em carbono e que evolui.

Desde a descoberta da existência de planetas extrassolares em 1995, uma das primeiras características analisada em relação aos exoplanetas é se eles estão localizados em uma região que possui condições de abrigar vida. Um ambiente nessas condições pode ser considerado um mundo habitável, segundo Meandowns (2008) a habitabilidade de um planeta é auxiliada pelo próprio conceito de Zona Habitável (HZ) que é definida como sendo a região em volta de uma estrela que permite um planeta com uma dada atmosfera ou lua consiga manter água líquida em sua superfície. Essa definição parte do princípio de que a água (como mencionado anteriormente) é o único constituinte comum presente nos mais variados de tipo de vida na terra (MEANDOWNS, 2008).

Uma rápida avaliação de uma habitabilidade em potencial apresentada por Bernardes (2013), depende do conceito de HZ, essa informação permite restringir alguns critérios para sua identificação observando, por exemplo, a luminosidade (parâmetros medidos com base na temperatura e raio efetivo) e o semieixo maior da estrela. Além desses fatores, outro indicador importante de habitabilidade é interação da radiação estelar associado à presença de um equilíbrio atmosférico para que os reservatórios de água líquida possam se manter por bilhões de anos, esse mecanismo responsável pela manutenção da temperatura superficial esta intimamente relacionada à presença do ciclo de feedback do carbono-silicato (ciclo importante que atua como termostato da temperatura superficial do planeta) (WALKER ET AL., 1981; KASTING ET AL., 2013). Partindo dessa concepção de HZ, a temperatura planetária é controlada pela absorção do efeito estufa via dióxido de carbono, água, albedo de superfície (a capacidade das superfícies refletirem a radiação incidente sobre elas) e a temperatura da estrela. Em síntese, planetas na região habitável tem a capacidade de manter água líquida superficial estável e um ciclo de feedback (CATLING, 2007) de carbonato-silicato como mostra abaixo:

Figura 2.1 – Diagrama mostrando diferentes limites de HZ para estrelas que variam em tipo espectral de F0 a M7. Vários planetas dentro de nosso sistema solar são mostrados, junto com exoplanetas selecionados.



Fonte: Kasting et al (2013)

A habitabilidade de exoplanetas é um assunto investigado com muito cuidado e em detalhes uma vez que as propriedades químicas presentes em sua atmosfera pode revelar biodindicadores de vida, chamado de Bioassinaturas. A avaliação desses bioindicadores inclui a discussão de habitabilidade uma vez que as métricas detectáveis de habitabilidade ajudam na interpretação das bioassinaturas (SCHWIETERMAN et al., 2018). Além disso, a própria suposição de água líquida na superfície planetária sugere que se ocorrer à formação de uma biosfera, ela estaria em contato direto com a atmosfera permitindo o acúmulo desses indicadores de vida potencialmente detectáveis na superfície e/ou na atmosfera de um exoplaneta (MEANDOWNS, 2008).

2.2 O que são Bioassinaturas?

Os conceitos atuais de vida e bioassinatura estão intimamente ligados, de modo a enfatizarem que as bioassinaturas podem conter informações sobre a presença de vida. No entanto, para serem úteis a exploração às definições obtidas devem estar em termos que possam ser medidos ou quantificados (DES MARAIS et al., 2008). É importante também ressaltar que há um certo cuidado ao estudá-las, uma vez que, diferentes bioassinaturas são capazes de trazer graus distintos de confiabilidade de que foram produzidas biologicamente, podendo gerar resultados inconclusivos ou falso-positivos (CATLING et al., 2018). Por esse fator, devem ser compreendidas de modo a esclarecer as interpretações adquiridas antes de

chegar a uma possível conclusão a respeito da presença ou ausência de vida (DES MARAIS et al., 2008; POHRILLE; SOKOLOWSKA, 2020).

Em sua definição mais ampla, uma bioassinatura ou biomarcador pode ser compreendido como sendo um objeto, características, espécies, substâncias e/ ou padrões cuja origem requer especificamente um agente biológico (DES MARAIS et al., 2008). Uma aplicabilidade a ela é determinada, não somente pela probabilidade da vida criando-a, mas também pela impossibilidade de fatores não biológicos virem a produzi-la (CHAN et al., 2019). Dito isto, pode ser considerado um biomarcador quaisquer fenômenos observáveis como a abundância de elementos, pigmentos, moléculas, quiralidade, distribuição de aminoácidos ou lipídio, oxigênio molecular em exoplanetas ou sinais de atividade metabólica (CATLING et al., 2018).

Dentro do contexto discutido anteriormente, não é novidade o fato de que o planeta Terra é rico em vida, isso significa que qualquer região a qual se escolha para fazer algum tipo de observação ou coleta de amostras como líquidos, rochas e até mesmo gases há presença de matéria vivo ou orgânico decomposto apresentando assim a possibilidade da presença de uma variedade de bioassinaturas (BERNARDES, 2013). Por essa razão o interesse de buscar por planetas ou exoplanetas que tenham uma estrutura semelhante à Terra e que fosse possível abrigar vida tornou-se um dos projetos promissores dentro da área de astrobiologia.

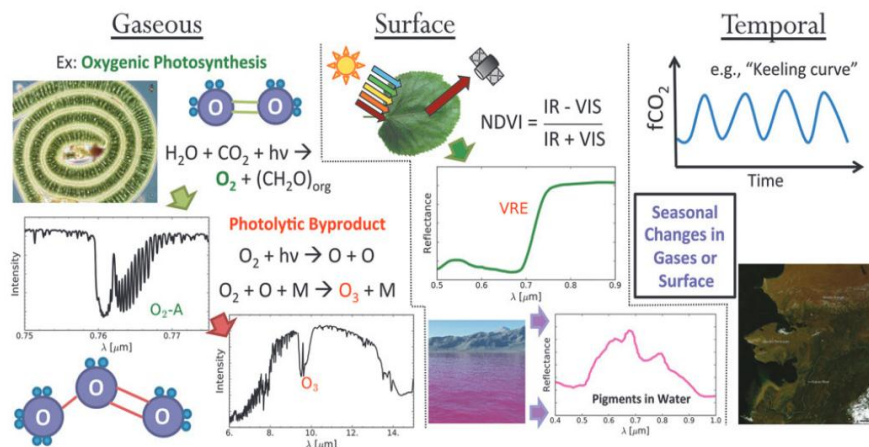
De acordo com Bernardes (2019), a partir do momento que se encontrou o primeiro exoplaneta, outros foram encontrados com mais de diversas formas e situações inusitadas, por conta desse fator, surgiu o questionamento de que um desses exoplanetas é capaz de abrigar um biosistema equivalente ao da terra ou pelo menos semelhante. Então dessa forma, analisando à terra como um exoplaneta, podemos identificar algumas categorias de bioassinatura que podem servir como método de detecção de sinais de algum tipo atividade metabólica ligada a vida a outros ambientes.

2.3 Categorias de Bioassinaturas

Nos dias atuais, podemos considerar que não existe um esquema que é universalmente aceito para classificar a imensa gama de potenciais bioassinaturas, mas por conveniência e facilidade durante o estudo, podemos classifica-las de modo a entendê-las

separando em três grandes e distintos grupos chamados de: bioassinaturas gasosas, superficiais e temporais (MEADOWS, 2008) como mostra a figura abaixo:

Figura 2.2 – Resumo das bioassinaturas gasosas, superficiais e temporais.



Fonte: Schwieterman et al (2018).

Na figura apresentada, podemos observar um breve resumo dessas assinaturas de vida, no painel do lado esquerdo é possível observar a produção de bioassinaturas gasosas o qual são produtos diretos ou indiretos de processos de origem biológica, como, por exemplo, o oxigênio molecular formado como um resíduo da fotossíntese (produto direto) e quando processado gera o ozônio fabricado via, reações fotoquímicas (produto indireto). No centro da imagem, podemos observar as bioassinaturas ditas de superfícies que nada mais são do que assinaturas espectrais emitidas através da luz que é refletida ou espalhada via interação com a matéria viva, um bom exemplo, é a luz refletida pela vegetação. E por fim, ao lado direito é possível observar as bioassinaturas temporais, a qual são mudanças em quantidades mensuráveis que variam conforme o tempo que podem ser ligadas às ações e padrões, como a variações das concentrações de gás ou características de albedo de superfície que estejam relacionadas com uma resposta da biosfera a uma mudança sazonal, ou diurna. Na próxima seção serão discutidas as bioassinaturas apresentadas acima (SCHWIETERMAN et al., 2018).

2.3.1 Bioassinaturas Gasosas

Como dito anteriormente, as bioassinaturas gasosas podem resultar de um processo originalmente biológico ou de um processo indireto formado a partir de material biogênico (essencial para a vida) que levam a formação de produtos secundários. É importante ressaltar,

que nem todos os gases de origem biogênica podem ser considerados biológicos e sua detecção depende do seu contexto ambiental (SCHWIETERMAN et al., 2018). Logo a seguir, serão apresentados os gases biogênicos conhecidos até o momento que podem ser considerados bioassinaturas, pois são gases produzidos pela vida terrestre (SEAGER, 2005). Além disso, serão apresentadas também suas características, os contextos nos quais podem ou não ser considerados uma assinatura de vida e como podem ser observados, começando pelo Oxigênio, o qual é uma das maiores referências de bioassinatura.

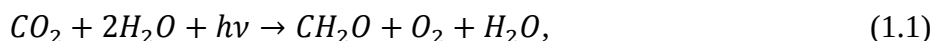
Oxigênio e Ozônio

Meadows (2018) afirma que para que uma bioassinatura seja útil à exploração, ela precisa atender algumas especificações, tais como: confiabilidade, capacidade de sobrevivência e detectabilidade, o qual todo esse conjunto aumenta a probabilidade de que essas assinaturas biológicas possam ser detectadas e interpretadas como produto direto de organismos vivos.

O parâmetro de confiabilidade busca trazer como resposta a origem biológica das características observadas em um ambiente planetário que não sejam por processos geológicos e fotoquímicos, já a capacidade de sobrevivência atua em determinar se o gás identificado com bioassinatura é capaz de escapar de sumidouros normalmente presentes em um planeta (destruição por fotólise, reações com gases de origem vulcânica e a própria superfície, etc.) evitando sua destruição a ponto de atingir níveis detectáveis (BOARD, SPACE STUDIES et al, 2019, p. 66, p. 69; MEADOWS, 2018). Por fim, a questão referente à detectabilidade buscar responder se o gás é espectralmente ativo e livre de sobreposição de outras espécies químicas dentro da região do comprimento de onda observado (MEADOWS, 2018).

Com base nesses três parâmetros, a abundância de oxigênio molecular O_2 na terra por si só indica uma origem biológica e foi identificado como a bioassinatura astronômica mais referenciada por conta de sua origem biogênica comprovada e também por atender a esses três critérios mencionados acima de uma bioassinatura em potencial (MEADOWS, 2008). A questão do requisito confiabilidade para o oxigênio molecular vem da observação desse gás como subproduto da *Fotossíntese Oxigenada* (OP), acontecimento este que indiscutivelmente foi um dos eventos biológicos mais importantes, pois ela utiliza energia proveniente do Sol para fragmentar de forma indireta a água H_2O que serve como um doador de elétrons, para produzir material orgânico a partir do dióxido de carbono CO_2 formando como produto residual o oxigênio, por conta disso, a OP pode representar o início dos primeiros resquícios

desse gás na terra, portanto, claramente tem uma origem biológica (SCHWIETERMAN et al., 2018). A fotossíntese é por si só um processo longo e complexo, que pode ser resumido a partir da expressão abaixo:



onde CH_2O representa o material orgânico e $h\nu$ é a energia associada aos fótons (sendo h a constante de Planck e ν a frequência do fóton). A OP é considerada um dos processos metabólico mais potencialmente produtivo em um planeta orbitando uma estrela, visto que ela utiliza a grande quantidade de componentes globalmente disponíveis do ambiente terrestre habitável permitindo que a fotossíntese oxigenada domine grandes frações da superfície planetária (KIANG et al., 2007; SCHWIETERMAN et al., 2018)

Apesar de a OP ser extremamente importante na história do nosso planeta ela não é o único fator a ser levado em conta para o acúmulo em longo prazo de oxigênio na nossa atmosfera e que seja potencialmente detectável (MEADOWS, 2008). Com isso deve ser levado em conta o requisito da capacidade de sobrevivência desse gás, uma vez que, além da evolução da OP é necessário que ocorra um equilíbrio entre as fontes e sumidouros de O_2 (SCHWIETERMAN et al., 2018) e também das condições da dinâmica geoquímicas do planeta (MEADOWS, 2018). De acordo com Meadows (2018), caso essas situações ditas anteriormente não forem favoráveis, ou seja, se não houver um equilíbrio entre os processos de criação e destruição desse gás, pode ocorrer à criação de baixos níveis de oxigenação gerando a formação de bioassinaturas indetectáveis ou a concepção de um falso negativo para elas.

Com origem fotossintética e também dos sumidouros desse gás relativamente fracos em comparação os primeiros períodos da história terrestre, o O_2 sofreu um aumento ao longo dos tempos para se tornar o segundo gás em maior quantidade na nossa atmosfera, ficando atrás apenas do Nitrogênio (N_2) que também pode ser considerado uma bioassinatura só que muito mais pobre, uma vez que o N_2 só exibe uma forte absorção na região do ultravioleta extremo (CATLING, 2007; JHONSON, 2015; MEADOWS, 2018). Isso que dizer que a absorção de energia pelo nitrogênio, gera características espectrais detectáveis que só podem ser analisadas em regiões de comprimento de onda menor, fazendo com que seja uma bioassinatura com potencial de detecção restrito.

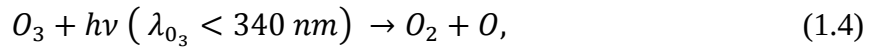
Por conta disso, o parâmetro detectabilidade faz uso da abundância do oxigênio na atmosfera a ser analisado como um gás acessível à observação por espectroscopia de trânsito (técnica que analisa o espectro formando pela divisão das cores presente na luz quando passa pela atmosfera) (MEADOWS, 2018). Além disso, outro fator que contribui para a sua detectabilidade é o fato do oxigênio ser um dos poucos gases de origem biológica que pode absorver a região do visível e infravermelho, ou seja, apresenta características fortes em regiões de comprimento de onda maiores o que é bem mais acessível, podendo ser alvo de estudo das próximas missões da National Aeronautics and Space Administration (NASA) e de telescópios na busca por caracterização dos exoplanetas (SCHWIETERMAN et al., 2018).

O grande evento da oxigenação atmosférica e dos oceanos trouxe impactos significativos nos principais ciclos biogeoquímicos do nosso planeta, permitindo a diversidade biológica o qual preparou o terreno para as diversas formas de vida que dependem do oxigênio para a sua sobrevivência (MEADOWS, 2018). É importante destacar que a oxigenação de uma atmosfera é um processo extremamente complicado e que vai muito além de apenas produzir O_2 , pois dependem de condições ambientais específicas para que ocorra, mas graças a seu domínio na atmosfera e sua distribuição em escala global fizeram com que a OP pudesse ser detectável em nível de escala planetária e também ser responsável por manter grande parte da biomassa viva no nosso planeta (SCHWIETERMAN et al., 2018).

É tentador ligar a presença de oxigênio em uma atmosfera à vida, no entanto devemos lembrar que a bioquímica responsável por produzir esse gás é bastante complexa e pode ser bem rara, no entanto, mesmo com a complexidade da formação desse gás em uma atmosfera planetária, o O_2 continua não sendo apenas uma bioassinatura potencialmente promissora, mas também é um forte indicador de um ambiente na qual exista a multicelularidade e até mesmo possa suportar a inteligência (CATLING et al. , 2005; MEADOWS, 2018).

Outro gás extremamente importante no estudo de biomarcadores é o Ozônio (O_3), o qual é indispensável para a manutenção de vida na terra. O papel do O_3 é impedir a penetração de raios ultravioleta (UVC e uma boa parte do UVB) que é nociva aos seres vivos formando assim, uma espécie de escudo protetor que está localizado em uma faixa da atmosfera terrestre chamada de estratosfera, situada a cerca de 30 km a 35 km da superfície do nosso planeta (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2021). O ozônio terrestre é fruto de reações fotoquímicas que dividem o oxigênio, fazendo com que se torne uma bioassinatura em potencial, uma vez que, sua origem vem de uma molécula originada pela presença de vida.

O ciclo de formação e destruição do O_3 é descrito pelo esquema de Chapman (RUGHEIMER, 2013):



onde λ é o mínimo comprimento de onda para que ocorra a fotodissociação (separação de uma molécula pela ação de uma energia radiante) da molécula apresentada e M é qualquer molécula que atenua energia ou seja que carregue excesso de energia vibracional, estabilizando o ozônio produzido (por exemplo, N_2) (RUGHEIMER, 2013). As concentrações de O_3 variam espacialmente à medida que o fluxo de radiação UV incide sobre esse composto químico impactando diretamente na taxa de produção e destruição de ozônio, afetando a observação dos perfis e concentrações previstas em planetas que orbitam estrelas diferentes, mesmo que possuam a mesma abundância de oxigênio. Em síntese, planetas com a mesma produção de O_2 e, por exemplo, mesma estrela, mas distâncias diferentes terão um perfil de concentração de ozônio relativamente diferente.

Outra característica importante a se destacar sobre essa bioassinatura, é que significativas concentrações de ozônio podem ser formadas a partir de níveis baixo de oxigênio, fazendo com que o O_3 seja um indicador mais sensível do que o próprio O_2 (MEADOWS, 2008). Além disso, o ozônio apresenta uma assinatura na região do ultravioleta bem forte, fazendo com que seja possível detectá-lo mesmo que esteja em pequenas quantidades, tornando-se a melhor opção para identificar vida fotossintética em exoplanetas que tenham baixos níveis de oxigênio.

Apesar de o ozônio apresentar resultados promissores no estudo de biomarcadores, é necessária certa cautela, pois assim como o oxigênio, o O_3 sozinho não significa necessariamente a existência de vida, é necessário outras bioassinaturas para concluir a possibilidade de ter tido vida passada ou presente em um planeta e que podem não ser vista nas regiões do ultravioleta (MEADOWS, 2008). Por isso, a melhor forma de encontrar uma bioassinatura que tenha realmente sido produzida por formas de vida é buscar combinações delas em comprimentos de onda que sejam específicos para a sua detecção. No item a seguir, serão apresentados mais dois gases que representam bioassinatura gasosas que são o Metano e

Óxido Nitroso (todos eles presente na terra). Essencialmente quando se procura essas assinaturas moleculares a atenção é concentrada em planetas semelhantes à Terra, o qual é um ótimo ponto de partida para se começar (SCHWIETERMAN et al., 2018). Além deles, existem outros como o Cloreto de Metila e o Sulfeto de Dimetila que são menos abundantes na terra, mas também podem ser considerados indicadores promissores da presença de vida em planetas cuja atmosfera é rica em hidrogênio, onde o oxigênio e o ozônio não são tão abundantes.

Metano e Óxido Nitroso

Algumas reações químicas provocadas pela vida na Terra foram identificadas como as principais responsáveis em causar mudanças na composição atmosférica do nosso planeta. Estima-se que a primeira delas a ocorrer foi em decorrência do surgimento da vida primitiva convertendo inicialmente hidrogênio em Metano CH_4 (WOGAN, 2020). A metanogênese é um antigo processo de metabolismo aeróbico que produz o CH_4 a partir de um composto de carbono (como o CO_2) funcionando como aceptor de elétrons ou desproporcionando acetato para CH_4 e CO_2 (DEAN, 2018). No nosso planeta a maior parte da produção de metano é de origem biogênica fazendo com que esse gás também seja uma bioassinatura em potencial (ARNEY et al., 2016).

Embora a predominância de CH_4 seja esmagadoramente biogênica, Dean (2018) faz uma revisão das fontes biológicas de metano, ainda existem muitos potenciais abióticos que devem ser levados em consideração, como a produção por processos magmáticos de alta temperatura em áreas vulcânicas e geotérmicas ou quase sempre por meio de reações gás-água-rocha em baixa temperatura (ETIOPE; LOLLAR, 2013). O modelo de construção em ambientes planetários primitivos e zonas contendo gelo são repletos de metano, já que é a forma de carbono mais termodinamicamente estável em condições redutoras (excesso de hidrogênio), dessa forma é esperado que esses ambientes que utilizam esse material de construção tenham predominantemente fontes abióticas de metano, como é o caso da lua gela de Saturno, Titã (SCHWIETERMAN et al., 2018).

No período éon arqueano terrestre evidências geoquímicas indicam a presença de uma névoa orgânica (Haze, em Inglês) semelhante a que é encontrada em Titã, o qual é originada a partir da fotoquímica de CH_4 (SCHWIETERMAN; LYONS; REINHARD, 2018). Características como concentrações de CO_2 , abundância de CH_4 em decorrência de fontes biogênicas e a maior fonte abiótica de metano, correspondem a esse período geológico da

terra. O estudo da fotoquímica acoplada, responsável por simular a fotoquímica e o clima da Terra arqueana, mostrou que a produção de uma névoa considerável em atmosferas planetárias no qual as concentrações de CO_2 corresponderem a esse período geológico, exigiria que as taxas de fluxo de CH_4 fossem consistentes com a produção biogênica atual (ARNEY et al., 2016).

Segundo Arney et al (2016), a névoa sozinha não é um indicador suficiente para a detecção de vida, no entanto, ela possui uma forte interação com faixas específicas do espectro na região azul-violeta, o que origina a cor alaranjada da atmosfera de Titã, que pode impactar diretamente na observação dos espectros em exoplanetas que futuros telescópios tentarão detectar. Em resumo, essa característica da névoa a torna mais fácil de detectá-la do que o próprio metano, uma vez que ela altera significativamente o espectro de reflexão de luz superficial planetária, fazendo com que seja possível encontrar mais facilmente alvos na busca de habitabilidade e vida. É importante destacar que, em atmosferas com grandes quantidades de oxigênio a formação dessa névoa orgânica seria incompatível, exigindo atmosferas mais redutoras que a do nosso planeta para que ocorra a sua formação (ARNEY et al., 2016, 2018).

Outra espécie química importante é o Óxido nitroso N_2O o qual é um importante gás de efeito estufa responsável por causar mudanças climáticas significativas e é produzido na terra por meio da desnitrificação incompleta de nitrato NO_3^- em nitrogênio (SYAKILA; KROEZE, 2011).

O óxido nitroso foi proposto como uma bioassinatura forte, por conta de sua produção global ser em grande parte gerado através de atividade biológica, mas principalmente por conta de suas fontes abióticas serem muito pequenas, exceto em situações na qual sua produção seria previsível ou deduzida a partir de observações planetárias em diferentes comprimentos de onda (GRENFELL, 2018; SCHWIETERMAN et al., 2018) . Para Schwieterman (2018), o N_2O como bioassinatura robusta deve levar em consideração o contexto estelar assim como os produtos fotolíticos que indicam a oxidação abiótica do nitrogênio.

2.3.2 Bioassinaturas de superfície

Não é novidade que a vida pode causar modificações na atmosfera assim como no espectro de superfície planetária, o qual representa as características do planeta a partir da reflexão da luz sobre sua superfície (CATLING et al. , 2018). Algumas dessas alterações ocorrem por diversos mecanismos, tais como: bioluminescência e fluorescência de pigmentos,

absorção e reflexão da luz por pigmentos presentes em organismos vivos, assinaturas espectrais resultantes da radiação refletida por espécimes, etc.(SCHWIETERMAN et al., 2018). As modificações causadas no espectro superficial de um planeta através desses mecanismos podem representar outra classificação de biomarcadores denominada Bioassinatura de Superfície que podem ser detectáveis remotamente.

Apesar de existir uma variedade de fatores que possam ser identificados como bioassinatura de superfície, nem todos esses fenômenos espectrais de origem biológica podem ser disseminados o suficiente para serem detectados em escalas suficientemente grandes no nosso planeta assim como também alguns não estão livres de produções abióticas (SCHWIETERMAN et al., 2018). Abaixo serão apresentados alguns espectros biológicos que decorrem da fotossíntese, pigmentos e características de reflexão referentes à proteção celular e por fim a apresentação de biomoléculas quirais.

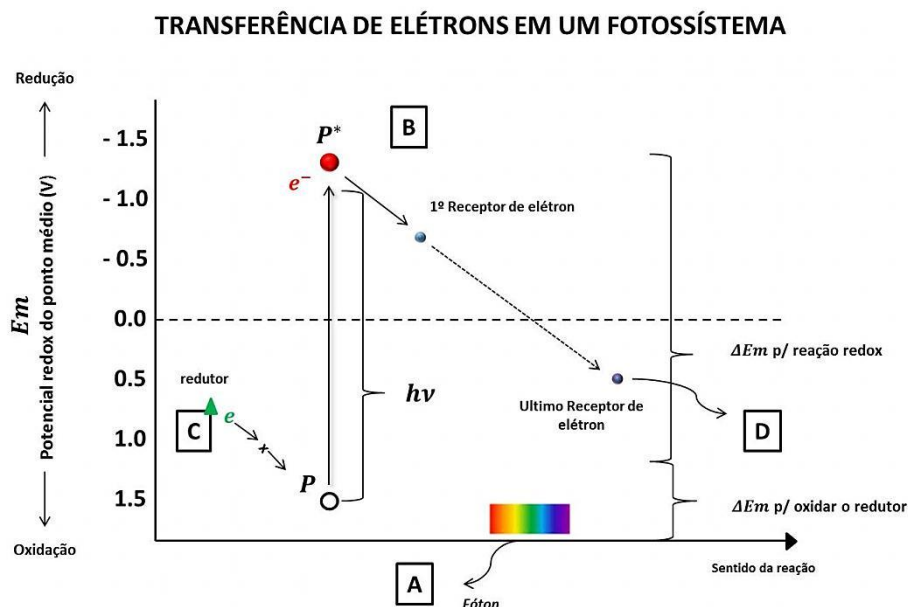
Fotossíntese

A diversidade de vida encontrada no nosso planeta está vinculada diretamente com um fenômeno fundamental, a fotossíntese, processo complexo e repleto de uma série extensa de reações que são realizadas por enzimas especiais localizadas em partes específicas da célula (GALANTE et al., 2016, p. 145). Grande parte da biodiversidade e da nossa atmosfera não iria existir caso esse evento não existisse, uma vez que, é o responsável por originar grande parte da biomassa viva planetária. Dessa forma, a fotossíntese deve ser compreendida, pois é um fenômeno essencial para realizar previsões de bioassinaturas em escala planetária, visto que ela possui um grande potencial para afetar o ambiente de forma significativa (SCHWIETERMAN et al., 2018).

O processo de fotossíntese que ocorre nas folhas é responsável pelo armazenamento de energia que opera sob a presença da radiação eletromagnética vinda da estrela. Nesse procedimento a energia capturada é transformada em energia química através de reações de oxidação\ redução (redox) que acontecem nas plantas, implicando na biossíntese de material orgânico a partir do dióxido de carbono e liberando no decorrer do processo oxigênio (KIANG, 2007). Essas reações que ocorrem na fotossíntese acontecem em um lugar chamado Centro da Reação (RC) onde a radiação eletromagnética é capturada por organismos fotossintéticos que contém moléculas responsáveis por absorver luz, os pigmentos, através de

uma estrutura molecular chamada de Complexo Antena ¹ (GALANTE et al., 2016, p. 145). A figura abaixo ilustra como ocorre a coleta quântica de energia luminosa através de reações redox de um RC:

Figura 2.3 – Via de transferência de elétrons em um fotossistema



Fonte: Próprio autor.

Em que A é um pigmento do fotossistema que é responsável por absorver os fótons excitando os elétrons do ponto P (estado fundamental), o elétron é excitado por causa do potencial de redução que deve ter energia o suficiente para gerar a diferença de tensão que é exatamente $h\nu$, o gap de energia, criando um estado excitado P^* . Em B o elétron que foi excitado é ejetado e capturado imediatamente pelo 1º receptor de elétrons evitando que a reação volte para o estado fundamental, dessa forma o ponto P^+ perde elétrons originando a separação de cargas criando uma lacuna de energia. Em C o redutor passa agora ser oxidado cedendo um elétron para o estado fundamental para poder preencher a lacuna criada. Por fim, em D depois que o elétron passam pelas vias de transferência ele finalmente reduz no ultimo receptor de elétrons para a entrada de novos produtos finais de armazenamento de energia ATP (Adenosine TriPhosphate) (KIANG, 2007; SCHWIETERMAN et al., 2018).

Os pigmentos fotossintéticos mencionados anteriormente são categorizados em três grupos químicos ou "cromóforos": A clorofila (chls), carotenoides e ficobilinas (KIANG, 2007).. As clorofilas são fotopigmentos esverdeados que apresentam essa característica por

¹ Disponível em: < <http://educacao.globo.com/biologia/assunto/fisiologia-celular/fotossintese.html> >
Acesso em: 20 nov, 2020,

apenas absorver luz nos comprimentos de onda referentes ao vermelho e ao azul refletindo na região do espectro visível a cor verde (KIANG, 2007). As chls são responsáveis por desempenhar um papel vital na captação de luz e transdução de energia por meio da carga de separação onde a energia é canalizada através de interações eletromagnéticas diretas em um evento chamado de transferência de energia por ressonância, o pigmento excitado por sua vez, quando transfere essa energia acaba desexcitando-se, esse processo ocorre sucessivas vezes formando uma cascata de energia em direção a comprimentos maiores de onda (KIANG, 2007; SCHWIETERMAN et al., 2018).

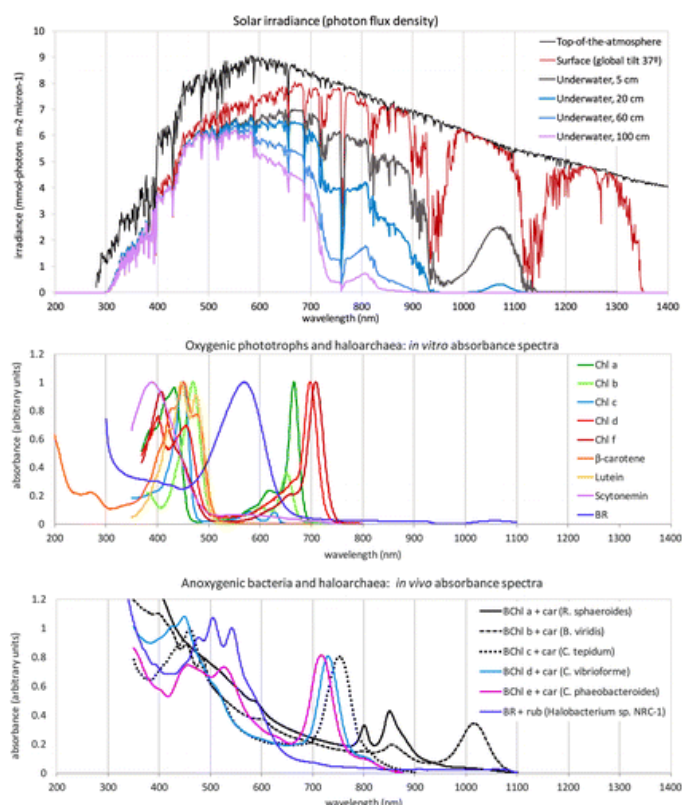
Já os outros dois grupos químicos, atuam como pigmentos acessórios, pois ajudam a obter uma faixa maior no comprimento de onda absorvido para que mais energia seja capturada. De acordo com Kiang (2007), os carotenoides absorvem a luz violeta e azul-esverdeada e as ficobilinas (grupo de cianobactérias e algas vermelhas) na região do verde e amarelo. O pigmento carotenoide em especial é responsável por proteger as clorofilas de danos fotooxidativos em situações de alta exposição à luz, temperaturas elevadas, etc., sendo assim absorvem o excesso de energia dissipando-a em forma de energia térmica em transito (KIANG, 2007).

As etapas apresentadas acima obedecem a certos princípios universais que podem ser aplicadas a exoplanetas abrindo espaço para a especulação de expressões alternativas da presença de fotossíntese adaptada a outros mundos. É possível que a bioquímica por trás das reações fotossintéticas seja diferente, mas ainda assim, os princípios podem ser aplicados. Segundo Schwieterman et al (2018), os processos de absorção até o uso da energia através da estrutura molecular das plantas absorvem todo o espectro visível e infravermelho próximo (VIS-NIR), causando assinaturas espectrais que podem ser compreendidas em bioassinaturas (cor do pigmento e gases biogênicos) por meio de pressões sucessivas e restrições energéticas moleculares no ambiente, podendo ser detectadas através de sensoriamento remoto.

No estudo de bioassinaturas superficiais, mostraram-se os principais pigmentos relacionados ao processo de fotossíntese. Além do que foi apresentado, é necessário entender como esses pigmentos se traduzem através do espectro de absorbância para nos ajudar no entendimento de como essas características fornecem informações na compreensão das assinaturas espectrais de vida em exoplanetas. Dessa forma, a definição mais simples para a absorbância de um determinado objeto, é a quantidade de energia luminosa absorvida pela espessura de determinado material fornecendo espectros bem característicos, quanto maior a camada de incidência luminosa maior é a absorbância (BARROS, 2020). Esse artifício, nos

mostra que os espectros de absorbância relativa de todos os pigmentos resultam na cor dos organismos fotossintéticos, os quais são diretamente influenciados pelo complexo de proteínas veiculadas e que acaba causando variações no mesmo tipo de pigmento assim como nos espectros de absorbâncias de pico *in vivo* (dentro do organismo) o qual tem a tendência de se deslocarem e também a serem ampliados em comparação aos pigmentos puros *in vitros* (solução) (SCHWIETERMAN et al., 2018).

Figura 2.4 – Espectros de absorbância dos principais pigmentos.



Fonte: Schwieterman et al (2018).

A figura acima apresentam três gráficos que mostram os espectros de absorbância dos principais pigmentos encontrados em plantas e algas em relação ao espectro solar no nosso planeta em diversas profundidades aquáticas e como eles podem ser absorvidos em diferentes faixas do espectro podendo ocorrer competição por luz. O segundo gráfico identifica alterações no espectro de absorbância *in vitro* (fora do organismo, em solventes) de alguns pigmentos o qual se deslocam pra a região do azul não coincidindo com o real espectro de pico de pigmentos *in vivo* (dentro da célula) de organismos vivos. O ultimo, é o espectro de absorbância *in vivo* verdadeiro de organismos fototróficos anoxigênicos (bacterioclorofilas), é importante ressaltar que dependendo da situação em que os pimentos estão expostos, pode

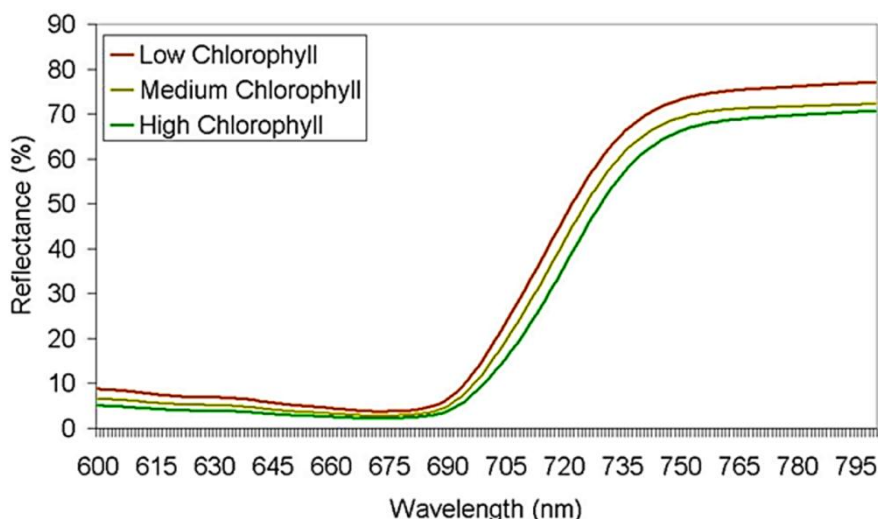
ocorrer uma leve alteração no espectro, o que permite que os organismos fototróficos adaptem os pigmentos de acordo com a luz disponível no ambiente (KIANG, 2007; SCHWIETERMAN et al., 2018).

As características ambientais em que os pigmentos são expostos conduzem-no a se ajustarem para aprimorar a coleta de fótons. Schwieterman et al (2018) expõe a existência de organismos que além de adaptarem seus pigmentos para a coleta de luz, também conseguem adaptar a mistura dos seus pigmentos em um ambiente com excesso de luz ou sombra em um processo conhecido como aclimação cromática complementar. Esse fenômeno permite que os organismos fototróficos reduzam a quantidade de clorofila quando estão em uma região de sombra e cianobactérias podem aciona-las quando expostas a radiação na cor vermelha (NIR) para sintetizar pigmentos em áreas específicas do espectro. Essas características poderiam ser previstas em exoplanetas se conhecendo as propriedades da estrela a qual orbita e também das características atmosféricas, servindo como ajuda no aumento da confiança na descoberta de vida e outros ambientes planetários (SCHWIETERMAN et al., 2018).

Vegetação de Borda Vermelha (VRE)

É de conhecimento da comunidade científica que a detecção de vida remotamente ocorre a partir de modificações causadas por organismos na refletividade superficial de um planeta (SEAGER, 2005). Por esse motivo, a vegetação da Terra é frequentemente citada com uma boa bioassinatura superficial, pois as modificações causadas por ela dão origem a um espectro de reflexão com uma borda nítida na região vermelha do espectro bem característica denominada de Borda Vermelha da Vegetação (VRE) (JAMES; KALTENEGGER, 2018). A borda vermelha é causada pela absorbância na região do vermelho pela clorofila presente nas plantas e espalhamento no NIR, onde o pigmento não é absorvido resultando em uma mudança significativa em sua refletividade o qual define o VRE (CATLING et al., 2018; JAMES; KALTENEGGER, 2018).

Figura 2.5 – Mudança da VRE, devido a variações na concentração de clorofila.



Fonte: <https://grindgis.com/remote-sensing/vegetation-spectral-signature-cheat-sheet>.

A figura acima mostra que a alta quantidade de clorofila aumenta a absorção na região vermelha e empurra a borda vermelha para comprimentos de onda mais longos. Os pigmentos presente nas plantas absorvem a maior parte do espectro visível, tornando-se quase transparente quando expostas em comprimento de onda superior a 700 nm (KIANG, 2007). Isso acontece por causa da estrutura celular presente nas plantas, em que cada célula atua como refletor, fazendo com que a radiação eletromagnética infravermelha seja refletida para evitar o superaquecimento e/ou perdas de água durante o processo de fotossíntese. Esse evento é responsável pelo brilho das folhagens em fotografias na região infravermelha sendo extremamente útil para o estudo do monitoramento das atividades das plantas e também na detecção de pigmentos em exoplanetas (JAMES; KALTENEGGER, 2018).

O espalhamento da vegetação na superfície terrestre ocorreu a cerca de meio bilhão de anos atrás e desde então vem fornecendo assinaturas espectrais de vida por cerca de um nono de vida da terra (JAMES; KALTENEGGER, 2019). No entanto, nosso planeta foi habitado há muito mais tempo por organismos contendo clorofila, além da vegetação, que exibem características de borda vermelha, como cianobactérias, algas, líquens e corais. Por esse motivo, expandir a linha de pesquisa para o estudo de bioassinaturas superficiais para um período que antecede o espalhamento da vegetação pode ampliar a concepção do VRE, de forma a abranger essas formas de vida assim como a aplicabilidade de uma ampla gama de bioassinaturas em exoplanetas que incluem planetas oceânicos rochosos com grande superfície de água (JAMES; KALTENEGGER, 2019).

Descobertas recentes sugerem que planetas semelhantes ao planeta Terra mais antigos e mais quentes são bons alvos para a busca de uma assinatura de borda vermelha da vegetação, assim como exoplanetas com frações menores de nuvens e com baixo vapor de água na atmosfera, que podem vir a simplificar a detecção de características superficiais do

ambiente planetário (JAMES; KALTENEGGER, 2018). É certo que não podemos esperar comprimentos de onda fixos como encontrado no nosso planeta, pois as circunstâncias em que o novo ecossistema está inserido importam, visto que devem ser levados em conta as condições superficial/atmosféricas do exoplaneta e contexto ambiental da sua estrela hospedeira.

Embora a borda vermelha seja muito mais evidente do que a projeção do verde pelas clorofilas na região do visível e também não apresentar uma imitação de origem não biológica (válida), o que a torna um bom biomarcador, ainda mantém-se como uma bioassinatura baseada no nosso planeta, á vista disso, a sua universalidade é uma questão que está em aberto o que exige que as explorações sejam feitas através de outros mecanismos moleculares que envolvem a fotossíntese (SCHWIETERMAN et al., 2018).

Biomarcadores Quirais e de Polarização

A quiralidade de um determinado objeto refere-se a uma propriedade geométrica extremamente importante em diversos ramos de pesquisa e que pode ser usada na busca por organismos vivos, uma vez que a bioquímica do nosso planeta é baseada em moléculas quirais (PATTY, 2018). Segundo Patty (2018), essa propriedade descreve objetos na natureza que podem ser divididos em canhotos e destros chamados de enantiômeros o qual não é possível ocorrer à sobreposição da sua imagem espelhada. Estruturalmente não há diferença entre essas espécies químicas estudadas, no entanto a distribuição espacial faz com que elas sejam organizadas de modo a não serem sobrepostas harmonicamente.

Com a evolução de técnicas poderosas na análise química molecular é possível realizar estudos quirais e moleculares de produtos a partir de reações químicas que consequentemente levou ao avanço nas pesquisas relacionadas à química prebiótica, o que possibilitou conhecer detalhes de moléculas chave para a vida que poderiam ter sido criadas há muito tempo atrás. Em todos os organismos terrestres, os blocos de construção moleculares básicos são encontrados quase exclusivamente em uma das duas formas espelhadas possíveis (PATTY, 2018).

De posse desse conhecimento, é sabido que organismos vivos tem preferencia biológica por construir moléculas maiores quase que exclusivamente em uma das formas espelhadas possíveis. Essa característica de dissimetria determina a estrutura e o funcionamento de sistemas biológicos o qual sem isso a vida não poderia existir (PATTY,

2018). Não se sabe o porquê dessas preferências, mas o excesso de compostos enantiômeros é considerado uma bioassinatura potente.

Essa dissimetria das moléculas quirais apresenta uma resposta à radiação eletromagnética. Por conta desse fator, a polarização (propriedade da luz) pode criar ou modificar sistemas não simétricos, como é o caso de objetos enantioméricos. Compostos quirais tais como, aminoácidos e açúcares que apresentam grande atividade opticamente na região do ultravioleta, faz com que os centros de quiralidade possam mudar a direção da luz polarizada dependendo do comprimento de onda associado, assim como absorver preferencialmente para uma das direções (direita ou esquerda) a luz polarizada trazendo consigo espectros bem característicos (PATTY, 2018).

Essa peculiaridade gera recursos importantes ao estudo dos espectros de polarização circular. As assinaturas de polarização obtidas são capazes de proporcionar uma boa investigação a respeito da estrutura biomolecular a ser estudada, e tem se mostrado presente em algumas culturas microbianas puras assim como em estruturas mais complexas como algas e a vegetação. Dessa forma, por meio do avanço dos estudos a respeito da espectroscopia de polarização circular é possível detectar a quiralidade sem necessariamente requerer muitos testes de uma especificidade molecular com o intuito de detectar vida, fazendo com que seja considerada uma bioassinatura (agnóstica) universal genérica (SCHWIETERMAN et al., 2018).

Ao que parece biomarcadores de polarização circular são livres de imitações de origem abióticas e conseguem distinguir bem os espectros originados a partir do espalhamento de nuvens ou de outras partículas que criam um sinal fraco de detecção. Os pigmentos biológicos mencionados anteriormente também apresentam características de polarização, o que pode ser usado para fazer buscas em ambientes extrassolares (PATTY, 2018). Essa particularidade espectral pode oferecer ao sensoriamento remoto a capacidade de inferir a presença de material biológico quiral, como por exemplo, encontrar excesso de enantiomérico, o sugere fortemente a presença de uma fonte biológica (PATTY, 2018).

Além desse artifício, o uso de espectroscopia de alto sinal-ruído² e polarimetria linear podem ajudar respectivamente revelar gases biogênicos clássicos na atmosfera e a caracterização de nuvens, líquidos, sólidos e aerossóis na luz que é espelhada pelo planeta. Utilizando todos esses recursos juntos às observações podem fornecer um diagnóstico muito eficaz sobre a presença de vida em um determinado ambiente e por isso são alvos para futuras

² Zeña, A.C. et al. **Fontes de ruídos e relação sinal-ruído em espectrômetro Raman dispersivo utilizando câmera ccd**. São Paulo: São José dos Campos, 2014.

missões dentro do sistema solar utilizando com alvo as luas geladas, crateras em Marte, névoas orgânicas presente na atmosfera de Titã e as nuvens de Vênus (SCHWIETERMAN et al., 2018).

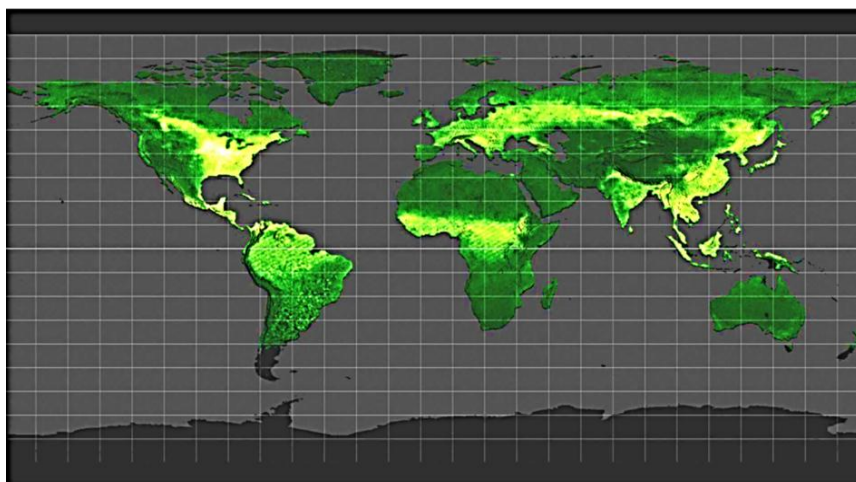
Fluorescência e Bioluminescência

A emissão ativa de luz por microrganismos e pela vegetação pode representar outra categoria de bioassinatura superficial. Uma manifestação desse fenômeno é a autofluorescência (reprocessamento de fótons absorvidos de alta energia em fótons de menor energia emitidos) observadas em organismos contendo biomoléculas que apresentam fluorescência, como clorofila, pigmentos ou compostos fluorescentes em alguns animais, como insetos e anfíbios, e também podem ser encontrados em materiais abióticos com características semelhantes, tais como a calcita e fluorita (JAMES; KALTENEGGER, 2018). Essa particularidade natural evoluiu como um meio de defesa para reduzir o estresse físico-químico em alta luz no ambiente e foi observada por satélites de baixa órbita terrestre com o intuito de mapear algas, fitossanidades e determinar a variabilidade sazonal (JAMES; KALTENEGGER, 2018,2019).

De acordo com James e Kaltenegger (2018), na Terra a fluorescência é responsável por produzir um efeito planetário que pode ser detectado em órbita produzindo espectros de fluorescência que podem ser cruciais para fornecer informações observacionais sobre a presença de materiais biogênicos. Esse mecanismo de defesa exige luz visível nas regiões do ultravioleta ou azul-violeta contínua no processo estimulando assim a emissão de fótons. Por causa desse aspecto a fluorescência só pode ser observada em partes iluminadas do disco planetário, o que é problemático para identifica-la exclusivamente contra a luz refletida da estrela.

A vegetação terrestre emite sinais detectáveis em órbita de biofluorescência causada pela própria fluorescência de um dos tipos de clorofila presente na vegetação e que pode ser responsável por cerca 1-2% da força do sinal obtido através da reflexão da vegetação na região do comprimento de onda de pico de emissão da fluorescência da clorofila, devido à cobertura vegetal na superfície do nosso planeta (JAMES; KALTENEGGER, 2018). A distribuição deste sinal muda com as estações e correlaciona-se com a produtividade fotossintética e a saúde da vegetação.

Figura 2.6 – Fluorescência da vegetação na Terra.



Fonte: James e Kaltenegger (2018)

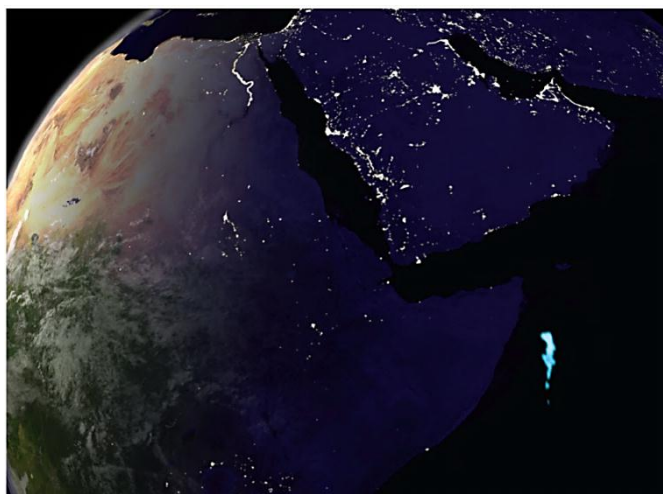
Essa característica, também pode ser observada em corais que podem apresentar fluorescência com maior eficiência do que a vegetação terrestre. Observações de alta resolução podem traduzir as informações obtidas desses pequenos sinais, no entanto comparado com bioassinaturas atmosféricas e outras características de superfície os sinais obtidos mudam bem pouco o fluxo planetário geral (menos de 1%) e por conta desse fator não será detectado de imediato em planetas semelhantes à Terra o que será muito desafiador e vai exigir um esforço grande da comunidade científica maior do que para a maioria dos recursos discutidos até o momento (JAMES; KALTENEGGER, 2018, 2019; SCHWIETERMAN et al., 2018). No entanto, dada a variedade de ambientes com uma boa incidência de radiação ultravioleta e suas potenciais histórias evolutivas, a biofluorescência pode evoluir e espalhar tornando-se mais eficiente em sua fluorescência produzindo por sua vez, bioassinaturas espectrais de superfície detectáveis remotamente (SCHWIETERMAN et al., 2018).

Em contraste com a fluorescência, a bioluminescência envolve diretamente a produção de fótons através de processos envolvendo oxidação em uma molécula emissora de luz (luciferina). Luciferina é uma classe de pigmentos responsáveis pela bioluminescência em alguns organismos, o qual evoluiu de forma independente muitas vezes dezenas de vezes na Terra em grupos diversos como bactérias, insetos, plânctons eucarióticos e peixes. Essa característica está presente em uma notável diversidade de animais marinhos e micróbios os quais são capazes de produzir sua própria luz, na maior parte do volume do oceano, onde a bioluminescência torna-se a principal fonte de luz (HADDOCK et al., 2010).

É importante destacar que existe uma discrepância muito grande entre a luminescência marinha e terrestre, uma vez que esse fenômeno está em sua maior parte localizado nos

oceanos. Em geral, as propriedades oceânicas são especialmente favoráveis para a evolução de bioluminescência, exceto em regiões de água doce onde evento é quase ausente, o qual está presente em alguns insetos e larvas. Outro aspecto importante a se destacar, é o fato de bactérias bioluminescentes em grandes quantidades no oceano produzem um efeito curioso de “mar leitoso”, um brilho bioluminescente fraco que podem durar horas ou vários dias e que abrange uma área de cerca dez mil quilômetros e pode ser detectada por satélites em órbita (HADDOCK et al., 2010).

Figura 2.7 – Milky Seas. Uma representação composta que mostra uma perspectiva de satélite do primeiro mar leitoso bioluminescente registrado do espaço.



Fonte: Haddock et al (2018)

Apesar da bioluminescência está associada diretamente com organismos metabolicamente ativos, a detectabilidade desse fenômeno como potencial como bioindicador de vida em exoplanetas é pouco estudado e também muito limitado, uma vez que, a bioluminescência sofre restrições pela sua produtividade, ecologia da biosfera e mais ainda em sua função evolutiva, que pode variar. Detecta-la em planetas extrassolares é uma tarefa árdua e difícil devido às restrições de sinal-ruído.

2.3.3 Bioassinaturas Temporais

Bioassinaturas temporais são oscilações dependentes do tempo em quantidades que podem ser mensuráveis e que indicam a presença de uma biosfera agindo no ambiente, como por exemplo, oscilações nas concentrações de gases ou no albedo planetário. A mudança na concentração de CO_2 no hemisfério norte do nosso planeta, por exemplo, é uma das

assinaturas temporais mais bem referenciadas, uma vez que, essa variação acontece como resposta à produtividade da biosfera em função da temperatura e insolação do ambiente (OLSON et al., 2018).

Essa dependência temporal pode ser caracterizada como sendo sazonal diurna ou estocástica, mas com as mesmas características em comum, ou seja, deve apresentar um observável ligado diretamente a uma resposta da biosfera. Essa categoria de assinatura biológica é ainda bem pouco estudada em comparação a outros tipos de bioassinaturas por causa da sua complexidade em modelá-la com outras variáveis adicionais como a assimetria de superfície (continental), inclinação axial assim como a excentricidade orbital do planeta e a suposta resposta dos processos vivos que são sensíveis a cada um desses fatores (SCHWIETERMAN et al., 2018). Nessa seção vamos apresentar uma revisão de bioassinaturas temporais baseados em estudos e observações a partir do nosso sistema terrestre.

Oscilação dos Gases Atmosféricos

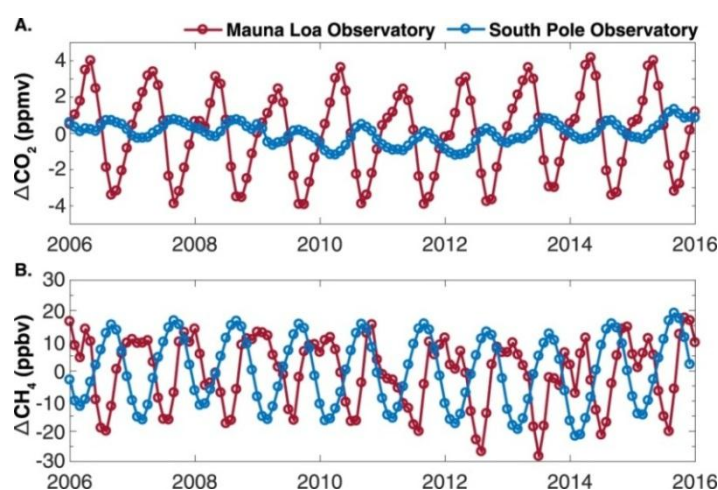
Em meio a uma variedade de possibilidades de bioassinaturas, as mudanças temporais na composição atmosférica são particularmente promissoras. A sazonalidade atmosférica, como esse fenômeno é chamado, é biologicamente modulada no que observamos em nosso planeta e muito provavelmente também ocorra em outros mundos, independente de seus produtos metabólicos específicos ou resíduos (OLSON et al., 2018). Essa característica surge na natureza como em qualquer outro lugar por meio da interação biosfera-obliquidade da terra (inclinação axial). É observado que os padrões sazonais de insolação mudam o equilíbrio da fotossíntese resultando em mudanças nas concentrações de CO_2 e O_2 , assim como os fluxos de CH_4 e outros traços de produtos biológicos também evoluem sazonalmente em resposta a mudanças causadas pelas temperaturas nas taxas biológicas, solubilidade de gases, padrões de precipitação e etc. (SCHWIETERMAN et al., 2018). O Fenômeno sazonal afeta quase todos os constituintes da nossa atmosfera e a grande questão é se esses sinais variáveis no tempo emitidos pela natureza são detectáveis remotamente e se podem ser discriminados de potenciais falsos positivos.

Em nosso planeta, periodicidades sazonais são observadas a gases espectralmente ativos ligados a biosfera, que incluem CO_2 , O_2 e CH_4 , mencionados anteriormente, por meio do fluxo de produção e consumo. A variabilidade sazonal no CO_2 atmosférico, por exemplo, em comparação ao outros gases, é a mais conhecida e mecanicamente entendida, o que a torna

uma bioassinatura temporal mais frequentemente discutida para exoplanetas semelhantes à Terra (OLSON et al., 2018; SCHWIETERMAN, 2018). Devido ao seu papel na regulação climática através de ciclos de feedback que dependem da temperatura o dióxido de carbono pode ser considerado um importante constituinte da atmosfera de planetas extrassolares. Ambientes que possuem insolação sazonalmente variável em resposta ao comportamento planetário (excentricidade) podem levar a mudanças nas concentrações de CO_2 independentemente dos produtos envolvidos, vias e resíduos metabólicos específicos (SCHWIETERMAN, 2018).

Observar padrões de sazonalidade de CO_2 pode ser muito desafiador, pois ele é extremamente solúvel água líquida formando ácido carbônico e outras espécies dissolvidas de carbono líquido, por conta disso, a captação das oscilações sazonais e a liberação de dióxido de carbono vinda dos oceanos são comunicados à atmosfera de forma ineficiente, o que o torna uma bioassinatura imprópria para ambientes aquáticos sem uma biosfera continental considerável (OLSON et al., 2018). Outra mudança nas concentrações de CO_2 corre devido ao crescimento sazonal e deterioração da vegetação terrestre, diminuindo durante a primavera e verão por conta do crescimento vegetativo que o utiliza como material orgânico e aumentando no outono e inverno, uma vez que o seu consumo diminui e a vegetação decai (SCHWIETERMAN, 2018; SCHWIETERMAN et al., 2018).

Figura 2.8 – Variações de sazonalidade de dióxido de carbono (A) e metano (B) em média mensal ao norte em Mauna Loa (19.º5 N; símbolos vermelhos) e observatórios do Polo Sul (90 ° S; símbolos azuis).



Fonte: Olson et al (2018).

Segundo Olson et al (2018), a magnitude com que essa mudança acontece esta intimamente ligada ao hemisfério e a latitude. Em altas latitudes a amplitude de oscilação é

maior e por isso no hemisfério norte é mais perceptível esse comportamento devido ao tamanho de sua área continental, alta latitude e também cobertura vegetal o que já não acontece no hemisfério sul, região dominada por oceanos, em que a amplitude das taxas de oscilação sazonal é suficientemente menor (figura 1.8). Apesar de os ciclos de sazonalidade de CO_2 serem mais suscetíveis à não detecção, é improvável que a sazonalidade desse gás em grandes magnitudes seja de origem abiótica em planetas que possuam água líquida o que o torna um robusto biomarcador para a detecção de vida em outros ambientes planetários, no entanto, mais difícil de detecta-lo (OLSON et al., 2018).

Outro gás importante no estudo de indicadores biológicos de vida é o oxigênio. Os ciclos de CO_2 e O_2 são conectados estequiometricamente ao consumo de CO_2 pela fotossíntese, respiração aeróbica e decomposição de matéria orgânica de modo que observar o fenômeno de sazonalidade no oxigênio também reflete a sazonalidade de CO_2 . No entanto, existem diferenças notáveis entre o ciclo desses gases o qual produzem resultados maiores na magnitude da concentração de O_2 em comparação ao dióxido de carbono, por exemplo, o oxigênio é suficientemente menos solúvel do que CO_2 , o que acaba aumentando a sua sensibilidade a variações sazonais em seu ciclo na superfície terrestre, principalmente em regiões oceânicas (OLSON et al., 2018). A magnitude sazonal do oxigênio é ainda ampliada por fatores como relações de fase entre o ciclo de produção/consumo e o padrão sazonal de insolação, temperatura e solubilidade (SCHWIETERMAN et al., 2018). Em comparação ao CO_2 , a magnitude sazonal de O_2 varia de forma latitudinal o que faz com que seja cerca de vinte vezes maior em termos absolutos do que o padrão observado para o dióxido de carbono no hemisfério sul, dessa forma a sazonalidade do oxigênio, em circunstâncias específicas, pode ser mais sensível para indicar atividade biológica em ambientes aquáticos, principalmente em planetas que se assemelham a terra primitiva com baixos níveis de O_2 (OLSON et al., 2018).

De acordo com Olson et al (2018), a sazonalidade do oxigênio pode induzir ainda a sazonalidade do ozônio (produzido a partir do O_2), uma vez que ele é altamente sensível à luz ultravioleta e também a altas concentrações de oxigênio. Apesar do ozônio não ser um produto diretamente biológico, sua sazonalidade pode ser modelada biologicamente e pode ter um forte impacto espectral que poderia ser detectado em lugares com uma atmosfera oxigenada bem fraca, onde detectar oxigênio seria duvidoso, pois o ozônio seria bem responsivo a mudanças causadas pelas pequenas concentrações de O_2 .

Dentre a gama de bioassinaturas temporais que são comumente discutidas, encontra-se o metano. Observar o fenômeno sazonal de CH_4 pode ser extremamente desafiador, pois apesar de CH_4 ser esmagadoramente biogênico seu ciclo sazonal predominante é o fotoquímico e por isso em estações como final de outono e início de primavera são detectados níveis altos nas concentrações de metano, enquanto que no verão atingem o mínimo anual devido a interações com íons hidroxila (OH) que o destroem e são provenientes de H_2O troposférico devido a evaporação da água no verão (SCHWIETERMAN et al., 2018). Já as temperaturas frias durante o período do inverno realizam um efeito oposto, silenciando a destruição de CH_4 . As variações sazonais produzem pequenas oscilações nas concentrações de metano vistas a partir do hemisfério sul, enquanto que ao norte, a sazonalidade de CH_4 a partir de uma fonte biológica do ciclo do metano em terra que surge em altas latitudes que estão fora de fase com o ciclo fotoquímico (OLSON et al., 2018).

Mesmo que a variação sazonal de CH_4 seja a maior parte em resposta abiótica à sazonalidade de H_2O troposférico, ainda sim ela demonstra a presença de reservatórios superficiais substanciais de água líquida fazendo com que seja no mínimo um bom marcador de habitabilidade (SCHWIETERMAN, 2018). Existe uma possível exceção que é quando ocorre a evaporação do metano e formando nuvens parecidas com que é encontrado na lua de saturno, Titã. Porém esse cenário é restringindo a ambientes frios e que acabam não sendo relevante a planetas em zonas habitáveis. Em síntese, os sinais abióticos emitidos podem complicar as informações obtidas através da sazonalidade de CH_4 , mas não impedem que esse fenômeno atue como uma bioassinatura independente (OLSON et al., 2018; SCHWIETERMAN, 2018).

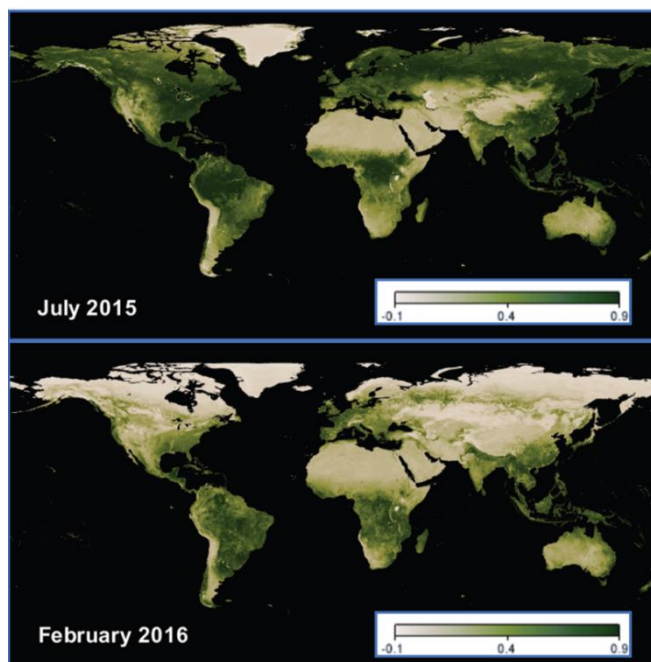
Detectar essas oscilações em outros ambientes que tenham a mesma magnitude com as que são observadas aqui na terra será um evento extremamente desafiador e que muito provavelmente iria além da capacidade dos observatórios das futuras gerações. Apesar de termos uma análise detalhada da atual situação sazonal terrestre, ainda sim, as discussões em torno desse assunto ainda são muito qualitativas, pois ainda não se tem critérios de avaliação de sazonalidade falsos positivos e não se possui uma compreensão abrangente, por exemplo, de quais características espectrais são suscetíveis a serem afetadas pela sazonalidade em planetas extrassolares e de como esses impactos causados por ela seriam modulados por circunstâncias do próprio planeta, estrela e atividade biológica (SCHWIETERMAN, 2018).

Oscilação em assinaturas de Superfície

Variações no poder de reflexão de uma superfície (albedo planetário) representam outro tipo de assinaturas temporal de vida. Exemplos dessas variações temporais podem vir das impressões espectrais emitidas pelo VRE por conta do crescimento sazonal ou da vegetação envelhecida ou morta que emite um sinal mais fraco pela falta de pigmentos de clorofila fazendo com que as folhas sejam mais reflexivas na região visível durante a dessecação e tornando-as menos reflexivas no infravermelho próximo (SCHWIETERMAN, 2018; SCHWIETERMAN et al., 2018). A pigmentação laranja de folhas durante o outono é ocasionada pela degradação da clorofila que aciona os carotenoides, enquanto que a coloração vermelha das folhagens durante o outono atua como resposta a queda de temperatura fornecendo a fotoproteção (JAMES; KALTENEGGER, 2018). Sinais vistos a partir do espectro de polarização circular vegetativo também mudam com o estresse fisiológico das plantas e pode ser uma assinatura temporal a mais em função das mudanças de refletividade superficial. Variações dependentes do tempo na fluorescência ou na bioluminescência de organismos metabolicamente ativos também são exemplos de bioassinaturas de superfície temporal.

Para realizar medições de variações de bioassinaturas superficiais, são necessários alguns parâmetros para que se obtenha um grau de confiabilidade maior em bioassinaturas temporais, tais como, comparações de vistas rotacionais, correção para efeitos de fase e também realização de estimativas das mudanças sistemática da cobertura das nuvens, se houver (SCHWIETERMAN, 2018). Segundo Schwieterman (2018), as observações para essa assinatura espectral seriam mais facilmente observados em planetas habitáveis que orbitasse uma estrela do tipo tardio, por conta dos períodos orbitais serem bem mais curtos, porém as restrições envolvidas no trabalho podem atrapalhar a detecção dessa possibilidade a todos os tipos de bioassinaturas superficiais temporais, exceto para alvos próximos da nossa vizinhança estelar.

Figura 2.9 – Mudança sazonal no espectro global de superfície. Variações sazonais significativas são aparente entre o verão do hemisfério norte (julho de 2014; parte superior) e o inverno (fevereiro de 2015; parte inferior).



Fonte: Schwieterman (2018).

3 BIOASSINATURAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS A LUZ DA NOVA BNCC

3.1 A BNCC e a transversalidade da Astrobiologia

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que estabelece um conjunto de aprendizagens essenciais que os alunos precisam desenvolver durante cada etapa de sua formação ao longo de toda a educação básica (educação infantil até o ensino médio). Muito distante de ser um currículo apenas, a BNCC atua como uma ferramenta que age como um elemento norteador para construção de currículos escolares específicos, de acordo com as particularidades regionais, sociais e metodológicas de cada instituição de ensino com intuito de viabilizar aprendizagens comuns aos estudantes brasileiros. Ou seja, o currículo escolar está em conjunto com a BNCC e os itinerários formativos (conjunto de unidades curriculares ofertadas pelas escolas que possibilitam aos estudantes o aprofundamento de seus conhecimentos) que devem ser criados de acordo com a realidade local e as respectivas escolas.

Ainda, a BNCC e os currículos atuam de forma complementar em que a primeira estabelece essas aprendizagens por meio da definição de competências e habilidades essenciais, enquanto que a segunda mostra estratégias pedagógicas mais adequadas para determinar como esses objetivos serão alcançados, uma vez que tais aprendizagens só se materializam mediante o conjunto de decisões que caracterizam um currículo em ação (ABREU, 2021). A BNCC (2018) define competências e habilidades como sendo:

Competência é definida como a 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, grifo nosso).

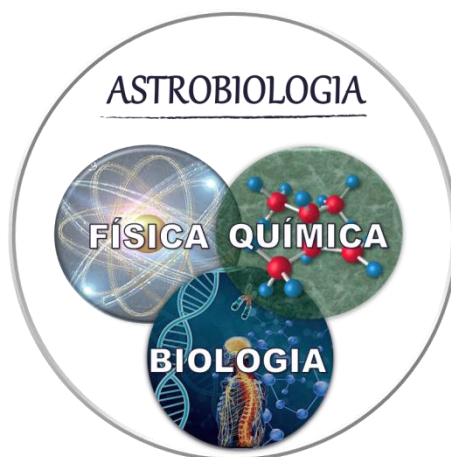
Em conformidade com o que foi exibida no primeiro capítulo sobre a interdisciplinaridade, a BNCC está estruturada de modo que modelo de sua organização resgata essa discussão enfatizando a importância de técnicas de ensino interdisciplinar na construção do conhecimento e contra a fragmentação do saber, onde os saberes específicos de cada disciplina não são excluídos, mas trabalhando de forma integrada entre áreas do conhecimento buscando fortalecer as relações entre os componentes curriculares (PLATAFORMA EDUCACIONAL, 2019). Nesse sentido, a Base Nacional Comum Curricular no Brasil, se propõe a:

a superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento, o estímulo à sua aplicação na vida real, a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida (BRASIL, 2018, p. 15).

Para o ensino médio, o currículo disposto pela BNCC é apresentado em cinco itinerários formativos, sendo eles: (1) linguagens e suas tecnologias; (2) matemática e suas tecnologias; (3) ciências da natureza e suas tecnologias; (4) ciências humanas e sociais aplicadas e (5) formação técnica e profissional (BNCC, 2018, p. 468).

Mais especificamente no que tange às Ciências da Natureza, o meio de organização da BNCC em unidades temáticas presentes aos componentes curriculares (1) Matéria e energia; (2) Vida e evolução; (3) Terra e Universo, apontam perspectivas que garantam a efetivação da interdisciplinaridade por meio do uso de termos transversais que viabilize a integração entre as disciplinas escolares, como é o caso da Astrobiologia (BRASIL, 2018). Cada unidade temática apresentada faz parte dos pilares que sustentam o estudo da vida e que podem ser abordados no contexto em que a Astrobiologia atue como tema transversal de forma a integrar conhecimentos físicos, químicos e biológicos permitindo que haja um diálogo entre essas áreas (LONGUINHOS, 2020), como mostra a figura abaixo:

Figura 3.1 – Transversalidade da Astrobiologia nas ciências da natureza.



Fonte: Próprio autor.

Dessa forma, a BNCC incentiva o ensino de Astrobiologia ao sugerir o aprofundamento das temáticas: Vida, Evolução, Terra e Universo, considerando a continuidade às propostas desenvolvidas no ensino fundamental com o intuito de “introduzir a prática da investigação científica e ressaltar a importância dessa temática na análise do mundo contemporâneo” (GONÇALVES et al., 2021), por meio da unificação agora das unidades temáticas Vida, Terra e Cosmos presente atualmente no ensino médio propondo que os estudantes analisem a complexidade de modelos referentes à origem e evolução da vida, como é o caso do estudo de bioassinaturas, e também o conhecimento a respeito da dinâmica das interações e a diversidade de seres vivos e sua relação com o ambiente sob a perspectiva de um olhar interdisciplinar (BRASIL, 2018).

Segundo a BNCC (2018), durante todo o ensino médio a área de ciências da natureza e suas tecnologias devem garantir aos estudantes o desenvolvimento de três competências específicas ao qual são relacionadas posteriormente habilidades a serem alcançadas de maneira a desenvolver aprendizagens dos processos anteriormente vistos. Nesse sentido, cabe à competência específica II o aprofundamento da temática Vida, Terra e Cosmos de forma que os alunos sejam capazes de:

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (BRASIL, 2018, p. 553).

Deste modo, a BNCC ao suggestionar o estudo dessa temática, propõe a superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento, estimula à sua aplicação na vida real, ressalta a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e enfatiza o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida (BRASIL, 2018, p. 15).

3.2 Bioassinaturas e o diálogo com as competências e habilidades da BNCC

O levantamento e o reconhecimento de processos que envolvem a transformação e a evolução na natureza e que ocorrem desde as mais simples moléculas até sistemas mais complexos nas suas diferentes escalas de tempo, desenvolvem no aluno a capacidade de refletir sobre a própria humanidade e sua história no universo, assim como também adquirir conhecimentos a cerca da evolução histórica de conceitos, interpretações e controvérsias presentes no âmbito científico (BRASIL, 2018, p. 556).

Nesse sentido, o estudo de bioassinaturas um dos projetos mais emocionantes e intrigantes da humanidade vem como uma gama de possibilidades que estimulam essas discussões a respeito da história da humanidade e o futuro, recriação da história geológica dos astros que potencialmente podem abrigar vida, na determinação da sua habitabilidade, os conceitos por trás de cada temática, etc. Focando recrutar evidências para responder se “estamos sozinhos no universo?”. Perguntas como essa, e que aparentemente se mostram inofensiva rendem debates extremamente interessantes a qual a interdisciplinaridade sustenta essas discussões.

Direcionando esse tema para o âmbito escolar, no que diz respeito à BNCC para os anos do ensino médio, o estudo desses marcadores de vida pode ser usado como vias que guiem os alunos a adquirirem e desenvolverem um conjunto de habilidades relacionadas à competência específica II que juntas proporcionam o domínio de um determinado contexto. De um total de nove habilidades (01, 02, 03, 04, 06, 07, 08, 09) relacionadas a essa competência, cinco (01, 02, 03, 06, 09) dialogam perfeitamente com a Astrobiologia e consequentemente aos seus eixos de pesquisas que no nosso caso é o estudo das bioassinaturas (BRASIL, 2018, p. 557).

Com relação à primeira e a segunda habilidade, se espera que os estudantes possam discutir e analisar teorias, modelos, leis que surgiram ao longo da evolução do conhecimento científico de forma a elaborar explicações a acerca do surgimento e evolução da vida no nosso planeta e no universo e também analisem e discutam sobre as distintas manifestações de vida em seus diversos níveis de organização, bem como as condições favoráveis para a sua manutenção e os fatores limitantes a ela (BRASIL, 2018; INSTITUTO REÚNA, 2020). Portanto, trazer o tema de bioassinaturas com o intuito de desenvolvê-lo em sala com alunos está em comum acordo com os conceitos que envolvem esse eixo de pesquisa e as habilidades presentes na BNCC, pois os estudantes podem ter contato mais profundo com método de

detecção de vida, o conhecimento dos parâmetros para a sua detecção, analisar e discutir dados sobre esse assunto aprofundando os conhecimentos que vieram sendo adquiridos desde o ensino fundamental e que podem ser bem mais desenvolvido através dessa temática em todos os anos do ensino médio.

No que diz respeito à terceira, espera-se que o educando seja capaz de avaliar e prever de que forma as interferências nos ecossistemas impactam os seres vivos baseando-se nos conhecimentos adquiridos a cerca da manutenção da vida, nos ciclos da matéria, nas transformações e transferências de energia (BRASIL, 2018). Diante dessa habilidade e de acordo com o referencial teórico no capítulo dois, por meio da seção 2.3.2 sobre as bioassinaturas de superfície em especial a fotossíntese, os discentes têm a possibilidade de alcançar essa habilidade através do conhecimento dos fenômenos que fazem parte desse processo.

Dessa forma além de ser um mecanismo biológico que identificam os possíveis rastros de vida, as bioassinaturas implicitamente trazem consigo discussões sobre a importância da preservação da biodiversidade e a conscientização dos efeitos da ação humana no planeta, através do entendimento da complexidade dos fenômenos cerca do surgimento da vida e das condições específicas para a sua ocorrência, resgatando assim a identidade e conexão do ser humano com o planeta de forma a entender a importância necessidade de se preservar e valorizar o meio em que vivemos (RODRIGUES, 2017), concordando assim com a habilidade seis da BNCC.

Por fim, a habilidade nove também está em concordância com o estudo das bioassinaturas, pois além de estarem incluídas as discussões para o surgimento da vida em outros ambientes, também considerar a possibilidade de evidenciar cientificamente aspectos ocorridos remotamente, estudos a cerca dos processos evolutivos estelares, conhecendo as circunstâncias que permeiam a formação de sistemas planetários e solares (BRASIL, 2018; INSTITUTO REÚNA, 2020). É importante ressaltar que conhecer esses fatores podem determinar as causas que podem afetar diretamente ou indiretamente as condições para o surgimento e manutenção de algum tipo de metabolismo ativo.

Dessa forma, é possível notar que o estudo desses biomarcadores além de contribuir para a construção de uma aprendizagem significativa, também abre espaço para o desenvolvimento de atividades que estimulem a prática, investigação e letramento científico através de uma visão articulada de determinados conhecimentos conceituais presentes no tema da pesquisa resgatando conceitos inclusos dentro da grade curricular dos alunos da educação

básica, mais especificamente do ensino médio, que podem ser traduzidos como uma metodologia para ensinar assuntos de química, física e biologia permitindo que diferentes conteúdos possam ser trabalhados de maneira menos fragmentada, contribuindo para uma construção mais global do conhecimento.

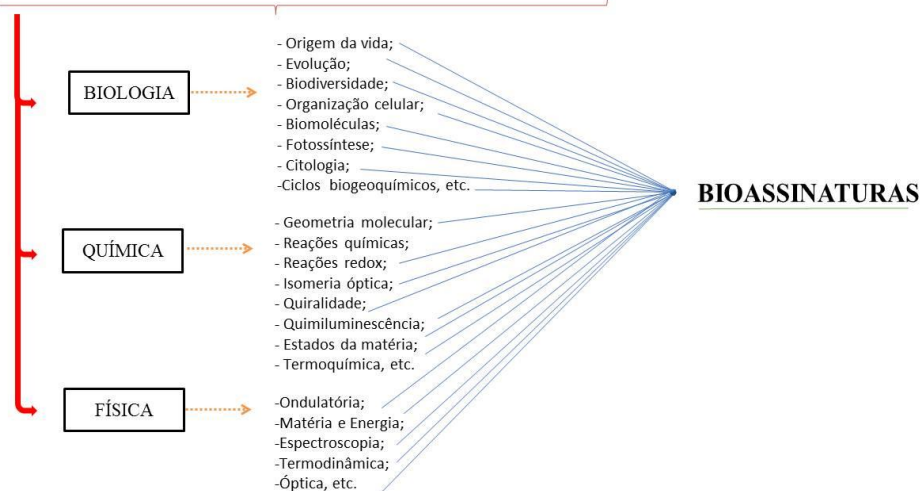
Sendo assim, nessa competência específica podem ser mobilizados conhecimentos conceituais para a compreensão das bioassinaturas, como a contribuição da Biologia na questão do estudo da vida em suas diferentes formas, análises da existência de condições favoráveis para a sua manutenção ou não, conversão de energia eletromagnética em energia química por meio da fotossíntese juntamente com o auxílio da química e da física respectivamente por meio da compreensão das reações e o estudo de biomoléculas, espectroscopia e eletromagnetismo para o entendimento da interação da luz com a matéria e suas respectivas causas, etc. Abaixo estão elencados alguns tópicos referentes a essa competência, exibidas na BNCC e que estão em comum acordo com o estudo de bioassinaturas:

- Evolução biológica
- Origem da vida;
- Exobiologia;
- Biodiversidade;
- Biomoléculas;
- Organização celular;
- Ecossistemas;
- Fotossíntese;
- Espectro eletromagnético;
- Astronomia;
- Evolução estelar, etc.

Além desses temas elencados acima referentes à competência II, pode ser trabalhada em conjunto com os alunos uma gama de outros conteúdos propiciando que os professores tenham liberdade para trabalhar o tema Bioassinaturas por vários caminhos de forma a englobar de uma maneira mais abrangente o currículo para Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o ensino médio (figura 3.2). É importante enfatizar que esses conteúdos podem ser adaptados de acordo com cada professor e também por parte da escola.

Figura 3.2 – Esquema de disciplinas que compõe o estudo de Bioassinaturas as quais podem ser trabalhadas pelos professores nas turmas do ensino médio.

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



Fonte: Próprio autor

Dessa maneira, esse eixo de pesquisa da Astrobiologia não só atua como temática transversal permitindo a integração dessas três disciplinas, mas também tornando possível organizar um processo de transposição didática na qual o saber produzido no âmbito científico é adaptado para o conhecimento construído em sala de aula.

No próximo capítulo deste trabalho, veremos de que maneira podemos implementar essa proposta de ensino utilizando a BNCC como parâmetro e o ensino interdisciplinar.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 Metodologia

A metodologia da pesquisa tem caráter qualitativo baseada nas impressões e anseios de alguns professores da educação básica do Estado do Pará, componentes de um grupo de ensino interdisciplinar (REDE DE ENSINO DE ASTROBIOLOGIA PARÁ), que tem por objetivo desenvolver e difundir novas propostas que possam colaborar com a abordagem interdisciplinar em sala de aula. Nesse sentido, a respeito do caráter qualitativo da pesquisa, Arilda Godoy afirma:

Considerando, no entanto, que a abordagem qualitativa, enquanto exercício de pesquisa, não se apresenta como uma proposta rigidamente estruturada, ela permite que a imaginação e a criatividade levem os investigadores a propor trabalhos que explorem novos enfoques. Nesse sentido, acreditamos que a pesquisa documental representa uma forma que pode se revestir de um caráter inovador, trazendo contribuições importantes no estudo de alguns temas (GODOY, 1995).

Dessa maneira, a pesquisa parte da análise documental tanto de referenciais técnicos da pesquisa Astrobiológica, como também do documento oficial de ensino para a educação nacional, que hoje é a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), a qual apresenta como uma de suas principais solicitações a prática da interdisciplinaridade. Sendo assim, na busca de colaborar com este processo, surge esta proposta de trabalho desenvolvida através da descrição das seguintes etapas abaixo:

a) Primeira Etapa:

Inicialmente foi um levantamento do Referencial teórico, de forma que permita trabalhar conceitos técnicos de pesquisa científica Astrobiológica, como a temática das bioassinaturas, na educação básica, seguida da análise da BNCC para a identificação de tópicos que apresentem assuntos comuns e que possam ser abordados em salas de aulas.

b) Segunda Etapa:

Nesse momento, ocorreu a realização de Reuniões com os professores da educação básica, das ciências da natureza, para efetuar a apresentação da temática da Astrobiologia, identificação de tópicos e temas comuns entre a pesquisa Astrobiológica e a BNCC para a definição do assunto a ser explorado na produção de um planejamento de aula interdisciplinar.

c) Terceira Etapa:

Nessa etapa da proposta metodológica, houve a escolha da temática de bioassinaturas como uma oportunidade em potencial para uma maior interação entre os profissionais docentes das ciências da natureza, Física, Química e Biologia. A partir da escolha do tema a ser trabalhado, bioassinaturas, foi escolhido o subtema de fotossíntese oxigenada para análise de ambos profissionais de ensino sob a perspectiva de diferentes pontos de vista.

d) Quarta Etapa:

Depois desses procedimentos, foi realizada a análise individual e também em conjunto com os professores para a identificação dos conteúdos de acordo com as necessidades dos anos do ensino médio. Cada assunto foi identificado com uma ou mais série, tornado este assunto possível de ser revisitado nos três anos do ensino médio e demonstrando uma

característica contínua de abordagem, viabilizando a possibilidade de aplicação desta proposta.

e) Quinta Etapa:

Por fim, houve a Produção dos planos de aula conjunta com intervenção dos três professores, ou seja, o planejamento de umas aulas conjuntas de Química, Física e Biologia analisando um fator das bioassinaturas com a exploração necessária a cada ano da educação básica de acordo com estes profissionais, o que será apresentada nos Apêndices A, B e C.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, a inserção de um novo modelo de ensino, sob o olhar interdisciplinar conforme sugere a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), vai de encontro a uma série de fragilidades presentes não só na formação do corpo docente, mas também na forma tradicional de ensino, evidenciando a necessidade de novas metodologias as quais busquem a aproximação com a realidade tanto do professor quanto do aluno. Além de possibilitarem uma integração das disciplinas para promover um entendimento mais completo dos fenômenos estudados.

A Astrobiologia surgiu como sendo um terreno fértil para a construção de metodologias que visem a contornar as adversidades quanto à formação de professores e ao desenvolvimento pleno das competências e habilidades nos educandos. A escolha desse tema norteador mostrou-se ser extremamente permeável entre as fronteiras do conhecimento, no qual é possível desenvolver um olhar articulado para o ensino de ciências por meio dos eixos de pesquisa da Astrobiologia, mais especificamente as bioassinaturas. Esse eixo de pesquisa pode ser potencialmente utilizado como facilitador para a compreensão das disciplinas presentes na grade curricular da educação básica.

Este trabalho inicialmente trouxe uma discussão breve sobre as lacunas do formato de ensino tradicional e do professor, enfatizando a importância de ser trabalhada a interdisciplinaridade nos alunos e no processo de formação continuada dos professores. Pontuou-se que os conhecimentos da Astrobiologia podem ser norteadores para a criação de uma proposta mais integrativa de ensino.

Para a criação dessa proposta integrativa de ensino dentro do campo vasto da Astrobiologia foi feita a escolha do eixo temático das bioassinaturas. Sobre este eixo foram apresentados conceitos fundamentais como os requisitos básicos para a sustentação da vida e

a questão da habitabilidade, seguida da discussão sobre o que são bioassinaturas, as suas categorias e especificações com o intuito de encontrar elementos que possam ser trabalhados no contexto do ensino médio.

No capítulo seguinte, foi feita uma apresentação sucinta sobre a BNCC verificando o modo de organização desse documento e a importância da utilização de métodos de ensino interdisciplinar assim como uso de temas transversais como o caso da astrobiologia e seus eixos de pesquisa. Em seguida, foi feita comparação entre as competências e habilidades específicas presentes em ciências da natureza, sua conexão com as bioassinaturas e a viabilidade de se desenvolver esta proposta.

A partir da análise da BNCC e sua conexão com a astrobiologia, elaborou-se uma metodologia de caráter qualitativo, onde foram realizadas reuniões com os professores da rede de ensino básico do estado do Pará, da área de ciências da natureza para a apresentação da proposta deste trabalho de conclusão de curso e sua viabilidade de aplicação na construção de planos de aula interdisciplinar a partir de um dos fenômenos por trás das bioassinaturas, como é o caso da fotossíntese oxigenada, como mostra o APÊNDICE A.

Por fim, este trabalho visou contribuir com a prática interdisciplinar e transdisciplinar de ensino inserindo a astrobiologia como proposta, por meio das bioassinaturas, para contribuir com o trabalho do professor e melhor compreensão dos assuntos estudados pelos alunos, de modo que esteja de acordo com a Base Nacional Comum Curricular, possibilitando que haja a aproximação dos conhecimentos do meio acadêmico para o âmbito escolar ressaltando a relevância da integração das áreas e aproximando professor e aluno com o contexto vivido dentro e fora da escola.

Isso tudo é apenas uma pequena parcela do trabalho que ainda poderá ser feito. Espera-se que outras ações possam ser feitas de modo que a partir do ensino de Astrobiologia por meio das bioassinaturas possam gerar frutos com base em novas propostas e descobertas para o campo educacional como: aplicação dessa proposta de ensino para o professor, análise dos dados obtidos a partir dela, produzir e construir modelos representativos experimentais, desenvolvendo um trabalho com outros tipos de bioassinaturas e produzir diferentes tipos de materiais didáticos com base nelas.

Desenvolver uma metodologia de ensino com Astrobiologia abre um leque de possibilidades de trabalho muito grande para o docente, abrem espaços para novas discussões duvidas, é possível esperar dela resultados extremamente satisfatórios tanto para o professor

quanto para o aluno e por esse motivo ainda há muito que fazer em termos de ensino assim como de práticas que procurem conhecimento científico através da Astrobiologia.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Nicolle. **BNCC: tudo que você precisa saber sobre a base nacional comum curricular**, set. 2021. Disponível em: <https://www.somospar.com.br/bncc-base-nacional-comum-curricular/>. Acesso em: 24 dez. 2021.
- ARNEY, Giada et al. **Organic haze as a biosignature in anoxic Earth-like atmospheres**. *Astrobiology*, v. 18, n. 3, p. 311-329, 2018.
- ARNEY, Giada et al. **The pale orange dot: the spectrum and habitability of hazy Archean Earth**. *Astrobiology*, v. 16, n. 11, p. 873-899, 2016.
- ASTROBIOLOGIA. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Astronomia, São Paulo. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/astrobiologia/linhapesquisa/astrobiologia>>. Acesso em: 23 nov.2021.
- BARROS, Cleber. **Fotoproteção: qual é a diferença entre absorbância e transmitância?**, dez. 2020. Disponível em: <https://www.cleberbarros.com.br/diferenca-entre-absorbancia-e-transmitancia/>. Acesso em: 24 nov.2021.
- BERNARDES, Luander. **Exoplanetas, Extremófilos e Habitabilidade**. 206 p. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.
- BRAZIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- BOARD, Space Studies et al. **An Astrobiology Strategy for the Search for Life in the Universe**. National Academies Press, 2019.
- CATLING, David C. et al. **Exoplanet Biosignature: A Framework for Their Assessment**. *Astrobiology*, v. 18, n. 6, p. 805-808, 2018.
- CATLING, David; KASTING, James F. **Planetary atmospheres and life**. *Planets and life: the emerging science of astrobiology*, p. 91-116, 2007.
- CATLING, David C. et al. **Why O₂ is required by complex life on habitable planets and the concept of planetary "oxygenation time"**. *Astrobiology*, v. 5, n. 3, p. 415-438, 2005.
- CHAN, Marjorie A. **Deciphering Biosignatures in Planetary Context**. *Astrobiology*, v. 19, n. 9, p. 1-28, 2019.
- COCKELL, Charles S. et al. **Habitability: a review**. *Astrobiology*, v. 16, n. 1, p. 89-117, 2016.
- DEAN, Joshua F. et al. **Methane feedbacks to the global climate system in a warmer world**. *Reviews of Geophysics*, v. 56, n. 1, p. 207-250, 2018.
- DES MARAIS, David J. **Astrobiology and NASA's proposed mars 2020 rover**. In: Geological Society of America Abstracts with Programs. p. 138, 2013.
- DES MARAIS, David J. et al. **The NASA astrobiology roadmap**. *Astrobiology*, v. 8, n. 4, p. 715-730, 2008.

ETIOPE, Giuseppe; SHERWOOD LOLLAR, Barbara. **Abiotic methane on Earth**. *Reviews of Geophysics*, v. 51, n. 2, p. 276-299, 2013.

FAZENDA, Ivani et al. **O que é interdisciplinaridade**. *Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa*, v. 2, 2008.

FEISTEL, Roseli Adriana Blümke; MAESTRELLI, Sylvia Regina Pedrosa. **Interdisciplinaridade na formação de professores de Ciências Naturais e Matemática: algumas reflexões**. Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Florianópolis-SC, 2009.

FRIAÇA, Amâncio César Santos. **Subjetividade no reconhecimento da vida no universo**. *Revista Brasileira de Psicanálise*, v. 44, n. 3, p. 93-101, 2010.

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

GLEISER, Marcelo. **A simples beleza do inesperado**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2016.

GERHARD, Ana Cristina. **A fragmentação dos saberes na educação científica escolar na percepção de professores de uma escola de ensino médio**. 2010. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.

GRENFELL, John Lee. **Atmospheric biosignatures**. In: *HANDBOOK of Exoplanets*, p. 68. ISBN 978-3-319-55333-7, 2018.

GOMES, Sheila et al. **Astrobiologia no ensino de ciências: Reflexões para o ensino médio**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

GOMES, Sheila et al. **Como seria trabalhar astrobiologia na sala de aula?**. *Enseñanza de las ciencias*, n. Extra, p. 4973-4980, 2017.

GODOY, Arilda Schmidt. **Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais**. *Revista de Administração de empresas*, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

GONÇALVES, Amanda Sales et al. **Contribuições da Astrobiologia para o ensino de Biologia: potencialidades e aplicações curriculares**. *Revista Educação Pública*, 2021.

HADDOCK, Steven HD et al. **Bioluminescence in the sea**. *Annual review of marine science*, v. 2, p. 443-493, 2010.

INSTITUTO REÚNA. **BNCC Comentada Para O Ensino Médio**. Disponível em: <https://o.institutoreuna.org.br/categoria-bncc/ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias/>. Acesso em: 22 dez.2021.

INSTITUTO UNIBANCO, Observatório de Educação Ensino médio e Gestão. **BNCC: objetivos e desafios para a sua implementação**, dez. 2020. Disponível em: <https://observatoriodeeducacao.institutounibanco.org.br/em-debate/bncc-desafios-para-implementacao>. Acesso em: 02 jan.2022.

JAPIASSU, Hilton. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro, Imago Editora, 1976.

KASTING, James F. et al. **Remote Life Detection Criteria, Habitable Zone Boundaries, and the Frequency of Earth Like Planets Around M and late K Star**. *Physical Sciences*, v. 111, n. 35, p. 12641-12646, 2013.

KIANG, Nancy Y. et al. **Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of Earth organisms**. *Astrobiology*, v. 7, n. 1, p. 222-251, 2007.

- LONGUINHOS, Rafael Ramos. **Divulgação científica em astrobiologia por meio de exposição como promotora do ensino interdisciplinar entre biologia, física e química**. 2020. Dissertação (Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana)-UEFS, Espirito Santo, 2020.
- MEADOWS, Victoria S. et al. **Exoplanet Biosignatures: Understanding Oxygen as a Biosignature in the Context of Its Environment**. *Astrobiology*. v. 18, n. 6, p. 630-662, 2018.
- MEADOWS, Victoria S. **Planetary Environmental Signature for Habitability and Life. Exoplanets**. *Astrobiology*. p.259-284, 2008.
- MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 5ª edição. São Paulo, Cortez; Brasília, D.F.: UNESCO, 2002.
- OCAMPO, Daniel Morin et al. **A Interdisciplinaridade no Ensino É Possível? Prós e contras na perspectiva de professores de Matemática**. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, v. 30, p. 1014-1030, 2016.
- O'MALLEY-JAMES, Jack T.; KALTENEGGER, Lisa. **Biofluorescent worlds: global biological fluorescence as a biosignature**. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 481, n. 2, p. 2487-2496, 2018.
- O'MALLEY-JAMES, Jack T.; KALTENEGGER, Lisa. **Biofluorescent Worlds–II. Biological fluorescence induced by stellar UV flares, a new temporal biosignature**. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 488, n. 4, p. 4530-4545, 2019.
- O'MALLEY-JAMES, Jack T.; KALTENEGGER, Lisa. **The vegetation red edge biosignature through time on Earth and exoplanets**. *Astrobiology*, v. 18, n. 9, p. 1123-1136, 2018.
- OLSON, Stephanie L. et al. **Atmospheric seasonality as an exoplanet biosignature**. *The Astrophysical Journal Letters*, v. 858, n. 2, p. L14, 2018.
- PACE, Norman R. **The Universal Nature of Biochemistry**. *The Universal Nature of Biochemistry*. v. 98, n. 3, p. 805-808, 2001.
- PATTY, C.H Lucas et al. **Sensing of Homochirality: A proxy for the Detection of Extraterrestrial Life**. In: REMOTE, 2. ed. *Chiral Analysis*. cap. 2, p. 3173-3201.
- PLATAFORMA EDUCACIONAL. **5 dicas para promover atividades interdisciplinares**, set. 2019. Disponível em: <https://www.somospar.com.br/dicas-para-promover-atividades-interdisciplinares/>. Acesso em: 20 dez. 2021
- POHORILLE, Andrew; SOKOLOWSKA, Joanna. **Evaluating Biosignature for Life Detection**. *Astrobiology*, v. 20, n. 10, p. 1236-1250, 2020.
- RODRIGUES, Bruna Mayato. **A astrobiologia como recurso didático para o ensino de biologia: uma proposta de inserção**. 2017. Monografia (Universidade Veiga de Almeida). Rio de Janeiro, 2017.
- RUGHEIMER, Sarah et al. **Spectral fingerprints of Earth-like planets around FGK stars**. *Astrobiology*, v. 13, n. 3, p. 251-269, 2013.
- SCHWIETERMAN, Edward W. et al. **Exoplanet Biosignatures: A Review of Remotely Detectable Signs of Life**. *Astrobiology*.v. 18, n. 6, p. 663-708, 2018.

SCHWIETERMAN, Edward; LYONS, Timothy; REINHARD, Christopher. **Signs of life on a global scale: Earth as a laboratory for exoplanet biosignatures**. The Biochemist, v. 40, n. 6, p. 22-27, 2018.

SCHWIETERMAN, Edward W. **Surface and Temporal Biosignatures**. In: HANDBOOK of Exoplanet. p. 3173-3201. ISBN 978-3-319-55333-7, 2018.

SHAW, Gisele Soares Lemos. **Dificuldades da interdisciplinaridade no ensino em escola pública e privada: com a palavra, os educadores**. Cenas Educacionais, v. 1, n. 1, p. 19-40, 2018.

SEGURA, Antígona et al. **Ozone concentrations and ultraviolet fluxes on Earth-like planets around other stars**. Astrobiology, v. 3, n. 4, p. 689-708, 2003.

SEAGER, Sara et al. **Vegetation's red edge: a possible spectroscopic biosignature of extraterrestrial plants**. Astrobiology, v. 5, n. 3, p. 372-390, 2005.

SILVA, Lizangela. M. A. et al. **Astrobiologia no Ensino de Ciências: Uma abordagem interdisciplinar e transdisciplinar para professores do Ensino Fundamental**. Caderno de Resumos do IV Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, p. 48-48, 2016.

SILVA, Lizangela. M. A. **Guia para o ensino de Astrobiologia na Amazônia: contextualizações para a educação básica**. 2018. Dissertação (Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas)- IAG/USP, São Paulo, 2018.

SILVA, Erick dos Santos; SASSERON, Lúcia Helena. **BNCC: entre avanços de pesquisa e articulações necessárias**. Currículo e Docência, v. 02, n. 02, 2020.

SYAKILA, Alfi; KROEZE, Carolien. **The global nitrous oxide budget revisited**. Greenhouse gas measurement and management, v. 1, n. 1, p. 17-26, 2011.

Vegetation Spectral Signature Cheat Sheet. [s.l.], 16 may 2017 Disponível em:< <https://grindgis.com/remote-sensing/vegetation-spectral-signature-cheat-sheet>> Acesso em: 20 nov 2021.

WALKER, Sara I. et al. **Exoplanet Biosignatures: Future Directions**. Astrobiology .v. 18, n. 6, p. 779-842, 2018.

WALKER, James CG et al. **A negative feedback mechanism for the long-term stabilization of Earth's surface temperature**. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 86, n. C10, p. 9776-9782, 1981.

WOGAN, Nicholas et al. **Abundant atmospheric methane from volcanism on terrestrial planets is unlikely and strengthens the case for methane as a biosignature**. The Planetary Science Journal, v. 1, n. 3, p. 58, 2020.

ZEÑA, A. C. et al. **Fontes de ruídos e relação sinal-ruído em espectrômetro Raman dispersivo utilizando câmera CCD**. In: Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica- CBEB. p. 2770-2773, 2014.

APÊNDICE A

Plano de Aula Interdisciplinar

Área de Conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Aula nº 00

Turma: 1º, 2º ou 3º ANO/ ENS. MÉDIO.

Data: /2022

Profa. Patrícia Lira (Química) / Tainah Campelo (Física)/ Luciana Farias (Biologia)

Introdução:

Nesta aula faremos uma introdução ao conteúdo de bioassinaturas da Astrobiologia trabalhando alguns conceitos de Química, Biologia e Física para a educação básica. Nesta proposta de caráter interdisciplinar parte-se do conceito de Fotossíntese e analisam-se juntamente com a turma as diversas formas e maneiras de olhar para este assunto sob o ponto de vista e possibilidades que cada professor buscar trabalhar.

Durante esta análise os professores entrarão juntos em sala de aula e explorarão as competências e habilidades do tema transversal.

Após este desenvolvimento serão apresentadas algumas situações da Astrobiologia que possam conectar o aluno ao universo astronômico como a análise do espectro eletromagnético observado de uma planta, por exemplo. Sabendo que esta mesma é um ser vivo e realiza um processo de respiração, no qual estão envolvidas reações químicas muito importantes para o bioma, do qual ele faz parte. Além de buscar promover uma sensibilização deste aluno a respeito de sua contribuição para a qualidade de vida do bioma ao qual ele próprio faz parte.

Dessa forma, espera-se que o aluno ao término da aula, possa inicialmente perceber o fenômeno da fotossíntese não mais sob um ponto de vista disciplinar. Mas que ele possa analisar aqueles fenômenos sob os pontos de vistas trabalhos em sala de aula e também sob o ponto de vista de sua interação ou participação deste fenômeno no planeta.

Conteúdos:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| • Respiração Celular; | • Níveis tróficos |
| • Fotossíntese; | • Bioquímica; |
| • Cadeia alimentar; | • Processos ecológicos; |

- Reações químicas;
- Funções inorgânicas;
- Termoquímica
- Química orgânica
- Ondas
- Espectro Eletromagnético
- Energia
- Radiação

Objetivos Específicos:

- Trabalhar a COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Nessa competência específica, podem ser mobilizados conhecimentos conceituais relacionados à: origem da Vida; evolução biológica; registro fóssil; exobiologia; biodiversidade; origem e extinção de espécies; políticas ambientais; biomoléculas; organização celular; órgãos e sistemas; organismos; populações; ecossistemas; teias alimentares; respiração celular; fotossíntese; neurociência; reprodução e hereditariedade; genética mendeliana; processos epidemiológicos; espectro eletromagnético; modelos atômicos, subatômicos e cosmológicos; astronomia; evolução estelar; gravitação; mecânica newtoniana; previsão do tempo; história e filosofia da ciência; entre outros (BRASIL, 2018, p. 558)

- Desenvolver a seguinte HABILIDADE:

(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

Estratégias/Desenvolvimento:

- ✓ Esta aula pretende inicialmente apresentar alguns conceitos de sobre energia, vida, reações químicas e ondas eletromagnéticas 2 aulas de 45 minutos. Dividindo em 30 minutos para cada professor.
- ✓ Parte Prática: aula no laboratório para reprodução de reações ocorridas no processo de fotossíntese Oxigenada. 2 aulas de 45 minutos. Solução de exercícios para cálculo de frequência e produção de um espectroscópio com material reciclável.
- ✓ Aula no espaço não formal de ensino: Visita ao espaço de Astrobiologia do Planetário do Pará (Período de aulas de 45 minutos/ um turno).

Material Necessário:

- o Projetor de Slides;
- o Pincel e quadro branco
- o Projetor de slide
- o Visita a sites de pesquisa e informações sobre
- o CD
- o Caixas de fósforo e sapato
- o Tesoura
- o Cola
- o Alguns reagentes
- o Tubos de ensaio
- o Microscópio

Avaliação ou Culminância: produção de um protótipo de projeto onde devem existir situações problemas apontadas pelos alunos. Tais situações devem pertencer aos seus cotidianos, na perspectiva de ciências da natureza e suas tecnologias. Dessa forma, os alunos divididos em equipes de 5 membros devem propor uma solução para a situação problema identificada a fim de contribuir para a melhoria da qualidade de vida do contexto em questão. Produção de modelos representativos (experimentos) para melhor visualização e entendimento das temáticas abordadas nos projetos.

REFERÊNCIAS:

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.

SILVA, Lizangela. M. A. **Guia para o ensino de Astrobiologia na Amazônia: contextualizações para a educação básica**. 2018. Dissertação (Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas)- IAG/USP, São Paulo, 2018.

Software: Crescimento Populacional; Disponível em: <https://m3.ime.unicamp.br/media/software/1244/>

THOMAS, George B., Cálculo, 11a ed. São Paulo: Pearson 2009, p 344;

ZILL, Dennis G; CULLEN, Michael R., Equações Diferenciais. Vol 1. 3 ed. São Paulo: Pearson 2007.