



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO
INSTITUTO DE BIOLOGIA



FOTOSSÍNTESE EM AÇÃO: PRODUÇÃO DE UM LIVRO
ELETRÔNICO SOBRE ENSINO DE FOTOSSÍNTESE COM
ATIVIDADES POR INVESTIGAÇÃO, ESTRATÉGIAS
DIVERSIFICADAS E PERSPECTIVA CTSA

ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA

RIO DE JANEIRO – RJ

2022

ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA

FOTOSSÍNTESE EM AÇÃO: PRODUÇÃO DE UM LIVRO
ELETRÔNICO SOBRE FOTOSSÍNTESE COM ATIVIDADES POR
INVESTIGAÇÃO, ESTRATÉGIAS DIVERSIFICADAS E
PERSPECTIVA CTSA

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional - PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientador:

PROF. DR. WAGNER SEIXAS DA SILVA

RIO DE JANEIRO – RJ

Agosto de 2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Carolina da Silva Cunha

TÍTULO: FOTOSSÍNTESE EM AÇÃO: PRODUÇÃO DE UM LIVRO ELETRÔNICO SOBRE FOTOSSÍNTESE COM ATIVIDADES POR INVESTIGAÇÃO, ESTRATÉGIAS DIVERSIFICADAS E PERSPECTIVA CTSA

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional - PROFBIO, do Instituto de Biologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Aprovada em 26 de agosto de 2022,

Por:

Assinatura do presidente: Wagner Seixas da Silva

Presidente da banca: Wagner Seixas da Silva

Assinatura: _____

Membro titular interno: Ricardo Cardoso Vieira

Título: Doutor

Instituto de Biologia/Departamento de Botânica/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Assinatura: _____

Membro titular externo: Thiago Saide Martins Merhy

Título: Doutor

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Rio de Janeiro

Agosto de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

d972f da Silva Cunha, Ana Carolina
Fotossíntese em Ação: Produção de um livro eletrônico sobre fotossíntese com atividades por investigação, estratégias diversificadas e perspectiva CTSA / Ana Carolina da Silva Cunha. -- Rio de Janeiro, 2022.
205 f.

Orientador: Wagner Seixas da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biologia em Rede Nacional, 2022.

1. Fotossíntese. 2. Ensino por investigação . 3. Estratégias diversificadas. 4. Ciclo investigativo. 5. Abordagem CTSA. I. Seixas da Silva, Wagner, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todos os que fizeram parte da minha jornada, em especial a minha família e meu companheiro Max Weiss, por me ouvir e amparar nos momentos difíceis.

Aos meus amigos de mestrado Ana Claudia Almeida, Carmen Godinho, Leandro Macedo, Marcela Cardozo e Samantha Lewis, que me acompanharam em muitas horas de estudos e discussões ao longo do mestrado e que também foram uma grande companhia durante a pandemia.

A todos os companheiros de turma, em especial a representante de turma Luciana Vieira, pela luta incessante e ajuda na resolução de problemas de todos os mestrandos.

À Amanda Abe, por suas imensas contribuições e apoio. Aos meus companheiros de trabalho. E a minha querida amiga Lais Futuro, pelo suporte e apoio durante a pandemia.

Ao meu orientador Wagner Seixas, pela compreensão ao longo da minha trajetória e por todos os ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos queridos amigos Luiz Paulo Barreto, Natália Leão, Sávio Nunes e Sara Ramona Cunha, pelo carinho, apoio e companheirismo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil - Código de Financiamento 001, que apoiou a realização deste trabalho.



PROFBIO

Mestrado Profissional
em Ensino de Biologia

RELATO DO MESTRANDO - TURMA 2022

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro, <i>campus</i> Fundão
Mestrando: Ana Carolina da Silva Cunha
Título do TCM: Fotossíntese em ação: Produção de um livro eletrônico sobre fotossíntese com atividades por investigação, estratégias diversificadas e perspectiva CTSA
Data da defesa: 26 de agosto de 2022.
<p>Ao longo da minha carreira acadêmica e profissional a Biologia sempre esteve presente. Minha trajetória nessa área se iniciou cedo, ainda durante o Ensino Médio Técnico em Patologia Clínica. Posteriormente continuei minha formação através de dois outros cursos da área técnica na FIOCRUZ. Esses caminhos só aumentaram o meu amor pela Biologia e me levaram até o curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Rio de Janeiro e depois ao Bacharelado em Ecologia na mesma instituição. Em relação a minha experiência docente, fui professora substituta no Colégio de Aplicação da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) e do Colégio de Aplicação da UFRJ, que me colocaram em contato com a formação inicial docente. Também fiz uma pós-graduação lato sensu, em Ensino de Ciências com ênfase em Biologia e Química pela IFRJ, onde trabalhei com a análise de um jogo didático sobre fotossíntese. Em 2016 entrei para o quadro de professores permanente do Colégio Pedro II, onde trabalhei ao longo dos anos com turmas de 1º ano do Ensino Médio, estimulando o meu interesse em desenvolver atividades voltadas para o estudo da Bioquímica, uma vez que, os alunos apresentam grande dificuldade nesse tema. Ao longo da minha carreira docente também senti a necessidade de me especializar mais em ensino de Biologia, por isso optei pelo curso de Mestrado Profissional de Ensino de Biologia (PROFBIO), onde “descobri” uma didática inovadora, o Ensino por Investigação. Assim, o produto do meu mestrado reflete tanto os anseios e dificuldades da minha vida profissional, quanto os desafios enfrentados ao longo do curso de mestrado, em especial por ter sido vivenciado num momento pandêmico. Tratando sobre essas dificuldades, em relação ao mestrado, a principal delas foi lidar com um grande volume de conteúdo de Biologia, por três semestres do curso, associado a pouco aporte teórico-metodológico para criação de materiais didáticos que usassem o Ensino por Investigação, como nas atividades de Aplicação em Sala de Aula (ASA). Através dessa atividade, ficou claro essa lacuna no curso, pela à grande dificuldade, que nós mestrandos encontramos, não em compreender a proposta do ensino por investigação, mas sim de aplicar essa abordagem didática na construção de materiais para os alunos. Assim, refletindo o meu desejo por unir teoria biológica, com a prática pedagógica, nasceu o meu produto intitulado “Fotossíntese em Ação”, que mesclou conteúdos pedagógicos e referenciais teóricos sobre Ensino por Investigação, Alfabetização Científica e Consenso Construtivista, com três atividades sobre fotossíntese que mostra na prática a utilização do Ciclo Investigativo de Pedaste, numa busca de contribuir com a formação e atualização de outros professores.</p>

RESUMO

CUNHA, Ana Carolina da Silva. Ensino de fotossíntese pautado no ensino investigativo com estratégias diversificadas. Rio de Janeiro, 2022. Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional - PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A fotossíntese tem papel central na vida dos seres vivos. A complexidade do tema e amplitude de conhecimentos ligados à fotossíntese a torna de difícil compreensão para estudantes. Esse projeto focou na elaboração de um livro eletrônico com três atividades investigativas pautadas nos princípios construtivistas e na alfabetização científica, sobre o tema fotossíntese para o Ensino Médio. Os roteiros/estudos dirigidos contidos no produto foram elaborados com estratégias diversificadas, usando história da ciência, produção de vídeos de animação quadro-a-quadro (*stop motion*) e um simulador virtual. As atividades abordam a fotossíntese numa perspectiva sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Os estudos dirigidos são baseados na metodologia de Ciclo Investigativo, estruturado em fases interconectadas de orientação, conceitualização, investigação e conclusão. A história da ciência permite que os alunos reflitam sobre a forma de construção do conhecimento sobre fotossíntese historicamente. A produção de um vídeo de *stop motion* ajuda na sistematização dos conhecimentos aprendidos sobre as transformações que ocorrem na fotossíntese. O simulador possibilita que os alunos testem suas hipóteses, observem fenômenos e coletem dados, ajudando na testagem de diversas variáveis de forma rápida, o que seria difícil numa única atividade de laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: fotossíntese, ensino por investigação e estratégias diversificadas.

ABSTRACT

Photosynthesis plays a significant role in the life of living beings. The complexity of the topic and the breadth of knowledge related to photosynthesis make it difficult for students to understand. This project focused on the elaboration of an e-book with three investigative activities based on constructivist principles and scientific literacy, about photosynthesis for High School. The scripts/directed studies contained in the product were elaborated with diversified strategies, using the history of science, production of stop motion animation, and a virtual simulator. The activities address autotrophic plant nutrition from Science, Technology, Society and Environment perspective. The directed studies are based on the Inquiry Cycle methodology, structured in interconnected phases of Orientation, Conceptualization, Investigation, and Conclusion. The history of science allows students to reflect on the way of building knowledge about photosynthesis historically. The production of a stop motion video helps to systematize the knowledge learned about the transformations that occur in photosynthesis. The simulator allows students to evaluate their hypotheses, observe phenomena and collect data, helping to test several variables quickly, which would be difficult in a single laboratory activity.

KEYWORDS: photosynthesis, inquiry and diversified education strategies

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO	11
1.1.1 Um olhar sobre a fotossíntese: visão geral e obstáculos no ensino-aprendizagem do tema	12
1.1.2 O ensino investigativo e sua presença em documentos oficiais brasileiros	17
1.1.3 Pressupostos do ensino investigativo, pautados no consenso construtivista, na alfabetização científica e na perspectiva CTSA	20
1.1.4 Materiais didáticos sobre fotossíntese e as estratégias didáticas adotadas no produto ...	25
1.2 JUSTIFICATIVA	26
2 OBJETIVOS	28
2.1 OBJETIVOS GERAL.....	28
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS.....	29
3.2 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DAS ATIVIDADES DIDÁTICAS PRESENTES NO PRODUTO: O CICLO INVESTIGATIVO.....	31
3.2.1 Orientação.....	33
3.2.2 Conceitualização.....	34
3.2.3 Investigação	35
3.2.4 Conclusão	36
3.2.5 Discussão	38
3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS PERGUNTAS INVESTIGATIVAS PRESENTES NO PRODUTO	39
3.4 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA	40
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
4.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA DOS LIVROS DIDÁTICOS	41
4.2 PRODUTO	50
4.2.1 Apresentação geral do produto	50
4.2.2 Análise e discussão dos capítulos do produto	55
4.2.3 Resultados e discussão das atividades	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A - PRODUTO	98
ANEXO A - APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA	203
ANEXO B - DESPACHO - PRÓ-REITOR DO COLÉGIO PEDRO II SOBRE A SOLICITAÇÃO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO	205

1 INTRODUÇÃO

A fotossíntese tem um papel central na vida de todos os seres vivos na Terra, visto que ela é fonte direta ou indireta da alimentação da maior parte das formas de vida do nosso planeta (REECE *et al.*, 2015). Assim, ela tem um valor ecológico ímpar por se tratar do único processo biológico capaz de aproveitar a energia vinda do sol (TAIZ *et al.*, 2017). Esse processo bioquímico também é essencial para o entendimento de muitos assuntos da disciplina de Biologia, por exemplo, compreender como a matéria orgânica é sintetizada pelos produtores nas cadeias alimentares, o papel da fotossíntese nos ciclos do carbono, da água e do oxigênio, entre outros.

Somado a isso, também se destaca a relevância da fotossíntese na atualidade para o enfrentamento de grandes desafios modernos. Um exemplo, é a insegurança alimentar provocada pelo aumento da demanda de comida devido ao crescimento populacional e a necessidade da busca de energias limpas e renováveis no âmbito das mudanças climáticas. Diante disso, a comunidade científica reforça a necessidade de pesquisas para aprofundar os conhecimentos sobre os processos fotossintéticos em busca de soluções para alguns dos problemas do século XXI (CRUZ; AVENSON, 2021; HUSSAIN *et al.*, 2021). Assim, o crescimento do interesse sobre a fotossíntese se reflete no aumento do número de trabalhos publicados sobre o tema, que dobraram ao longo dos últimos dez anos (Figura 1).

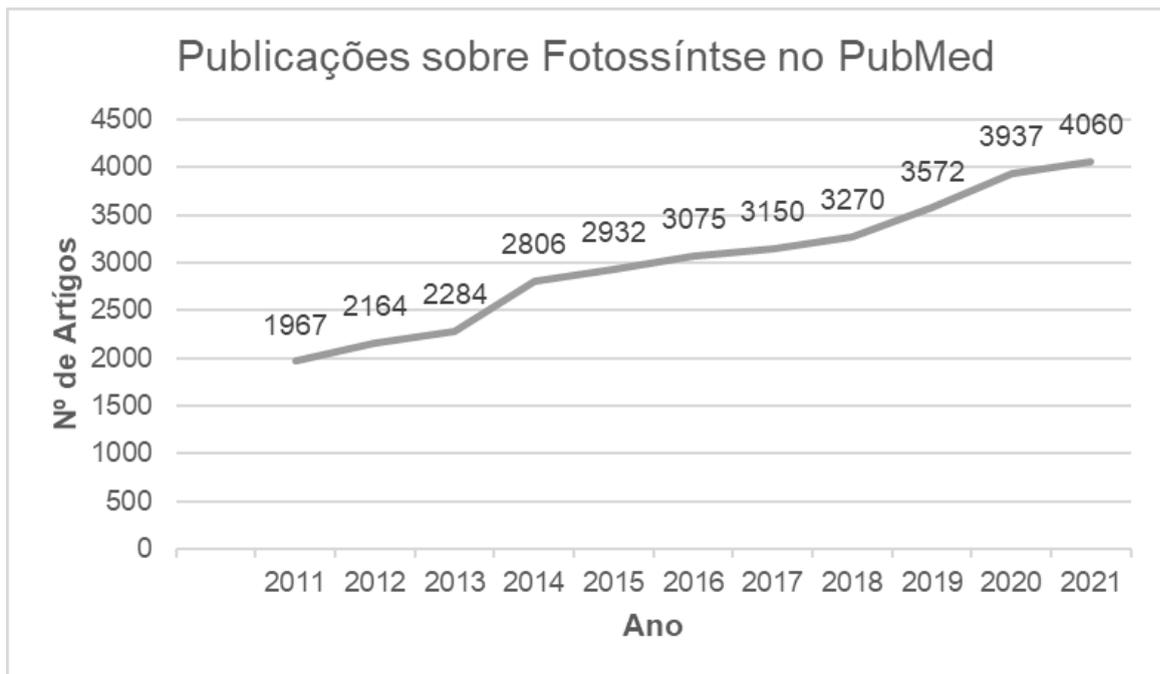


Figura 1: Número de trabalhos publicados sobre o termo “*photosynthesis*” ao longo dos últimos 10 anos. Fonte: elaborada pela autora a partir de dados extraídos de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>.

Frente a esse cenário, o ensino da fotossíntese pode fugir do contexto didático mais tradicional, com enfoque bioquímico e/ou ecossistêmico, permitindo uma abordagem onde o aluno se apropria dos conhecimentos teóricos para refletir sobre problemas atuais da sociedade. Essa perspectiva permite ao discente a tomada de consciência acerca das relações complexas entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA).

De acordo com Cruz e Avenson (2021), a fotossíntese tem muitas partes complexas, levando cientistas de diferentes áreas a estudá-la separadamente. Desta forma, é necessária a integração sistemática dessas visões para se chegar a um quadro mais completo sobre a fotossíntese. Concordando com esses autores, e transpondo esse entendimento para o processo de ensino-aprendizagem da fotossíntese, percebe-se a dificuldade dos alunos em aprender esse assunto que envolve conteúdos abstratos, como transformações da matéria e energia, sendo necessário que o discente tenha conhecimentos de diversos componentes curriculares, como Biologia, Química e Física, para compreendê-la.

Essa mesma constatação é reforçada pela literatura, pois diversos autores apontam a fotossíntese como um conteúdo difícil de ser compreendido pelos estudantes, que apesar de aprenderem sobre esse assunto, em diferentes momentos do Ensino Básico, carregam ao longo da escolarização concepções equivocadas sobre esse conteúdo, deixando lacunas no ensino desse tema (LEMOS e JUSTINA, 2021; BANDEIRA, 2011; KAWASAKI e BIZZO, 2000; MENDES, 2006).

Os estudos de Mendes (2006) e Bandeira (2011) apontam que alunos no Ensino Médio (EM) apresentam diversos conhecimentos prévios sobre fotossíntese, diferentes dos aceitos pela comunidade científica, contendo equívocos que podem persistir até o Ensino Superior. De acordo com Mendes (2006), algumas concepções prévias mais recorrentes que merecem destaque são: *“Durante o dia a planta faz fotossíntese e respira apenas à noite”*; *“A fotossíntese purifica o ar porque a planta transforma o gás carbônico em oxigênio”*; *“A fotossíntese é a respiração da planta”*; *“A planta respira gás carbônico”* e *“fotossíntese é a produção de energia pela planta”*. Percebe-se que parte dessas concepções têm relação com o senso comum compartilhado entre as pessoas sobre o que elas compreendem como fatos naturais em relação às plantas (*ibid.*, 2006, p.55).

Os livros didáticos têm sido apontados por diversos autores como fontes que contribuem na criação de lacunas no processo de ensino-aprendizagem, visto que, podem reforçar concepções prévias equivocadas dos estudantes (PAIVA; SANTIAGO; LIMA, 2021; LIESENFELD *et al.*, 2015; CORDEIRO *et al.*, 2015; PIRES *et al.*, 2013). Sabemos que os livros didáticos são o principal material disponível para alunos e professores na educação

básica. Eles são adquiridos e distribuídos para as escolas públicas do país através do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD). De acordo com fontes do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) do Ministério da Educação, entre o final de 2019 e início de 2020, foram distribuídos 172.571.931 milhões de livros para estudantes da educação básica. Diante disso, ressalta-se a importância de lançarmos um olhar analítico e crítico sobre esses materiais que devem ser objeto permanente de pesquisas (PAIVA; SANTIAGO; LIMA, 2021; LEAL, 2021).

Liesenfeld e colaboradores (2015), em seu trabalho enfatizam que:

Muitas vezes, ao simplificar o conteúdo teórico com o objetivo de facilitar o entendimento, os livros trazem ideias superficiais que contribuem negativamente para as concepções alternativas dos alunos e isso se torna particularmente preocupante quando o professor utiliza o livro didático como único material de apoio (LIESENFELD *et al.*, 2015, p.19).

Outro ponto que reforça o problema investigado neste trabalho foi uma pesquisa de opinião sobre o que os discentes do Colégio Pedro II *campus* Tijuca II, escola que leciono, pensam a respeito do ensino de Biologia e Ciências. Esse levantamento foi realizado por professores que compõem um grupo de pesquisa interno desta instituição, chamado de Laboratório de Práticas e Dinâmicas em Ciências e Biologia - LabBIO, do qual faço parte. Participaram deste estudo 325 alunos do Ensino Fundamental (EF) e do Ensino Médio (EM). Os resultados entre os 132 alunos do EM apontaram que temáticas envolvendo plantas (77%), citologia (75%) e bioquímica (52%) são as que menos despertam interesse dos estudantes, dificultando assim a compreensão desses temas (LIMONGI *et al.*, 2018).

Compreendendo que os assuntos apontados pelos discentes englobam a fotossíntese, a partir da estrutura e funcionamento da célula vegetal, faz-se necessária a elaboração de propostas de ensino que promovam um maior interesse e engajamento dos alunos. Assim, o presente trabalho pretende contribuir nesse sentido.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os fundamentos teóricos que formaram a base para o desenvolvimento do material didático produto desta pesquisa. O referencial será apresentado em quatro partes. A primeira trata sobre aspectos gerais da fotossíntese e as dificuldades no ensino-aprendizagem desta temática. A segunda parte traz um pequeno histórico acerca do ensino investigativo e sua presença nos principais documentos normativos da educação

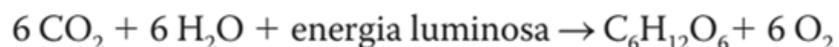
brasileira na atualidade — as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A terceira apresenta os pressupostos do ensino investigativo, baseado no consenso construtivista, alfabetização científica e perspectiva CTSA de ensino. E a quarta, e última parte, é destinada a esclarecer sobre as estratégias didáticas adotadas no produto — a história da ciência, produção de vídeos de animação quadro-a-quadro (*stop motion*) e uso de simulador virtual.

1.1.1 Um olhar sobre a fotossíntese: visão geral e obstáculos no ensino-aprendizagem do tema

Esta seção tem por objetivo tratar resumidamente dos principais pontos sobre a fotossíntese, com o propósito de mostrar a complexidade do tema, e esclarecer o leitor sobre alguns aspectos que contribuem como barreiras que dificultam o processo de ensino-aprendizagem.

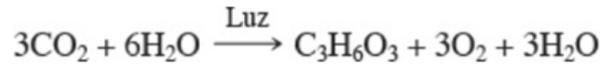
O termo fotossíntese tem sua origem na língua grega e corresponde a junção do prefixo *photós* (luz) + *synthesis* (síntese). Portanto, esta palavra significa "síntese utilizando a luz". Biologicamente consiste em um processo metabólico, usado por algas, plantas e algumas bactérias. Nele a energia luminosa é capturada e utilizada na conversão do dióxido de carbono e água, em oxigênio e carboidratos. Essas últimas moléculas servem de alimento para os seres fotossintetizantes e base para produção de outras moléculas orgânicas (SADAVA *et al.*, 2009).

Esta reação química muitas vezes é resumida através de equações, “que podem ser expressas de uma forma semelhante àquelas da matemática” (KAWASAKI.; BIZZO, 2000, p.27), comumente presente nos livros de biologia e livros didáticos, como a seguir:

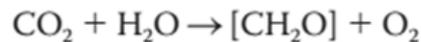


Porém, essas representações muitas vezes causam dúvidas, ou podem levar a incorreções na compreensão do processo bioquímico, devido à grande simplificação (REECE *et al.*, 2015; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2014; SADAVA *et al.*, 2009). Para Kawasaki e Bizzo (2000), “não se chama a atenção para o fato de que tal representação pode conduzir o aluno a pensar (equivocadamente) que parte do oxigênio sai do gás carbônico”. Além disso, no entendimento de Sadava e colaboradores (2019), essa equação pode se tornar um obstáculo, dado que “em termos moleculares, esta parece ser o inverso da equação-geral da respiração celular” (SADAVA *et al.*, 2009. p.161). Outro ponto que pode servir de equívoco tratado por Reece e colaboradores (2015), é que ao "utilizarmos a glicose (C₆H₁₂O₆) na equação para

simplificar a relação entre fotossíntese e respiração, mas o produto direto da fotossíntese é, na verdade, um açúcar de três carbonos que pode ser utilizado para produzir glicose” (*ibid.*, 2015, p.188). Por isso, Raven e colaboradores (2014) trazem outra possibilidade de representação da equação geral da seguinte forma:



Nesta representação as trioses (açúcares de três carbonos) estão simbolizadas na fórmula como $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$, mas ainda há outro modo que os livros representam a fotossíntese:



Nesta última fórmula ocorre uma maior simplificação, “onde (CH_2O) é um sexto de uma molécula de glicose” (TAIZ, 2017. p.178). Assim, ao optarmos por essa última fórmula molecular “estamos imaginando a síntese de um carbono de uma molécula de açúcar de cada vez” (REECE *et al.*, 2015. p.188).

Esses autores ainda defendem que “a equação da fotossíntese é uma simplificação enganosa de um processo muito complexo. Na verdade, a fotossíntese não é um processo único, mas dois processos, cada um com múltiplas etapas” (*ibid.*, 2015. p.189). Esses processos ainda dependem de “diferentes reagentes e subprodutos, além de inúmeras enzimas e substânciasceptoras” (MENDES, 2006, p.53).

Para compreendermos melhor essas etapas ainda precisamos conhecer a estrutura e organização dos cloroplastos, organelas onde ocorre a fotossíntese (Figura 2). Os cloroplastos estão presentes em diversos grupos de organismos fotossintetizantes, mas aqui trataremos apenas dos vegetais.

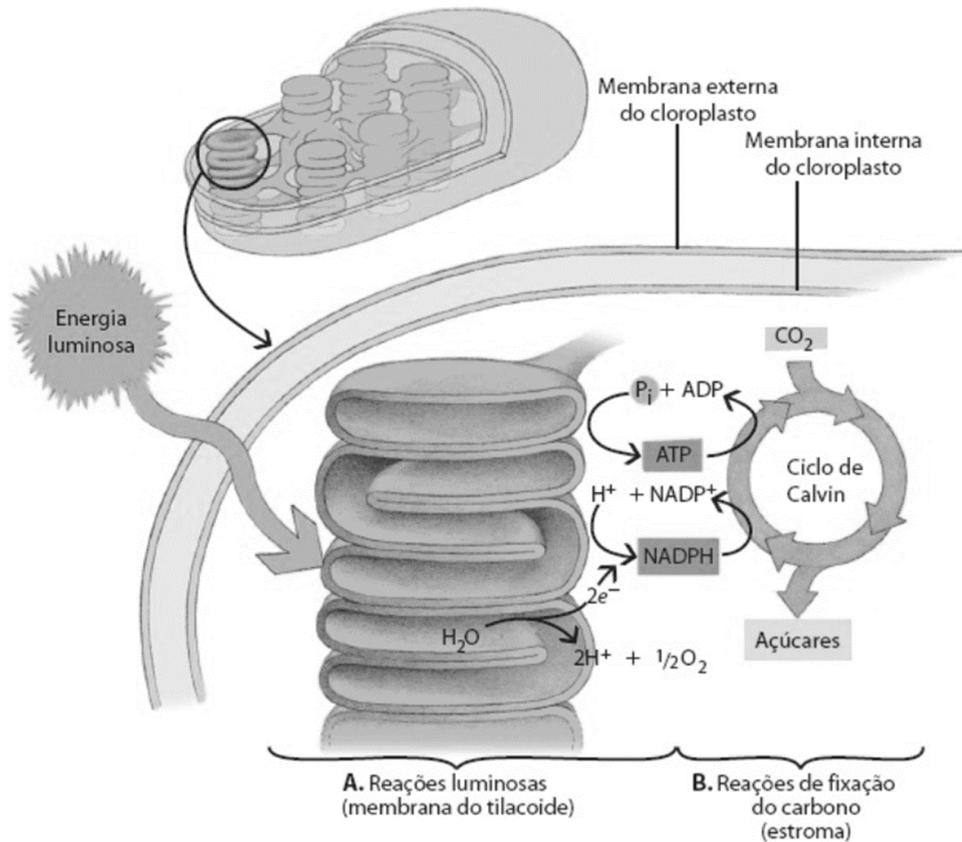


Figura 2: Visão geral da fotossíntese, mostrando a estrutura complexa do cloroplasto, chamando atenção para os reagentes, produtos e etapas da fotossíntese, bem como, para os locais onde cada uma ocorre. Fonte: Raven; Evert; Eichhorn (2014, p.276).

Nessa ilustração percebe-se que a fotossíntese acontece em duas fases. A primeira corresponde a etapa fotoquímica, que ocorre nas membranas internas do cloroplasto (tilacóides), realizando a conversão da energia luminosa em química (REECE *et al.*, 2015). Essa etapa também é conhecida como: reações luminosas, fase clara ou reações dependentes da luz.

A segunda fase engloba a etapa química, que ocorre no líquido que preenche o cloroplasto (estroma), onde moléculas de gás carbônico são convertidas em moléculas orgânicas (*ibid.*, 2015). Na literatura também há diferentes denominações para ela, como: fase escura e reações independentes da luz (termos em desuso), reações de fixação de carbono, ciclo das pentoses, ciclo de Calvin ou Ciclo de Calvin-Benson.

Na etapa fotoquímica a energia luminosa é absorvida pelas moléculas de clorofila, principal pigmento fotossintético (presente na membrana do tilacóide), promovendo a decomposição da água. Isso fornece elétrons e prótons (íons hidrogênio, H^+) e liberando O_2 como subproduto, num processo chamado fotólise. Os elétrons e prótons provenientes da molécula de água quebrada são usados para reduzir o $NADP^+$, que serve como um carreador de elétrons e hidrogênio. O $NADPH$ é utilizado para fornecer a energia redutora necessária para as

reações de fixação do carbono da fotossíntese. Além disso, nessa etapa também são formadas moléculas de ATP, a partir do ADP e do fosfato inorgânico (REECE, *et al.*, 2015). As moléculas de ATP são fundamentais no metabolismo dos seres vivos, e podem ser compreendidas como “moedas energéticas” das células (SADAVA *et al.*, 2009).

Na etapa química a fixação do carbono, usa o ATP e NADPH, formados na fase fotoquímica, e o CO₂ capturada da atmosfera, para produzir glicídios. De acordo com Sadava e colaboradores (2009), existem três formas diferentes dessa etapa metabólica ocorrer dependendo do tipo do vegetal (C₃, C₄ e metabolismo ácido das crassuláceas), mas que não serão aprofundados aqui.

Outro ponto importante para compreensão da fotossíntese, é percebê-la como um processo de oxidação-redução (redox). Em outras palavras, isso significa que as reações químicas nelas envolvidas ocorrem a partir da transferência de elétrons entre moléculas, em que há “perda de elétrons por uma espécie química, que é oxidada, e o ganho de elétrons por outra espécie, que é reduzida” (NELSON; COX, 2014, p.528). Nos “organismos fotossintéticos, o doador de elétrons inicial é uma espécie química excitada pela absorção de luz”, a clorofila (*ibid.*, 2014, p.528), e os “elétrons são transferidos junto com os íons hidrogênio da água para o dióxido de carbono, reduzindo-se a açúcar”, como ilustrado na Figura 3. (REECE *et al.*, 2015, p.189).

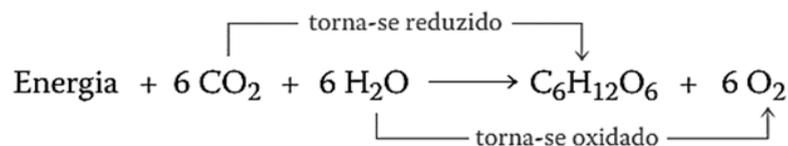


Figura 3: Equação geral da fotossíntese ilustrada a partir da compreensão da reação como um processo redox, em que a água é oxidada na fase fotoquímica e o CO₂ é reduzido na fase química, com produção de carboidratos. Fonte: Reece *et al.* (2015, p.189).

A partir dessa apresentação de alguns aspectos relevantes da bioquímica da fotossíntese, percebemos a complexidade do tema, que traz inúmeros desafios para a aprendizagem. Dentre eles podemos citar uma enorme profusão de nomes utilizados como sinônimos para se referir às duas etapas da fotossíntese, como listado na Figura 4. No trabalho de Limongi e colaboradoras (2018) 74% dos alunos apontaram dificuldades em memorizar muitos nomes novos como um dos principais obstáculos para o aprendizado de Ciências e Biologia, em uma pesquisa realizada no Colégio Pedro II *campus* Tijuca II. Nesse contexto o grande número de sinônimos pode dificultar ainda mais a compreensão das etapas da fotossíntese.

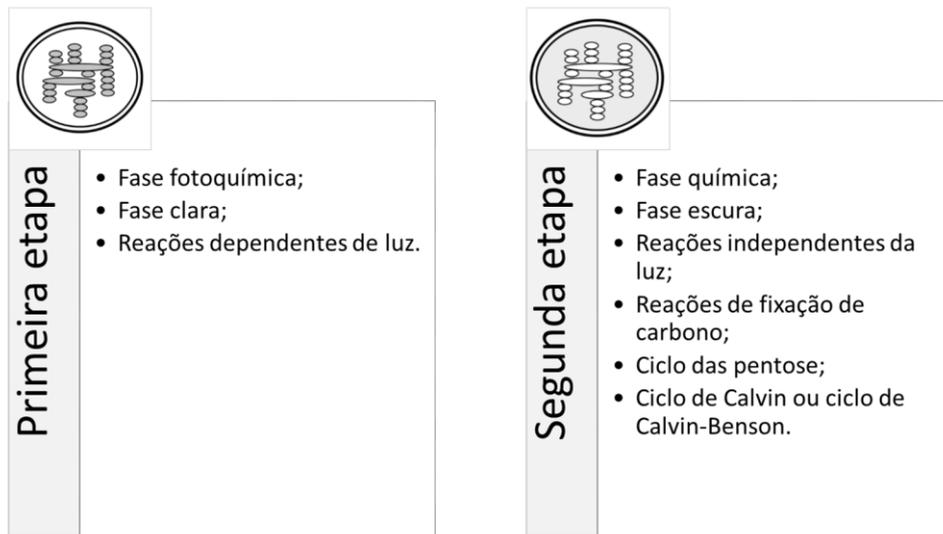


Figura 4: Diagrama mostrando as diferentes denominações presentes na literatura acerca da primeira e da segunda etapas da fotossíntese. Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, algumas das nomenclaturas podem induzir os discentes a erros conceituais. Segundo Nigri e colaboradores, é “comum ver as pessoas fazerem uma confusão sobre “fase clara e fase escura” da fotossíntese” (NIGRI; BARROS; REZENDE, 2007, p.4). Os termos fase escura ou fase independente de luz, que embora estejam em desuso, ainda podem ser encontrados nos livros didáticos, dão a falsa impressão que só ocorre a noite ou na ausência da luz. Porém, existe uma interdependência e concomitância temporal das duas reações nas plantas, e a partir da observação da Figura 2 percebe-se facilmente que as “duas rotas se ligam pela troca de ATP e ADP, e de NADP⁺ e NADPH” (SADAVA *et al.*, 2009, p.162). O ATP e o NADPH são formados pelas reações dependentes da luz e usados na redução dos carboidratos, integrando assim as duas etapas.

Mendes (2006, p.57) ainda discute que “outra dificuldade apresentada se refere ao fato dos alunos não associarem os conteúdos aprendidos em Química e Física aos fenômenos que ocorrem no interior dos cloroplastos”. Relacionado ao mesmo problema, ainda podemos enfatizar a dificuldade dos discentes em compreender os processos de transformação/transferência de energia, e o grande número de reações, reagentes e produtos envolvidos no processo fotossintético (MENDES, 2006; LIESENFELD *et al.*, 2015). Muitas vezes os estudantes se deparam com informações bastante detalhadas sobre aspectos bioquímicos nos livros didáticos e pouco sabem da visão geral e integrada de todo o processo, ou da importância da fotossíntese em seu âmbito CTSA. De acordo com Kawasaki (2000), essa falta de compreensão sobre a fotossíntese pode prejudicar a atuação social dos cidadãos escolarizados (*ibid.*, 2000, p. 25).

1.1.2 O ensino investigativo e sua presença em documentos oficiais brasileiros

O ensino por investigação ou *inquiry*, como é chamado em inglês, nasceu no início do século XIX a partir das ideias do filósofo e pedagogo John Dewey. Esse novo tipo de ensino surgiu em oposição à educação tradicional da época (ANDRADE, 2011; BATISTA; SILVA, 2018; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Esse filósofo acreditava que o ensino por investigação seria baseado em elementos do método científico, assim os alunos partiriam da resolução de problemas, passariam para formulação de hipóteses, depois para coleta de dados e finalizariam com a elaboração de uma conclusão. Nesse cenário os discentes são agentes ativos em busca de respostas, que não devem ser fornecidas como algo pronto e acabado pelo professor (ANDRADE, 2011; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Já na década de 60, no contexto histórico da “guerra fria”, com a competição tecnológica entre os Estados Unidos e União Soviética, o ensino de ciência passa por transformações com o objetivo de “formar cientistas”. Nesse período houve um grande investimento na produção de materiais didáticos, que utilizavam o processo de investigação por meio do ensino experimental, com destaque para a obra *Biological Science Curriculum Study* (BSCS), que foi posteriormente traduzido para o português (BATISTA; SILVA, 2018). O intuito desses materiais era promover aulas práticas que levassem o aluno a “pensar como cientistas” e “fazer” atividades científicas através de uma perspectiva metodológica (ANDRADE, 2011). Assim as aulas eram centradas no professor e tinham um viés teórico, focadas em definições de conceitos biológicos, que depois eram confirmados através de aulas práticas. Os experimentos, portanto, tinham um papel confirmatório e os alunos deveriam seguir protocolos rígidos, sem que houvesse liberdade intelectual para os discentes na construção do conhecimento.

Nesse período havia uma concepção de Ciência “neutra”, sem haver um julgamento de valores sobre o trabalho dos cientistas, que era desvinculado do contexto social, político e econômico (KRASILCHIK, 2000). Durante aquele período, esse movimento também esteve presente no Brasil, e atualmente esse tipo de ensino, que não vincula o impacto das atividades científicas na vida cotidiana, é considerado como promotor de uma visão distorcida sobre a Ciência.

A partir dos anos finais da década de 70, houve a incorporação de ideais construtivistas no ensino por investigação. Esse período histórico foi marcado por grandes mudanças sociais, como lutas por diversos direitos, reivindicadas por movimentos sociais e ambientais, além da amplificação do acesso à educação através da democratização da escola. Assim, a disciplina

escolar Ciências, deixou de ter papel na “formação de cientistas”, e passa a ser vista como “ciências para todos”, dado que, ela ajuda na de formação crítica dos cidadãos. É essa nova visão dos objetivos da Ciência que dá lugar a alfabetização científica.

Na perspectiva construtivista o professor deveria considerar as concepções prévias dos alunos sobre os fenômenos naturais estudados, dado que, esse conhecimento prévio poderia interferir no processo de aprendizagem (ANDRADE, 2011; ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Em 1996, a partir de um documento estadunidense chamado *National Science Education Standards*, foram propostas orientações para o ensino de Ciências pautadas na alfabetização científica e também houve o reconhecimento da importância do ensino por investigação nessa disciplina (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Tratando um pouco mais do ensino por investigação no Brasil, as abordagens investigativas começam a ser encontradas em documentos oficiais brasileiros, a partir da segunda metade da década de 90 nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011). Os PCNs tinham caráter não obrigatório, e serviam de referenciais para a renovação e reelaboração da proposta curricular da escola até a definição das diretrizes curriculares.

Posteriormente o ensino investigativo passa a estar presente nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs). Esse documento constitui normas obrigatórias para a Educação Básica, orientando o planejamento curricular das escolas. O processo de formulação das diretrizes se iniciou em 2006, através de discussões do Conselho Nacional de Educação (CNE) nos termos da Lei de Diretrizes e Bases (LDB) para educação brasileira. (BRASIL, 2013).

As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, em seu inciso III, do artigo 13, destaca a “pesquisa como princípio pedagógico, possibilitando que o estudante possa ser protagonista na investigação e na busca de respostas em um processo autônomo de (re)construção de conhecimentos” (BRASIL, 2013, p.197). Além disso, o inciso II, do artigo 16, que trata do projeto político-pedagógico das unidades escolares, salienta a “problematização como instrumento de incentivo à pesquisa, à curiosidade pelo inusitado e ao desenvolvimento do espírito inventivo” (BRASIL, 2013, p.199).

Mais recentemente o ensino investigativo também encontra respaldo em um dos principais documentos normativos da educação brasileira — a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Esse documento não invalida os DCNs, na verdade, eles são complementares, tendo em vista que, as Diretrizes dão a estrutura, e a Base o detalhamento dos conteúdos em forma de competências e habilidades.

A BNCC traz os conhecimentos essenciais, com foco no desenvolvimento de dez

competências gerais e de habilidades que os alunos irão desenvolver ao longo da Educação Básica (BRASIL, 2017a). A base para as etapas da Educação Infantil e do Ensino Fundamental foi homologada em 2017, e no ano seguinte foi lançada a versão para o Ensino Médio.

Esses documentos, na área de Ciências da Natureza assumem um compromisso com o desenvolvimento da alfabetização científica, mostrando ser preciso assegurar aos alunos o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos historicamente, além da compreensão sobre processos, práticas e procedimentos da investigação científica (BRASIL, 2017a, p.321).

A BNCC para o Ensino Médio propõe a ampliação das habilidades investigativas desenvolvidas no Ensino Fundamental. Assim, conforme o segundo objetivo geral deste documento os alunos devem ser estimulados a:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2018, p.9).

Essa valorização das abordagens investigativas também está contida na terceira competência das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, área na qual a disciplina de Biologia agora está inserida, destacada no trecho a seguir:

Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018, p.539).

Percebemos que essa competência dá destaque à análise de situações-problema, utilização de procedimentos e linguagens próprias das Ciências da Natureza, proposição de soluções, comunicação de descobertas e conclusões. Todos esses elementos estão relacionados ao ensino investigativo.

Outro aspecto relevante, para essa pesquisa, encontrado nessa competência é a menção ao uso de diferentes mídias e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). Isso vai de encontro a algumas estratégias didáticas utilizadas na elaboração do produto oriundo deste trabalho.

Além disso, a terceira competência ainda traz uma referência a abordagem sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) no ensino, ao propor que os discentes desenvolvam a

capacidade de avaliar o conhecimento científico e tecnológico, a partir de suas implicações no mundo. Em outras palavras, essa competência busca relacionar a Ciência e a Tecnologia com suas consequências sociais.

Notamos com esse breve panorama que a abordagem investigativa vem se difundindo no Brasil, focada na natureza da produção do conhecimento científico e nas relações entre a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (ANDRADE, 2011).

1.1.3 Pressupostos do ensino investigativo, pautados no consenso construtivista, na alfabetização científica e na perspectiva CTSA

As atividades investigativas podem aparecer com diversos nomes na literatura que aborda o tema, como, por exemplo: *inquiry*, ensino por investigação, ensino por descoberta, aprendizagem por projetos, questionamentos e resolução de problemas (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

Além de diversas nomenclaturas, esse tipo de ensino pode ser entendido de várias formas, entre elas, como uma estratégia, metodologia ou abordagem didática. Cada uma dessas nomenclaturas é carregada de significados e abarcam diferentes objetivos no processo de ensino-aprendizagem.

A terminologia estratégia refere-se aos elementos do planejamento usados para alcançar um determinado objetivo de ensino (ALVES; BEGO, 2020). Já os termos metodologia e abordagem didática, muitas vezes são usados de forma equivalente, propõem um olhar mais amplo para o ensino por investigação. Assim, a denominação abordagem investigativa envolve uma concepção do processo de ensino aprendizagem com profundas mudanças no papel do professor e dos alunos (SOLINO *et al.*, 2015; ALVES; BEGO, 2020). Nela o aluno assume um papel ativo e ganha foco no ensino, e o professor tem a função de mediar esse processo. Além disso, é importante ressaltar que a abordagem investigativa também envolve uma compreensão acerca do que é ciência, de como se dá a construção do conhecimento científico, das funções do ensino de Ciências e Biologia na educação escolar.

A partir do que foi exposto anteriormente, adotou-se nesta pesquisa a ideia de abordagem investigativa, visto que, as abordagens metodológicas de ensino orientam a escolha e estruturação dos demais elementos do planejamento, norteadas as opções do professor quanto aos objetivos de aprendizagem, conteúdos, estratégias didáticas e de avaliação (ALVES; BEGO, 2020).

Após essa pequena revisão das terminologias acerca do ensino investigativo, nos

debruçaremos sobre a seguinte questão: *O que é ensino por investigação afinal?*

Muitas vezes os professores podem apresentar diversas concepções sobre o que seria o ensino investigativo, dentre elas destacamos as ideias: reprodução do método científico em sala de aula; o ensino investigativo tem o objetivo de formar cientistas; e as atividades investigativas ocorrem através de atividades práticas. Além disso, os docentes apresentam receios na gestão de aulas por investigação (SCARPA, 2017a).

Essas concepções mostram ideias equivocadas sobre o ensino por investigação, por isso é importante apontarmos a definição e características do ensino por investigação usada neste trabalho. Em concordância com Melville, compreendemos esse tipo de ensino como:

Estratégias didáticas que buscam envolver **ativamente os alunos** em sua aprendizagem, por meio da **geração de questões e problemas** nos quais a **investigação** é condição para resolvê-los, com coleta, análise e interpretação de dados que levem a formulação e comunicação de conclusões baseadas em evidências e reflexão sobre o processo (MELVILLE *apud* SCARPA; CAMPOS, 2018. p.30, grifo nosso).

A partir da leitura desse trecho, percebemos o papel ativo do aluno e a centralidade da investigação de problemas no ensino investigativo. Somado a isso, Carvalho (2018) discute a existência de mais um conceito que regem esse tipo de ensino — a liberdade intelectual.

As ideias apresentadas anteriormente se complementam, assim, podemos fazer um apanhado geral enfatizando que essa abordagem didática necessita de uma mudança no papel dos alunos, que deve buscar ativamente a solução para um problema. Para alcançar esse objetivo o professor deve dar autonomia de pensamento para os estudantes durante as atividades investigativas (Figura 5).

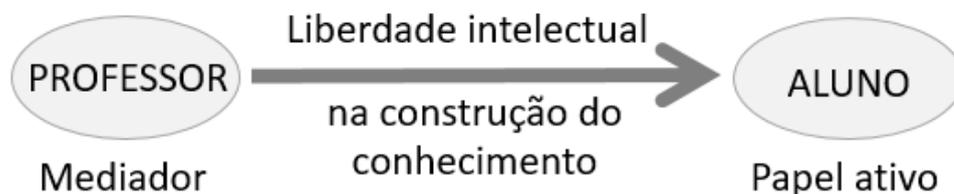


Figura 5: Diagrama da mudança do papel do professor e do aluno no processo de ensino-aprendizagem no ensino por investigação. Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Costa e Salvador (2021), é durante o planejamento das atividades investigativas que o professor irá refletir sobre o direcionamento fornecido aos alunos e a liberdade dos discentes de escolherem os caminhos que irão tomar ao longo da atividade. Para esses autores algumas perguntas ajudariam a identificar esses níveis de abertura/autonomia,

como, por exemplo: “*Quanto de informação devo oferecer aos meus alunos?*” e “*O quanto eles poderão participar, sugerir, intervir na proposta que estou planejando?*” (*ibid.*, 2021, p.11). Eles ainda ressaltam que esse grau de autonomia irá depender de condições como: tempo, os conceitos e conteúdos trabalhados, perfis dos estudantes, as relações na turma, a própria experiência do professor em planejar e mediar atividades investigativas (*ibid.*, 2021).

Também é necessário refletirmos sobre como o construtivismo se encaixa no contexto do ensino por investigação. Segundo o trabalho de Scarpa e Campos (2018), apesar de o construtivismo ser um conceito amplo, atualmente pode-se defender a existência de um consenso construtivista, baseado nas ideias de dois grandes referenciais teóricos da área – Piaget e Vigotsky. Esse consenso gira em torno de quatro pilares: 1 - valorização das concepções prévias; 2 - construção do saber por meio da interação do sujeito com o objeto; 3 - relevância das interações sociais na produção do conhecimento; e 4 - autonomia de pensamento (Figura 6).

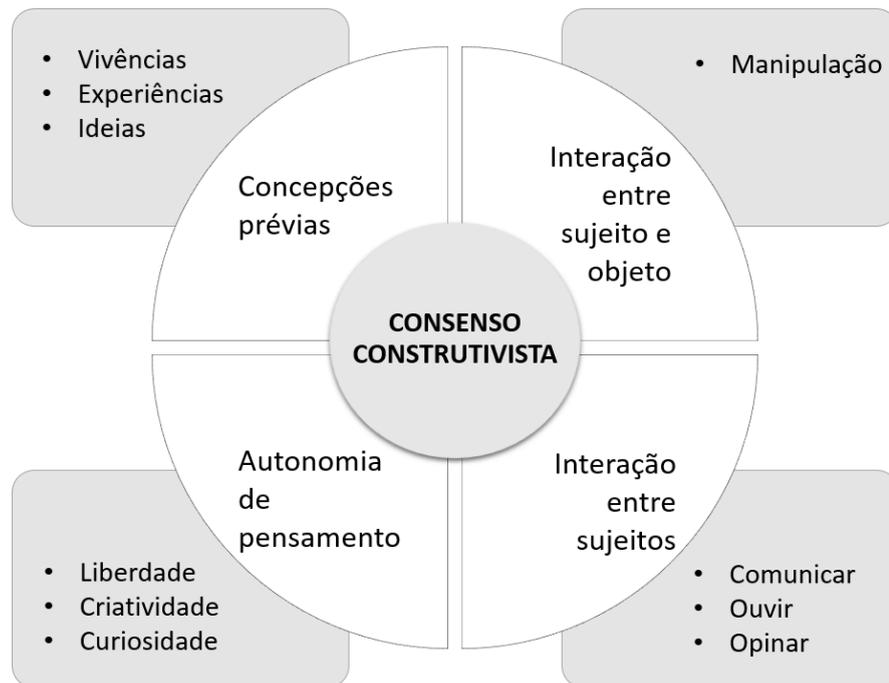


Figura 6: Diagrama representando os quatro pilares do consenso construtivista nos quadrantes do círculo branco. Fonte: Elaborado pela autora inspirado em Scarpa (2017a).

Aprofundaremos agora cada um desses princípios. O primeiro deles a ser examinado será a valorização das concepções ou conhecimentos prévios dos alunos. Em outros termos, as ideias, vivências, e experiências dos discentes devem ser usadas como ponto de partida para o ensino. Segundo Zabala (2008), o ensino construtivista está baseado na averiguação das

concepções prévias dos estudantes. Assim, seria necessário a proposição de situações de aprendizagem em que o aluno possa estabelecer um processo de comparação e revisão entre os conteúdos escolares e seus conhecimentos prévios. Esse processo de confrontação, entre o conhecimento antigo e novo, levaria a uma aprendizagem significativa dos assuntos estudados. Os alunos nessa concepção de ensino não são uma “tábula rasa”, e completando essa ideia piagetiana destaca-se que:

“a construção do conhecimento é marcada pela busca da equilibração: quando uma nova situação é apresentada, não encontrando referências ou formas de compreensão nas estruturas já existentes, o indivíduo passa por um processo de desequilibração, que pode ser temporário e culmina em uma nova equilibração, com um novo entendimento da situação. (SASSERON, 2012, p.118).

Além disso, o ensino construtivista também está baseado no papel ativo e protagonista do aluno, já discutido anteriormente. No construtivismo esse protagonismo é atingido a partir da interação do sujeito com o objeto, e pela interação entre os sujeitos, tendo em vista o desenvolvimento da autonomia de pensamento (SCARPA; CAMPOS, 2018; CARVALHO, 2013a).

Um segundo ponto piagetiano relevante diz respeito a ação manipulativa. De acordo com ela, a construção do saber ocorre por meio da interação dos estudantes com o seu objeto de conhecimento, através de leituras, experimentos, jogos, entre outros, sendo preciso vivenciar situações. No caso específico do ensino investigativo são “as ações manipulativas que dão condições para os alunos levantarem hipóteses”, ou seja, ideias para resolver o problema proposto (CARVALHO, 2013a, p.8). Em outras palavras, é na passagem da ação manipulativa para a ação intelectual que se abre espaço para a construção do conhecimento pelo próprio sujeito. (*ibid.*, 2013).

A interação entre sujeitos é um elemento vigotskiano. A partir desse viés o aprendizado ocorre no nível social. Os alunos ao interagir, se comunicar e ouvir os outros, organizam o pensamento, recebem opiniões e comentários dos colegas, podendo avaliar suas afirmações e posicionamentos. Nesse processo, com a internalização dos conhecimentos, os discentes podem reavaliar suas próprias convicções iniciais e conhecimentos prévios, tendo potencial de abandonar as crenças anteriores (SCARPA, 2017a).

Por meio da aplicação dos três princípios, discutidos anteriormente, chegamos no nosso quarto pilar — a autonomia de pensamento. O professor precisa dar liberdade para os alunos para tomarem suas decisões, serem criativos e exercitarem a sua curiosidade em sala de aula. Isso é possível através da mudança do papel do professor/aluno e modificação nas estratégias

didáticas adotadas.

As aulas expositivas, demasiadamente centradas no professor, não contribuem para que os estudantes sejam os atores do seu aprendizado, na medida em que não consideram as concepções prévias, não possibilitam as interações entre sujeito e objeto de conhecimento, nem a interação entre os pares. Para que a mudança de foco do papel de professor e alunos realmente aconteça em sala de aula, é necessário que o professor reflita sobre sua prática e desenvolva estratégias didáticas que permitam esse deslocamento, essa mudança de função. (SCARPA; CAMPOS, 2018, p.26)

Esses princípios do consenso construtivistas dialogam com o ensino de Ciências pautado na alfabetização científica, que é uma forma de se ensinar e aprender Ciências preocupada com a formação cidadã, baseada em três eixos norteadores (Figura 7):

1. *aprender Ciências* — que envolve entender os termos, conhecimentos e conceitos científicos;
2. *aprender a fazer Ciências* — que consiste em compreender a natureza das ciências e vivenciar os processos de construção do conhecimento científico;
3. *aprender sobre Ciências* — para o desenvolvimento de um olhar crítico e não neutro sobre a ciência e tecnologia, refletindo sobre esses elementos e suas implicações na sociedade e meio ambiente, através da perspectiva CTSA (SCARPA; CAMPOS, 2018; SASSERON; CARVALHO, 2011).

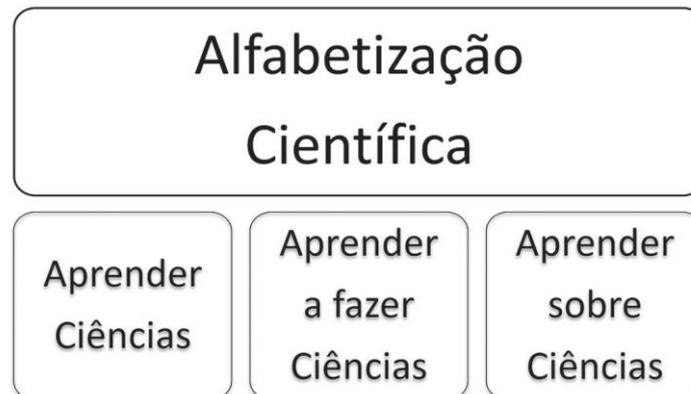


Figura 7: Eixos da alfabetização científica, com incorporação da abordagem crítica sobre o papel da ciência e tecnologia, e seus impactos na sociedade e ambiente no terceiro eixo. Fonte: Scarpa e Campos (2018, p.18).

Tratando um pouco mais sobre a abordagem CTSA, ela ajuda o aluno a reconhecer que a ciência e a tecnologia estão presentes no nosso cotidiano. A perspectiva CTSA também é adotada na expectativa de que os cidadãos se tornem conscientes do papel de suas decisões para um futuro sustentável. Ela vincula, portanto, cidadania e sustentabilidade, a partir da compreensão de conceitos científicos. Com essa intenção a fotossíntese foi trabalhada nas

atividades didáticas desenvolvidas nesta pesquisa, mostrando sua relação com as mudanças climáticas e o aquecimento global; produção de biocombustíveis a partir da fotossíntese artificial; e fabricação de bioplástico como um produto secundário da fotossíntese de cianobactérias.

Acreditamos que o uso de atividades de investigação, aliadas à alfabetização científica, podem promover a aprendizagem para além dos conteúdos mais formais das disciplinas. Isso ocorre por meio da promoção de conteúdos procedimentais e pelo desenvolvimento de habilidades (“saber fazer”); e conteúdos atitudinais, através da reflexão crítica do conteúdo, da aprendizagem de valores e atitudes envolvidos na construção do conhecimento científico (“ser”) (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011; ZABALA, 2008).

Apoiado no que foi exposto anteriormente, compreende-se que o ensino por investigação consegue agregar ideias do construtivismo com os objetivos da alfabetização científica. Juntos eles ampliam os objetivos do ensino de Ciências e contribuem para a formação integral do aluno. E a postura investigativa, além de ajudar na construção do conhecimento do indivíduo, também colabora para a construção de um cidadão crítico e capaz de tomar decisões.

1.1.4 Materiais didáticos sobre fotossíntese e as estratégias didáticas adotadas no produto

Para Scarpa e Campos (2018), a melhor forma de se atender aos princípios construtivistas e da Alfabetização Científica na escola, é com a escolha cuidadosa de estratégias didáticas que promovam a compreensão de como o trabalho científico é desenvolvido. Assim, esse trabalho utiliza a história da ciência, gravação de vídeos de animação quadro-a-quadro (*stop motion*) e uso de simulador virtual com esse objetivo.

A história da ciência permite que os alunos façam reflexões sobre como o conhecimento sobre fotossíntese foi historicamente produzido pelas gerações anteriores. Trabalhamos dessa forma aspectos da alfabetização científica ligados ao “aprender fazer ciência”. De acordo com Carvalho (2013a), as atividades de contextualização utilizando textos de História das Ciências também podem promover discussões, que relacionam ciência e desenvolvimento social, fomentando o eixo “aprender sobre Ciências”.

A produção de vídeo de *stop motion* serve para sistematizar os conhecimentos aprendidos sobre as transformações que ocorrem na fotossíntese. O *stop motion* é uma técnica de animação quadro-a-quadro que consiste em juntar várias fotografias de um mesmo objeto que ao serem exibidos em alta velocidade, causam a ilusão de movimento no observador (LEITE, 2020). Estes autores também falam dos benefícios do uso dessa técnica no

engajamento do estudante, por dar ao aluno o protagonismo no seu aprendizado. Além disso, Leite (2020), ressalta o uso dessa técnica pelos professores em sala de aula, visto que, se trata de algo de baixo custo, necessitando apenas de câmera fotográfica (podendo ser usado para esse fim *smartphones* e *softwares* livres de edição para montagem do vídeo.

Os simuladores são ambientes virtuais para experimentação que podem servir como uma potente estratégia na aplicação do ensino investigativo. Nessas ferramentas é possível controlar determinados parâmetros (variáveis de entrada) e verificar os efeitos consequentes (variáveis de saída). Essas variáveis são controladas pelos estudantes, que são os protagonistas durante a atividade (SANTOS, 2018). Nesses ambientes os alunos podem testar suas hipóteses, observar fenômenos, coletar dados, compreender fenômenos matematicamente, graficamente ou simbolicamente, permitindo assim o cumprimento de muitos dos pressupostos do ensino investigativo (HILLESHEIM; SCHOTTZ, 2014). Porém, é preciso chamar a atenção de que muitos autores relatam que o uso do simulador por si só não é suficiente para se promover o ensino investigativo, sendo necessário a orientação do professor, seja de forma oral ou por meio da utilização de roteiros (HILLESHEIM; SCHOTTZ, 2014; SANTOS, 2018; GREGÓRIO *et al.* 2016).

Os trabalhos de Hillesheim e Schottz (2014) falam da necessidade de mais pesquisas sobre o uso de simuladores virtuais no ensino. Já Gregório e colaboradores (2016) sugerem o uso de simulações na aprendizagem de conteúdos abstratos da Biologia, como aqueles que envolvem o mundo microscópico e as reações químicas, por isso entendemos que há um grande potencial para o ensino da fotossíntese usando essa esta estratégia.

Há muitos simuladores gratuitos e de livre acesso, como por exemplo, os disponíveis no Banco Internacional de Objetos Educacionais e site *PhET Interactive Simulations* da Universidade do Colorado. Essas simulações podem ser executadas diretamente na *Internet* ou podem ser baixadas e instaladas no computador (HILLESHEIM; SCHOTTZ, 2014; GREGÓRIO *et al.* 2016).

1.2 JUSTIFICATIVA

Considerando tudo o que foi exposto até aqui, entendendo a grande complexidade do assunto e a amplitude dos conhecimentos ligados à fotossíntese, o produto foi elaborado a partir de uma pesquisa exploratória do tema em livros didáticos do PNLD 2021. Também foram usadas premissas presentes na Base Nacional Curricular Comum (BNCC), que incentivam ensino o investigativo, aliado à alfabetização científica, e a perspectiva CTSA.

Além disso, pretendeu-se buscar diversidade de estratégias didáticas a partir do uso da história da ciência, produção de vídeos de animação quadro-a-quadro (*stop motion*) e uso de simulador virtual para o ensino da fotossíntese. Assim, o produto dessa pesquisa oferece aos docentes um material didático complementar e alternativo à prática escolar tradicional, marcada pelo uso do quadro e livro didático.

O produto será disponibilizado em formato de livro eletrônico nos repositórios do PROFBIO. O *e-book* é composto pelo material do professor, para introduzir ao docente aos pressupostos do ensino investigativo e por três atividades/estudos dirigidos, com metodologias e estratégias didáticas diversificadas, que fazem a contextualização da fotossíntese com temáticas atuais, como aquecimento global, biocombustíveis e bioplástico. O livro foi idealizado para servir de apoio à prática docente, visando superar algumas das lacunas deixadas por materiais didáticos, usados no ensino tradicional. Além disso, pretende-se que esse livro eletrônico sirva como material de divulgação do ensino por investigação que inspire os docentes com novas ideias e sugestões para a criação de aulas mais ricas e focadas no protagonismo discente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAL

Elaborar um livro eletrônico para tratar do ensino por investigação de forma teórica e prática com professores, por meio de três atividades investigativas sobre fotossíntese, apoiadas na Alfabetização Científica e em uma abordagem CTSA do tema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o panorama do ensino da fotossíntese nos livros de Ciências da Natureza do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2021 e identificar lacunas com base em uma pesquisa bibliográfica exploratória.
- Utilizar uma abordagem histórico-científica, a partir de fichas investigativas, para mostrar a História da Ciência sobre a descoberta dos elementos necessários para a fotossíntese.
- Promover a aprendizagem sobre as transformações que ocorrem no processo fotossintético e o engajamento discente, a partir da criação de vídeos de animação-quadro-a-quadro ou storyboards.
- Propiciar o ensino sobre a influência das condições ambientais na fotossíntese, através de um roteiro de experimentação para o uso do simulador virtual Photolab.
- Avaliar as perguntas utilizadas nas atividades investigativas do livro eletrônico.

3 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a metodologia empregada no desenvolvimento do produto didático fruto dessa pesquisa. Assim, levando-se em consideração os objetivos propostos, a pesquisa foi realizada por meio das seguintes etapas: análise de livros didáticos do PNLD 2021, elaboração das atividades presentes no *e-book* usando o Ciclo Investigativo de Pedaste (2015), e análise das perguntas investigativas presentes no produto a partir da categorização de Machado e Sasseron (2012).

3.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

Foram avaliadas todas as sete coleções didáticas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, do objeto 2, aprovadas pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) 2021. Cada coleção é composta por seis livros/volumes, não sequenciais, com um subtítulo próprio para identificação das mesmas, totalizando 42 livros apreciados (Quadro 1). Elas foram obtidas através dos sites das editoras, em formato digital do tipo PDF (*Portable Document Format*).

Optou-se por verificar o sumário de todas as obras, pois atualmente apresentam os conteúdos de Biologia, Física e Química aglutinados em seis livros, sem indicação de qual série será utilizado. Isso contrasta com os livros de Biologia dos PNLDs passados, como os do PNLD 2018, compostos por apenas três volumes, que apresentavam o conteúdo de fotossíntese tradicionalmente no volume 1, que era usado com os alunos do 1º ano do Ensino Médio (BRASIL, 2017b).

Assim, buscou-se no sumário o termo fotossíntese para verificar se havia uma seção ou unidade que tratasse sobre o tema. Obteve-se uma amostra final com sete livros (ver Quadro 2 no capítulo de Análise dos Resultados e Discussão) dos quais analisou-se quantitativamente alguns elementos, como o texto/conteúdo e as imagens. Verificou-se também a presença de conteúdos relacionados a História da Ciência, fatores limitantes à fotossíntese e a indicação de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs).

Além do texto e conteúdo das obras foram analisados a área dedicada ao tema em relação ao total do número de páginas presentes em cada obra. A medição foi feita usando a ferramenta “medir” do *software* leitor de PDF Foxit Reader®. Averiguou-se a área total de uma página, e a área ocupada por cada imagem na seção sobre fotossíntese. Selecionou-se um perímetro em volta da imagem que incluía a legenda e outras informações relacionadas a ela. Na obra “Multiversos” também se categorizou as imagens em “decorativa”, “representacional”,

“organizacional” e “explicativa”, de acordo com a classificação de Mayer (*apud* COUTINHO *et al.*, 2010)

Quadro 1: Coleções e livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aprovados pelo PNLD 2021

COLEÇÃO	EDITORA	AUTORES	SUBTÍTULO DO LIVRO
Ciências Da Natureza – Lopes & Rosso	Moderna	Sônia Lopes, Sergio Rosso et al.	Evolução e universo Energia e consumo sustentável Água, agricultura e uso da terra Poluição e movimento Corpo humano e vida saudável Mundo tecnológico e ciências aplicadas
Conexões: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	Miguel Thompson et al.	Matéria e energia Energia e ambiente Saúde e tecnologia Conservação e transformação Terra e equilíbrios Universo, materiais e evolução
Diálogo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	Kelly Cristina dos Santos et al.	O universo da ciência e a ciência do Universo Vida na Terra: como é possível? Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia Energia e sociedade: uma reflexão necessária Ser humano: origem e funcionamento Ser humano e meio ambiente: relações e consequências
Matéria, Vida e Energia: Uma abordagem interdisciplinar	Scipione	Eduardo Mortimer et al.	Desafios contemporâneos das juventudes Evolução, biodiversidade e sustentabilidade Materiais e energia: transformações e conservação Materiais, luz e som: modelos e propriedades O mundo atual: questões socio científicas Origens: o Universo, a Terra e a Vida
Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	José Mariano Amabis et al.	O conhecimento científico Água e vida Matéria e energia Humanidade e ambiente Ciência e tecnologia Universo e evolução
Multiversos: Ciências Da Natureza	Editora FTD	Leandro Pereira de Godoy, Rosana Maria Dell' Agnolo e Wolney Candido de Melo	Matéria, energia e a vida Movimentos e equilíbrios na natureza Eletricidade na sociedade e na vida Origens Ciência, Sociedade e Ambiente Ciência, tecnologia e cidadania
Ser Protagonista: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Edições SM	André Zamboni, Lia Monguilhott Bezerra et al.	Composição e estrutura dos corpos Matérias e transformações Energia e transformações Evolução, tempo e espaço Ambiente e ser humano Vida, saúde e genética

Fonte: Brasil, 2021.

Para análise dos textos utilizou-se o programa AntConc, desenvolvido por Laurence Anthony, Professor da Faculdade de Ciência e Engenharia da Waseda University no Japão, para

produzir uma lista com as dez palavras mais frequentes de cada livro (SILVA, 2019). Com essa lista criou-se a nuvem de palavras usando o website www.wordart.com.

As nuvens de palavras, *word cloud* ou *tag cloud* são ferramentas de visualização de um *corpus* textual, que permitem a apresentação e visualização de dados de forma hiper resumida. Na *word cloud* o tamanho de cada palavra é estabelecido pela relevância, a partir da contagem e frequência dos vocábulos, no texto analisado (SILVA, 2013b). Assim, a nuvem de palavras é uma ferramenta interessante para análise de textos, pois permite fazer uma avaliação, tanto qualitativa, quanto quantitativa do *corpus* textual.

O programa AntConc foi escolhido por ser de fácil utilização na análise textual e linguística de *corpus* textuais. O texto de cada livro analisado foi copiado e colado no programa Bloco de Notas® usando um arquivo de texto sem formatação com extensão .txt. Neste programa usou-se como configuração para codificação de caracteres a opção Unicode (UTF-8), para evitar alterações na análise devido à presença de caracteres específicos da língua portuguesa, como acento agudo, circunflexo, til e outros. Posteriormente os arquivos .txt foram importados para o AntConc, para produção da lista de frequência de palavras através da ferramenta *word list*. Foi realizada, de acordo com Silva (2019), a remoção manual das *stopwords* (palavras sem relevância semântica), como artigos, pronomes e advérbios, nas listas obtidas.

Também utilizou-se a ferramenta *concordance* para verificar o contexto e os segmentos de textos que compartilham relação com um vocábulo específico. Por exemplo, a palavra luminosa com muita frequência estava associada à palavra intensidade ou energia. Por isso, optou-se por colocar algumas duplas de palavras na nuvem, para que tivessem mais sentido do que se analisadas isoladamente.

Foi utilizada uma única cor na *word cloud*, visto que, a cor e sua intensidade nas palavras pode direcionar o olhar durante a análise visual, sem ter relevância ou relação com os dados (SILVA, 2013a).

3.2 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DAS ATIVIDADES DIDÁTICAS PRESENTES NO PRODUTO: O CICLO INVESTIGATIVO

O Ciclo Investigativo pode ser compreendido como uma forma de auxiliar o professor no planejamento e aplicação de atividades ou sequências didáticas investigativas (SCARPA; CAMPOS, 2018).

De acordo com Pedaste e colaboradores (2015), a aprendizagem baseada em

investigação muitas vezes é organizada em fases interligadas que formam um ciclo. Segundo esses autores, diferentes variações de ciclos investigativos são encontradas na literatura. Essa equipe de pesquisadores propôs um ciclo, a partir da revisão bibliográfica e da análise de 32 artigos, composto por cinco fases interconectadas: orientação, conceitualização, investigação, conclusão e discussão (Figura 8).

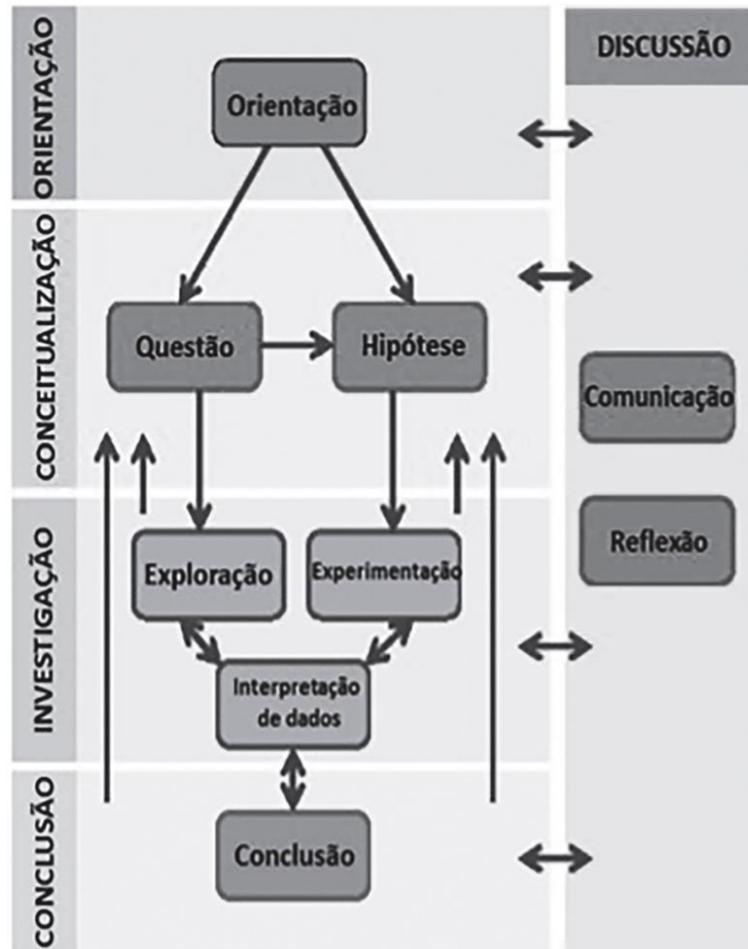


Figura 8: Ciclo investigativo proposto por Pedaste e colaboradores, mostrando as cinco fases principais, as subfases e as relações entre elas. Fonte: Pedaste *et al.*, (2015 *apud* SCARPA; CAMPOS, 2018. p.31).

Percebe-se pela observação da Figura 8 a existência de subfases, além das fases principais. Verifica-se que a fase de conceitualização está dividida em: questionamento e geração de hipóteses. A investigação divide-se em: exploração e experimentação, e partindo delas chegamos na fase de interpretação dos dados. E a discussão segmenta-se na: reflexão e comunicação.

De acordo com essa metodologia, a aprendizagem se inicia na fase de “orientação e flui através da conceitualização para investigação, onde vários ciclos são possíveis” e normalmente finaliza com a conclusão (PEDASTE *et al.*, 2015, p.47, tradução nossa).

Um ponto interessante sobre essa metodologia, que reforça a sua escolha neste trabalho, é o fato dela ser flexível, podendo o docente modificá-la segundo a demanda dos alunos. Pedaste e sua equipe (2015), chamam atenção do fluxo não ser rígido entre as etapas:

A forma como um ciclo de investigação é apresentado geralmente sugere uma sequência ordenada de fases. No entanto, os pesquisadores (sobre o tema) também costumam ter o cuidado de avisar que o aprendizado baseado em investigação não é um processo linear prescrito e uniforme. As conexões entre as fases podem variar dependendo do contexto. (*ibid.*, 2015, p.49, tradução nossa).

Em outro exemplo que demonstra essa flexibilidade, esses pesquisadores discutem as relações cíclicas que podem existir na investigação ao dizer que “um aluno pode retroceder e avançar várias vezes, se a interpretação de dados levar à revisão de um plano de experimentação ou estimular exploração adicional” (*ibid.*, 2015, p.52-53, tradução nossa).

Deste ponto em diante, aprofundaremos um pouco mais as características de cada fase.

3.2.1 Orientação

Na orientação o aluno tem sua curiosidade e interesse estimulados pelo problema de investigação. Segundo Pedaste e colaboradores (2015), o objetivo dessa fase é apresentar ao aluno um novo tópico para que se inicie a investigação, assim eles ressaltam que:

É preciso explorar ou observar um fenômeno para se interessar por ele, ler alguma teoria para conhecer as questões cientificamente orientadas relacionadas a esse fenômeno em particular e se envolver com a questão através de um ponto de ancoragem desafiador (*ibid.*, 2015 p.52, tradução nossa).

Diante disso, e compreendendo que a habilidade de leitura é algo que deve ser sempre estimulada, desenvolvida e aprimorada nos alunos, optou-se pela utilização da leitura de textos com perspectiva CTSA nas atividades didáticas do produto. No material didático são utilizados textos motivadores sobre as mudanças climáticas e o aquecimento global; produção de biocombustíveis a partir da fotossíntese artificial; e fabricação de bioplástico de cianobactérias.

Essa etapa é muito importante, pois os professores diversas vezes não trazem o contexto onde as perguntas estão envolvidas, assim de acordo com Pedaste (2015), o resultado dessa fase é a apresentação clara do tema de estudo. Além disso, nessa etapa também ocorre outro ponto relevante — o levantamento das concepções prévias dos alunos. Para Scarpa (2017b), as situações de aprendizagem podem começar por uma sensibilização dos discentes, através da leitura de imagens e tabelas. Essa pesquisadora ainda defende que o levantamento das

concepções prévias pode ser coletivo, fomentado por discussões mediadas pelo professor com toda a turma (*ibid.*, 2017b).

3.2.2 Conceitualização

A etapa de conceitualização é definida como o “processo de formular questões e/ou hipóteses baseadas em teorias” (PEDASTE *et al.*, 2015, p.54, tradução nossa). Em outros termos, ela envolve a elaboração ou a proposição de perguntas, mas isso também pode ser feito pelo professor dependendo do grau de liberdade dado aos alunos. No caso do produto desenvolvido aqui optou-se por já estabelecer a questão investigativa, mas os alunos irão elaborar as hipóteses ou questionamentos para resolvê-las.

Segundo Scarpa (2017b), as perguntas investigativas baseadas em conceitos e teorias contrastam com o ensino tradicional, visto que, muitas vezes as questões feitas pelos professores em aula são desprovidas de conceitos. De acordo com Sasseron (2014a), a pergunta desprovida de conceitos é usada pelo professor como um “recurso para o estabelecimento da conversa”. Em outras palavras, “muitas das perguntas feitas em sala de aula são marcas da comunicação oral e elas não solicitam ou não esperam respostas” (*ibid.*, 2014, p.12).

As subfases dessa etapa são o questionamento e a geração de hipóteses. Elas se diferenciam da seguinte forma: “o questionamento chega a uma questão de pesquisa ou mais perguntas abertas sobre um tema, enquanto que a geração de hipóteses chega a uma hipótese testável” (PEDASTE *et al.*, 2015, p.54, tradução nossa).

Enfatiza-se ainda a importância de “se ter uma hipótese ou previsão antes que o aprendiz possa começar a planejar uma exploração ou investigação” (*ibid.*, 2015, p.52, tradução nossa). No entanto, Scarpa (2017c) aponta uma dificuldade ao refletir sobre a elaboração das hipóteses, pois os alunos muitas vezes se confundem ao responder à pergunta de investigação apenas com afirmações que não podem ser testadas, mostrando apenas o seu conhecimento prévio.

A conceitualização permite uma postura investigativa perante o mundo, ao relacionar elementos de observação e marcos teóricos da Biologia. Ela mostra aos alunos que a ciência funciona a partir da elaboração de perguntas sobre o mundo natural. Desta forma, esse elemento do ciclo lida com o objetivo do “aprender a fazer Ciências” da alfabetização científica (*ibid.*, 2017c).

3.2.3 Investigação

A fase de investigação pode ser determinada como o processo de planeamento para “coleta e análise de dados com base no projeto experimental ou de exploração” para responder à pergunta de investigação (PEDASTE *et al.*, 2015, p.54, tradução nossa).

De acordo com Pedaste e colaboradores, a investigação é dividida em exploração e experimentação, que “dizem respeito à dicotomia indutiva e dedutiva do raciocínio científico” (*ibid.*, 2015, p.52, tradução nossa). Segundo esses pesquisadores, “na exploração os alunos fazem descobertas relacionadas às suas questões, sem hipóteses claras em mente”, e na experimentação os discentes “coletam evidências sobre uma hipótese” (*ibid.*, 2015, p.52, tradução nossa).

Scarpa (2017c) ainda salienta outros aspectos que podem servir como distinção entre as subfases de exploração e a experimentação. Segundo ela, para responder às perguntas exploratórias, pode ser usada diversas estratégias didáticas na coleta de dados e informações, como: a observação dos seres vivos, imagens, vídeos, leituras de mapas, textos, tabelas, gráficos ou esquemas, jogos, simulações, entre outros. Essa pesquisadora ainda argumenta que:

A utilização de diversas estratégias didáticas na perspectiva do ensino por investigação pode contribuir para o desenvolvimento de visões mais adequadas sobre as diversas formas de produção de conhecimento científico, além de contemplar diversos perfis de alunos e estilos de ensinar (Scarpa; Silva, 2013 *apud* SCARPA; CAMPOS, 2018, p.30).

Por outro lado, a experimentação, está mais amarrada e relacionada ao teste das hipóteses. Scarpa (2017c), ressalta que experimentos, que também são conhecidos como teste de controle de variáveis ou teste de hipóteses, podem ser definidos como “formas controladas de testar e manipular objetos de interesse, enquanto outros fatores são mantidos constantes”. A partir dessa definição compreende-se a importância do planeamento na experimentação. Essa autora também esclarece que os ciclos que envolvem experimentação, não precisam ocorrer necessariamente através de aulas práticas, dado que, o professor pode propor uma atividade em que discute a simulação de um experimento e traz os dados para que os alunos interpretem os resultados (*ibid.*, 2017c).

É possível afirmar que, tanto a exploração quanto a experimentação têm um objetivo em comum — a interpretação dos resultados. Em outras palavras, depois da investigação os alunos têm que examinar os dados obtidos, devendo mobilizar e articular conceitos para explicá-los, favorecendo a construção de novos conhecimentos nesse processo. Desta maneira, o ensino dos

conceitos está a favor da compreensão dos dados, se opondo ao ensino tradicional com atividades confirmatórias, já que nas atividades investigativas os próprios alunos podem construir os conceitos (*ibid.*, 2017c).

Para ocorrer a interpretação dos resultados, os discentes devem registrar, organizar e sistematizar as informações coletadas. Desta forma, podem fazer a interpretação, análise e avaliação de dados, para obter as informações que respondem à questão de investigação (*ibid.*, 2017c). No trabalho de Scarpa e Campos (2018), fica clara a importância da organização dos dados por meio da construção e/ou elaboração de tabelas e gráficos. Essas autoras reforçam que esse tipo de tarefa, pode mostrar aos educandos a relevância da quantificação e da linguagem matemática para as ciências.

Pedaste e sua equipe (2015), ainda ressaltam que a exploração e a experimentação necessitam de planejamento. Assim, se uma atividade “requer a utilização de equipamentos ou materiais específicos, a escolha deles faz parte do projeto desenvolvido pelos discentes” (*ibid.*, p.55, 2015, tradução nossa). Eles ainda apontam que “no planejamento do experimento devem ser definidas as variáveis que devem ser mantidas constantes ou alteradas na condução de um experimento” (*ibid.*, p.55, 2015, tradução nossa). Essa etapa é especialmente importante nas atividades do produto que envolvem a produção do vídeo de animação quadro-a-quadro e o uso do simulador virtual.

Segundo Pedaste, “o resultado final da fase de investigação é uma interpretação dos dados (uma formulação das relações entre as variáveis) que permitirá retornar à questão ou hipótese original da pesquisa e tirar uma conclusão sobre o que foi perguntado ou hipotetizado” (*ibid.*, p.55, 2015, tradução nossa). Assim, para resumir essa etapa, podemos dizer que a fase de investigação promove uma busca ativa por procedimentos para obtenção dos dados, além de ajudar a desenvolver habilidades de raciocínio lógico dos estudantes. Para Scarpa (2017c), a observação e a busca por procedimentos para o teste de hipótese são um processo criativo e rigoroso da ciência, e que para ele acontecer é necessária à liberdade intelectual e autonomia dos estudantes (um dos pilares do consenso construtivista).

3.2.4 Conclusão

De acordo com Pedaste, é nesta fase que são apresentadas as conclusões básicas do estudo, pois nela “os alunos abordam suas perguntas ou hipóteses de pesquisa e consideram se elas são respondidas ou apoiadas pelos resultados do estudo” (PEDASTE *et al.*, 2015, p.55, tradução nossa). Em outras palavras, o aprendente deve verificar se os resultados da

aprendizagem baseada em investigação respondem às questões pesquisadas. Assim, Scarpa destaca que ela envolve a comparação dos dados e conceitos aprendidos com as hipóteses e conhecimentos prévios formulados na fase de conceitualização (SCARPA, 2017d).

Ressalta-se que o processo de elaboração de conclusões ocorre a partir da interpretação de informações, conhecimentos, conceitos e de dados coletados ao longo das outras etapas do ciclo, para responder à questão de investigação. Nesse momento, o aluno articula e mobiliza ideias para construção de uma explicação embasada em evidências (SCARPA, 2017c).

Ressaltando a importância das evidências, destaca-se que o aluno deve fazer a seleção dos dados relevantes para elaboração da explicação. Assim, precisa ficar claro para o discente que nem tudo que foi coletado fornece evidência para sustentar ou eliminar uma hipótese. Em outros termos, as evidências seriam apenas os dados que confirmam ou refutam a hipótese testada. São as evidências que irão ajudar na criação das explicações e conclusões, ou seja, elas servem como justificativa para o que está sendo dito pelos alunos (SCARPA, 2017d).

Segundo essa pesquisadora (2017d), podemos usar perguntas para auxiliar os alunos na construção das conclusões, como as destacadas a seguir:

1. *Como você explica os resultados baseado no que foi aprendido?*
2. *Como os conhecimentos prévios e científicos ajudam a justificar essas explicações?*
3. *A explicação proposta ajudou a responder à questão de investigação ou a solucionar o problema encontrado?*
4. *A explicação sustenta suas ideias e/ou hipóteses iniciais? Como você as reformularia?*

O trabalho de Scarpa e Campos (2018), ainda traz outras contribuições acerca do tema. Para elas, as evidências articuladas com os conhecimentos científicos e com os conhecimentos prévios levam a elaboração de conclusões, num processo conhecido como argumentação. Assim, essas pesquisadoras apontam que a elaboração de conclusões ajuda no desenvolvimento de várias habilidades, como o raciocínio argumentativo presente em diversas esferas da sociedade, auxiliando na formação de um cidadão crítico. Desta forma, essa etapa do ciclo mostra aos alunos que a argumentação é um pilar para construção do conhecimento científico. Scarpa e Campos (2018) ainda discutem como o desenvolvimento de atividades argumentativas fomentam o eixo “saber fazer ciência”:

A vivência pelos estudantes em situações em que tenham a oportunidade de desenvolver esse tipo de raciocínio é fundamental na educação científica de forma a possibilitar a compreensão das formas como a ciência funciona (contemplando especialmente o segundo eixo da Alfabetização Científica), ao mesmo tempo que contribui com a formação crítica dos estudantes, empoderando-os com ferramentas

cognitivas para tomar decisões embasadas ou avaliar afirmações no seu cotidiano. (SCARPA; CAMPOS, 2018, p. 32).

3.2.5 Discussão

Apesar desta ser a última etapa a ser abordada sobre essa metodologia, ela não é o encerramento do ciclo. A discussão está potencialmente presente em todos os pontos durante a aprendizagem, pois pode ocorrer a qualquer momento da atividade investigativa (PEDASTE *et al.*, 2015, tradução nossa).

A discussão é composta pela reflexão sobre as observações e resultados, e pela comunicação dos achados relevantes, assim nela os alunos apresentam suas descobertas. Em outras palavras, se refere ao processo de apresentação dos resultados obtidos em uma das fases ou em todo o processo investigativo. Scarpa (2017d) chama atenção para três aspectos relevantes nessa fase: o trabalho em grupo, a comunicação e a reflexão dos estudantes sobre o processo.

Em relação aos trabalhos em grupo, Pedaste (2015), salienta que “a discussão entre os alunos torna-se mais aparente quando as tarefas exigem colaboração” (*ibid.*, 2015, p.53, tradução nossa). Scarpa (2017b), completa esse cenário ao lembrar que no ensino construtivista o conhecimento é produzido na socialização de saberes entre os pares.

Já a comunicação pode ser resumida como o processo de discussão entre o aluno e seus colegas ou professor, e a reflexão como uma discussão interna do aluno (*ibid.*, 2015, tradução nossa).

Ao detalhar a comunicação, Pedaste e colaboradores (2015), enfatizam que ela é “um processo externo onde os alunos apresentam e comunicam suas descobertas e conclusões aos outros, e recebem feedback e comentários e articulam seus próprios entendimentos” (*ibid.*, 2015, p.55, tradução nossa).

Ao pormenorizar a reflexão, Pedaste e sua equipe, separam-na em duas possibilidades: reflexão-na-ação e reflexão sobre a ação. Na primeira os discentes avaliam seu processo de estudo enquanto ainda estão realizando a atividade, e na segunda isso ocorre após completarem todo o ciclo de investigação (*ibid.*, 2015 p.57, tradução nossa). Assim, ambas servem como forma de tomar ciência do desenvolvimento do ensino-aprendizagem, por isso, para Pedaste, a “discussão pode ser vista como um apoio à metacognição ou processos reguladores de aprendizagem por investigação” (*ibid.*, 2015 p.57, tradução nossa). Para Scarpa (2017d), isso auxilia os estudantes a verificarem o que estão aprendendo e como estão aprendendo, numa ação que guarda relação com algo feito na ciência — a avaliação entre os pares.

Como a reflexão pode ocorrer sobre qualquer coisa na mente do aluno, ela pode gerar a proposição de outros problemas para um novo ciclo de investigação, quando os discentes avaliam o sucesso do processo investigativo. Além disso, os estudantes também podem pensar em sugestões de como a aprendizagem por investigação pode ser aprimorada, expressando opiniões sobre o que mudariam. Pedaste exemplifica algumas perguntas que podem ser usadas com esse objetivo: “*O que fiz?*”, “*Por que fiz isso?*”, “*Fiz bem?*”, e “*Quais são as possibilidades em uma situação semelhante?*” (*ibid.*, 2015 p.55, tradução nossa).

A partir da última pergunta proposta por Pedaste, outro ponto relevante surge — a aplicação do que foi aprendido. Os discentes podem usar esse momento para pensar se os resultados e conclusões servem em outros contextos e se seria possível fazer generalizações. Para Scarpa (2017d) é importante que o aluno compreenda a aplicação do conhecimento, trabalhando-o em outros contextos, assim parte do que foi estudado pode dar origem a outros ciclos de investigação.

Baseado em tudo que foi exposto sobre a metodologia, defende-se o uso do Ciclo Investigativo neste trabalho a partir de um ponto de vista pedagógico. Sabendo que a ciência depende de etapas menores e logicamente conectadas na construção do saber, o ciclo seria capaz de orientar os alunos, chamando a atenção para uma importante característica da criação do conhecimento. Assim, o Ciclo Investigativo pode se aproximar do complexo processo de produção do conhecimento científico.

Pedaste e colaboradores (2015), também sustentam haver relatos na literatura da eficácia e aplicação bem-sucedida de atividades baseadas nos ciclos de investigação, tanto em sala de aula como em ambientes virtuais de aprendizagem, reforçando a escolha dessa metodologia para o desenvolvimento do produto desta pesquisa.

Assim, a fundamentação do produto pautado em ciclos investigativos visou facilitar a produção de um material pautado no ensino por investigação e no protagonismo discente, adequando o produto às propostas de trabalho do PROFBIO.

3.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS PERGUNTAS INVESTIGATIVAS PRESENTES NO PRODUTO

A avaliar as perguntas investigativas presentes no livro eletrônico é uma etapa relevante de análise e reflexão sobre o produto, pois essas perguntas funcionam como ferramentas que conduzirão o ensino por investigação, além de ajudar o professor no processo de mediação em sala. É possível categorizar as perguntas presentes nos guias do livro eletrônico “Fotossíntese

em Ação” a partir do trabalho de Machado e Sasseron (2012).

Esses autores criaram quatro categorias, como instrumento analítico, para classificar as perguntas feitas por professores em aulas investigativas. Eles compreendem que as perguntas “devem conter em si intenções claras de exploração da investigação, de relação com as etapas de investigação em curso e com os propósitos didáticos insurgentes no planejamento da aula” (MACHADO; SASSERON, 2012, p.42).

A primeira categoria criada por eles é formada por “Perguntas de problematização”, relacionadas ao “momento anterior à investigação, no qual se especula sobre os conhecimentos prévios e se constitui o problema”. A segunda agrupa “Perguntas sobre dados”, que “expõem a seleção de dados, eliminação de variáveis, acurácia em medidas” ou melhoram os conhecimentos dos fatores relevantes ao problema. A terceira se refere as “Perguntas exploratórias”, que estimulam “os alunos a relacionar ideias com dados e observações, criando hipóteses, refutando e debatendo” ideias. E a quarta apresenta as “Perguntas de sistematização”, que verificam a apropriação dos conceitos aprendidos em forma de explicações e conclusões ou que questionam a aplicação dos conceitos compreendidos em outros contextos, prevendo explicações em situações diferentes da apresentada pelo problema (*ibid.*, 2012, p.42-43).

Assim, a partir dessas categorias criou-se um quadro para cada guia didático presente no livro “Fotossíntese em Ação” (ver Quadros 6, 8 e 10, mostrando a categorização das perguntas utilizadas nas atividades do produto).

3.4 ASPECTOS ÉTICOS DA PESQUISA

Este trabalho previa a validação do produto, mediante aplicação de material didático produzido, com alunos do 1º ano do Ensino Médio do Colégio Pedro II (CPII), *campus* Tijuca II. Em função disso, esta pesquisa foi submetida à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, da Universidade Federal (HUCFF) do Rio De Janeiro (UFRJ), obtendo aprovação em 03 de novembro de 2021 (Anexo A). No entanto, a aplicação não foi realizada devido à Portaria nº 94/2021 do Colégio Pedro II (Anexo B), que determina a suspensão temporária das atividades de pesquisa envolvendo alunos da Educação Básica, devido ao período pandêmico.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção está dividida em duas partes: exposição da análise dos livros didáticos e apresentação do produto.

4.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA DOS LIVROS DIDÁTICOS

Após a análise do sumário das sete coleções didáticas, do objeto 2, do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) 2021, foram selecionados sete livros (Quadro 2). O quadro apresenta o nome das obras, da coleção, editora, além da unidade ou capítulo que tratam da fotossíntese e os conteúdos abordados.

Quadro 2: Resumo dos livros didáticos de Ciências da Natureza do PNLD 2021

Subtítulo do livro	Coleção	Editora	Tema da unidade e / ou capítulo	Conteúdos
Energia e consumo sustentável	Ciências Da Natureza – Lopes & Rosso	Moderna	Energia e vida/ Metabolismo energético	<ul style="list-style-type: none"> • Fotossíntese oxigena • Luz e pigmentos • As etapas da fotossíntese
Matéria e energia	Conexões: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	Reciclagem e transformação de matéria e energia nos seres vivos	<ul style="list-style-type: none"> • Como os organismos autótrofos obtêm energia? • Fotossíntese Interligações – os pigmentos
Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia	Diálogo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	Sol / O sol e a vida na terra	• Fotossíntese
			Trocas de energia / A energia e os sistemas ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Seres vivos como transformadores de energia • Processos energéticos nos seres vivo – fotossíntese
Matéria e energia	Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Moderna	Metabolismo energético	<ul style="list-style-type: none"> • Energia para a vida Fotossíntese • Ciclo das pentoses e a síntese de glicídios
Matéria, energia e a vida	Multiversos: Ciências Da Natureza	Editora FTD	Transformações da matéria e da energia - Reações químicas e metabolismo / Metabolismo celular	<ul style="list-style-type: none"> • Processos energéticos celulares • Fotossíntese • Os cloroplastos • As etapas da fotossíntese
Matéria e transformações	Ser Protagonista: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Edições SM	Reações de oxirredução e metabolismo celular/ Metabolismo celular	<ul style="list-style-type: none"> • Fotossíntese • As etapas da fotossíntese • Joseph Priestley e a fotossíntese
Ambiente e ser humano	Ser Protagonista: Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Edições SM	Ambientes naturais/ Energia matéria nos ecossistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Fotossíntese

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre a amostra analisada quatro livros são da editora Moderna, dois livros da mesma

coleção da editora SM e apenas um da editora Edições FTD (Figura 9). As obras da coleção da editora Scipione não foram avaliadas, visto que, conforme o critério estabelecido para seleção dos livros analisados, não apresentaram seção ou unidade temática que tratasse sobre fotossíntese.

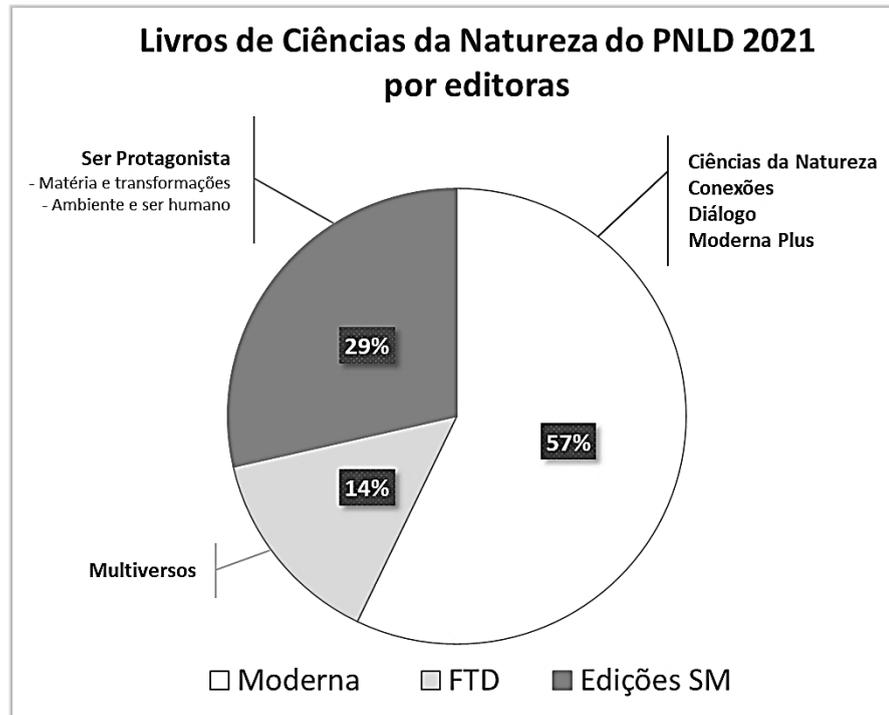


Figura 9: Porcentagem de livros de Ciências da Natureza do PNLD 2021 por editora. A Moderna foi responsável por quatro coleções, com um livro analisado em cada uma delas: “Ciências da Natureza – Lopes & Rosso: Energia e consumo sustentável”, “Conexões – Matéria e energia”, “Diálogo – Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia” e “Moderna Plus – Matéria e energia”. A Edições SM, encarregada do livro “Ser protagonista”, teve dois livros analisados da mesma coleção: “Matéria e transformações” e “Ambiente e ser humano”. A FTP foi representada com o livro “Multiversos – Matéria, energia e vida”. Fonte: Elaborado pela autora.

Pela observação da unidade e/ou capítulos e dos conteúdos dos livros selecionados eles foram categorizados em dois grupos a partir da abordagem dada a fotossíntese, a saber: 1 - bioquímica — apresentando a fotossíntese pela perspectiva do metabolismo energético dos seres vivos; e 2 – ecossistêmica — que trata a fotossíntese pelo viés do fluxo de energia nos ecossistemas e nos organismos (Figura 10).

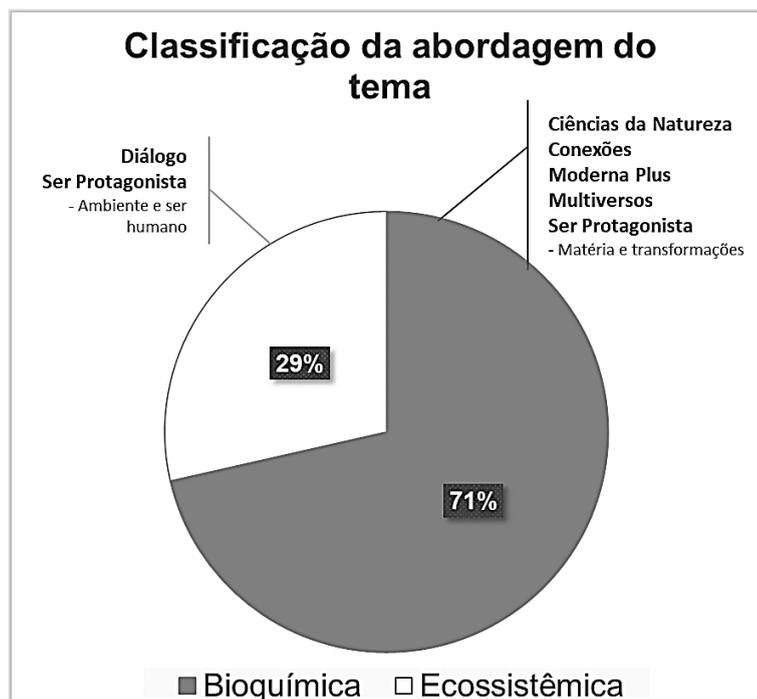


Figura 10: Abordagem do tema fotossíntese nas obras didáticas do PNL D 2021. Fonte: Elaborado pela autora.

A abordagem bioquímica predominou, nas coleções “Ciências da Natureza”, “Conexões”, “Moderna Plus”, “Multiversos” e “Ser protagonista - Matéria e transformações”, compondo 71% da amostra analisada. Já a abordagem ecossistêmica foi privilegiada em apenas 29% da amostra. Na coleção “Diálogo” tratou-se das trocas de energia nos sistemas ecológicos, mostrando os seres vivos como transformadores de energia; e a “Ser protagonista - Ambiente e ser humano” apresentou o tema a partir do estudo dos ambientes naturais, abordando a energia e a matéria nos ecossistemas, além de outros temas correlatos à ecologia como: relações tróficas nos ecossistemas; biomassa e produtividade; e pirâmides tróficas.

Com suporte desses dados buscou-se, no produto desta pesquisa, como alternativa à dicotomia entre o viés bioquímico e ecossistêmico, o uso de textos com perspectiva CTSA de ensino. Essa estratégia tinha o objetivo de proporcionar atividades que auxiliassem na integração de conteúdos científicos, mais comuns nos livros didáticos, com o emprego desse conhecimento no desenvolvimento de tecnologias. Buscou-se relacionar a equação geral, reações químicas e etapas da fotossíntese, com o desenvolvimento de novas tecnologias e impactos sociais e ambientais. Essa estratégia visou contribuir com a construção de uma visão mais ampla da importância da fotossíntese, para além de sua relevância ecológica e bioquímica, tradicionalmente tratadas nos livros. Conforme as resenhas presentes no Guia Digital do PNL D 2021 de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, apenas duas coleções — “Diálogos” e “Conexões” — apresentam em suas bases teórico-metodológicas a abordagem CTSA

(BRASIL, 2021), reforçando o diferencial do livro eletrônico produzido nesta pesquisa.

Dos livros selecionados, apenas 43% das obras abordam conteúdos relacionados à História da Ciência sobre fotossíntese (“Moderna Plus”, “Ser Protagonista - Matérias e transformações” e “Ser Protagonista - Ambiente e ser humano”) (Figura 11). Esses livros se diferenciam, em relação ao destaque que cada um faz à História da Ciência, visto que apenas a obra “Ser Protagonista - Matérias e transformações” refere-se a ela em seu sumário com o *box* “Ciência tem História”, que possui duas páginas que tratam sobre Joseph Priestley e a fotossíntese, em comparação com as outras obras que dão menor destaque. De acordo com informações presentes no Guia de livros didáticos de Biologia PNLD 2018, apenas 30% das coleções tratavam sobre História da Ciência de uma forma geral (BRASIL, 2017b). Portanto, podemos perceber um avanço em direção à uma abordagem da Biologia historicamente contextualizada nos livros didáticos (BRASIL, 2017b). Neste cenário, o produto dessa pesquisa pretende contribuir nesse sentido.

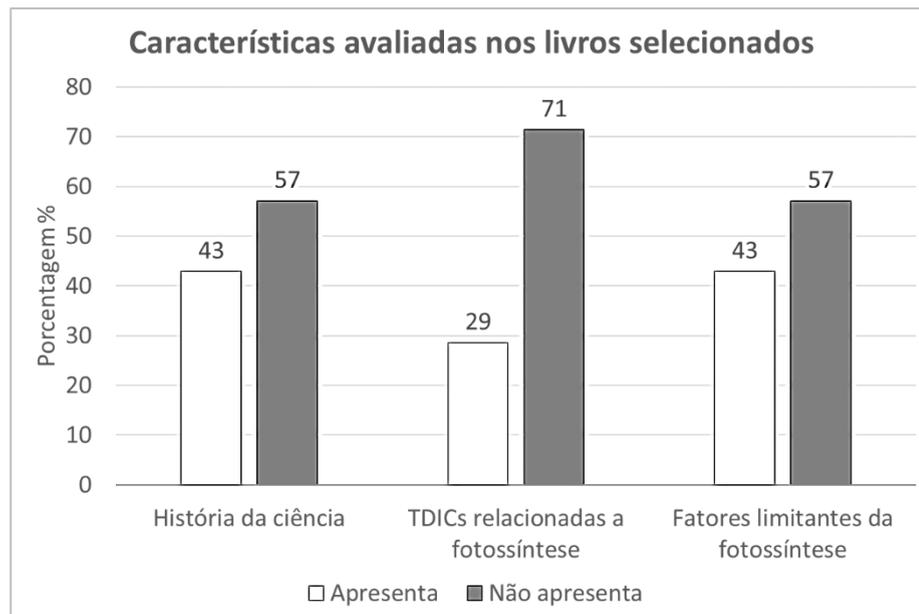


Figura 11: Características avaliadas nos volumes selecionados. Três livros (“Conexões”, “Moderna Plus” e “Ser Protagonista”) abordavam de alguma forma o conteúdo através da História da Ciência. Apresentavam os fatores limitantes da fotossíntese (“Conexões”, “Diálogos” e “Ser Protagonista”). Apenas dois livros (“Moderna Plus” e “Ser Protagonista”), correspondendo a 33% do total, apresentaram algum tipo de TDICs. Fonte: Elaborado pela autora.

Outro dado relevante é que somente 29% dos livros (Moderna Plus e Ser Protagonista) tinham propostas de atividades que usassem Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) (Figura 11). Isso contrasta com as proposições presentes na BNCC, que incentiva a utilização de diferentes mídias e TDICs. Esse dado reforça a escolha da produção de vídeos por animação e também do uso de simuladores virtuais. O uso do simulador também

se justifica por ajudar a trabalhar os fatores limitantes da fotossíntese. O conteúdo sobre fatores limitantes estava presente em apenas 43% das obras analisadas, assim acreditamos que o simulador é um diferencial do material didático proposto neste projeto.

Como um possível indicativo da relevância dada à fotossíntese nos livros didáticos, buscou-se mensurar a área destinada ao assunto em cada obra (Figura 12). Todos os livros, por padrão, possuíam 160 páginas, com dimensões de 563,75 cm² de área. Os resultados revelaram que cada obra dedicou 2,7% em média (linha pontilhada no gráfico) desse espaço para tratar da fotossíntese. A “Multiversos” utilizou apenas duas páginas e meia, equivalente à 1,6% da área total do livro. Enquanto, a “Ser Protagonista” dedicou 7 e 3,5 páginas, correspondendo à 4,4% e 2,0%, em dois volumes de uma mesma coleção. Já os livros da editora Moderna apresentavam em torno de quatro páginas e meia, ficando muito próximo da média de 2,7%.

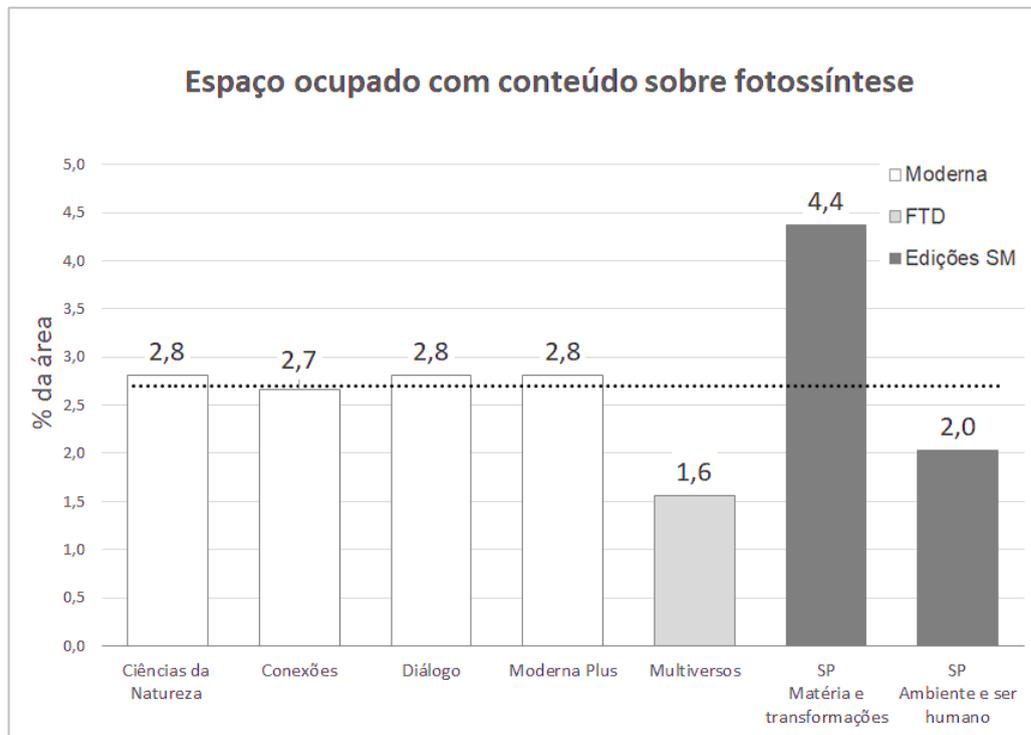


Figura 12: Espaço dedicado ao tema “fotossíntese” nos volumes analisados. As coleções utilizaram em média 2,7% de sua área para tratar sobre fotossíntese (linha pontilhada). Já a coleção “Multiversos”, dedicou apenas 1,6%, enquanto a Ser Protagonista (SP) dedicou um espaço maior que as outras coleções. Fonte: Elaborado pela autora.

Aprofundando um pouco mais sobre as páginas com conteúdo sobre fotossíntese nos livros analisados, eles dedicaram em média 24,3% desse espaço dedicado ao tema para figuras (linha pontilhada). A obra “Ciências da Natureza – Lopes & Rosso” usou 39,2% da área dedicada à fotossíntese com imagens, enquanto o “Ser Protagonista - Ambiente e ser humano” usou apenas 14,5% desse espaço (Figura 13).

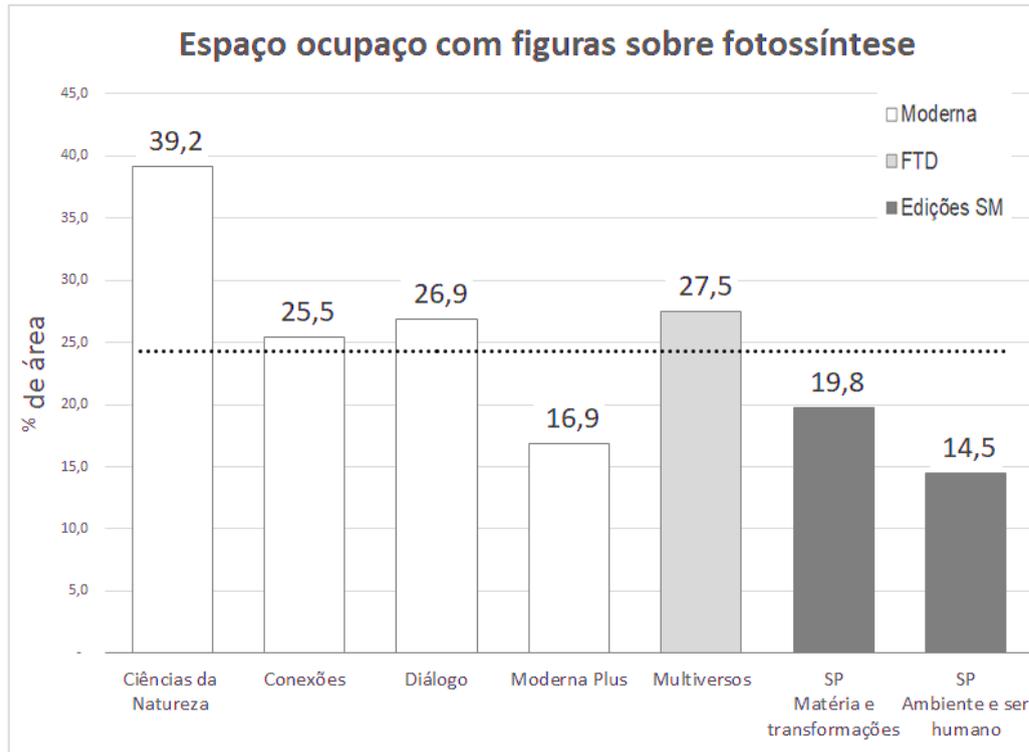


Figura 13: Área dedicada a imagens nas páginas com conteúdo sobre fotossíntese. As coleções utilizadas em média 24,3% do espaço com figuras (linha pontilhada). Os dados revelam que o livro “Ciências da natureza” utilizou 39,2% do espaço das páginas com conteúdo sobre fotossíntese com imagens e esquemas. O livro da coleção “Multiversos” também dedicou um grande espaço, dado que, apresenta apenas duas páginas e meia com conteúdo de fotossíntese e utilizou 27,3% desse espaço com imagens. Fonte: Elaborado pela autora.

Retomando a questão tratada anteriormente sobre o esvaziamento do conteúdo nos livros didáticos, se atentarmos para o fato que o espaço das obras é limitado, chama a atenção o caso da coleção “Multiversos” que apesar de ter apenas duas páginas e meia sobre fotossíntese, ocupou 19,8% dessa área com figuras. Uma exibe com grande destaque o ramo de uma planta e ilustra de maneira ampliada os tecidos foliares, apontando para uma célula para mostrar a estrutura do cloroplasto. De acordo com Mayer (*apud* COUTINHO *et al.*, 2010), esse tipo de imagem pode ser enquadrada como decorativa (ramo) e representacional (estrutura do cloroplasto), compondo elementos sem grande valor didático. Já a outra é um esquema das etapas fotoquímica e química da fotossíntese no cloroplasto (Figura 14), que teria caráter organizacional, por mostrar as relações entre elementos, e explicativas por esclarecer como esse sistema funciona, se tratando, portanto, de uma imagem com valor pedagógico conforme a classificação de Mayer (*apud* COUTINHO *et al.*, 2010).

Outro critério avaliado em relação às imagens foi a facilidade de compreensão das mesmas, pois muitas obras trazem esquemas que dificultam o entendimento dos estudantes. Por exemplo, a imagem a seguir, não mostra a participação da luz no processo, e nem as moléculas que fazem a interligação entre as duas etapas da fotossíntese (Figura 14).

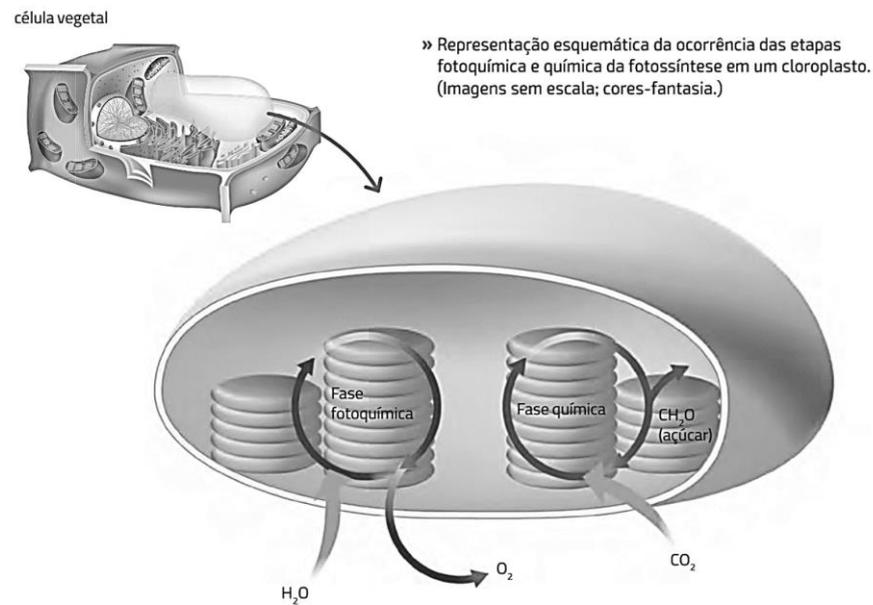


Figura 14: Imagem extraída de *Multiversos: Ciências da Natureza: Matéria, Energia e a Vida* (GODOY, 2020, p.108).

Segundo Piccinini e Martins (*apud* COUTINHO *et al.*, 2010) as imagens apresentam “valor cognitivo e cumprem importantes funções mediadoras na apropriação da linguagem da ciência escolar pelo aluno, e mesmo para o professor” (p.3). Desta maneira Coutinho e colaboradores (2010), apontam a importância da análise das imagens nos livros didáticos. De acordo com Costa, Chaves e Coutinho (2010), em seu trabalho sobre aspectos que podem dificultar a aprendizagem nas imagens de fotossíntese em livros didáticos de biologia, eles afirmam que durante o ensino da fotossíntese “a simplificação ou exclusão de alguma etapa pode prejudicar a compreensão do processo, ou seja, neste caso, modificar ou omitir o conteúdo da informação implica em prejuízo na aprendizagem” (p.609). A luz dessa percepção, infere-se que a Figura 14, extraída da coleção “*Multiversos: Ciências da Natureza: matéria, energia e a vida*”, pode levar os estudantes a falsa impressão de que as etapas fotoquímicas e químicas não estão diretamente relacionadas, sendo capaz assim de potencialmente contribuir para uma compreensão equivocada acerca desse processo.

Em relação ao conteúdo textual das amostras elaborou-se uma nuvem de palavras para cada obra (ver metodologia). Ao analisar as nuvens de palavras produzidas, observam-se similaridades, com o grande destaque para a palavra energia em quase todas elas (Figura 15).



(a) Diálogo



(b) Ser Protagonista - Ambiente e ser humano



(a) Ciências da Natureza



(b) Conexões



(c) Moderna Plus



(d) Multiverso



(e) Ser Protagonista - Matéria e transformações

Figura 15: Nuvens produzidas com as listas de palavras extraídas dos livros de Ciências da Natureza (PNLD (2021) utilizando o programa AntConc. O tamanho de cada palavra mostra a relevância delas no livro, a partir da frequência do vocábulo no texto analisado. Nas amostras percebe-se a predominância e relevância da palavra energia. Fonte: Elaborado pela autora.

As nuvens também corroboram a categorização das obras com viés bioquímico e ecossistêmico. Nas coleções “Ciências da Natureza” (Fig. 15a), “Conexões” (Fig. 15b), “Moderna Plus” (Fig. 15c) e “Multiversos” (Fig. 15d), prevalecem o foco bioquímico do

processo fotossintético, com a presença de palavras que remetem as reações químicas e os elementos que dela participam (ATP, elétrons, fotossistema, clorofila, moléculas, pigmentos, H^+ , reações químicas, ciclo das pentoses, etc.). No livro “Ser protagonista”, no volume “Matéria e transformações”, segue a predominância do caráter bioquímico em seu conteúdo (fig. 15e).

Já no livro “Diálogo” (Fig. 16a) vemos palavras como vida, plantas e seres vivos que remetem ao viés mais ecossistêmico. No livro “Ser protagonista - Ambiente e ser humano” (Fig. 16b), o foco é maior sobre os fatores ambientais relacionados com a fotossíntese, com predominância de palavras como: intensidade luminosa, concentração de CO_2 e cores.



Figura 16: Nuvens de palavras dos livros de Ciências da Natureza (PNLD (2021) com predominância do viés ecossistêmico (a) e ambiental (b). Fonte: Elaborado pela autora.

Não foram encontrados estudos similares a este na literatura, ao se procurar pelos termos “fotossíntese”, “livros didáticos” e “PNLD” através do buscador Google Acadêmico, para aprofundar o diálogo com outros autores. Encontraram-se apenas estudos que tratavam de aspectos mais gerais das alterações no conteúdo de Biologia nas coleções do último PNLD (LEAL, 2021), ou pesquisas que envolveram o tema em PNLDs passados, que não permitem comparações devido às modificações promovidas pela BNCC nas coleções atuais. Podemos citar o trabalho de Paiva, Santiago e Lima (2021), que realizaram a análise do tema fotossíntese em três livros didáticos (PNLD 2018) adotados em escolas públicas estaduais no Ceará; a pesquisa de Lemos e Justina (2021), que analisou o tema em oito livros lançados entre 1990 e 2013 presentes na biblioteca do Laboratório de Ensino de Biologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Unioeste; o estudo de Nascimento (2021), sobre duas obras didáticas (PNLD 2018), para ajudar na fundamentação da produção de uma sequência de ensino investigativa interdisciplinar sobre fotossíntese e também para propiciar um parâmetro de comparação com o material elaborado; a pesquisa de Cordeiro (2015), que realizou a análise da fotossíntese, em três coleções didáticas (PNLD 2015), servindo de referência para o

planejamento, elaboração e produção de um jogo didático do tipo ludo; o levantamento de Santos (2014), que avaliou a fotossíntese em livros adotados em três escolas públicas na Paraíba (não faz menção ao PNL D); e o trabalho de Pires e colaboradores (2013) sobre a equação geral da fotossíntese em vinte obras didáticas, incluindo coleções do ensino fundamental, médio e da educação superior. Também foram realizadas buscas com os termos “fotossíntese”, “livros didáticos” e “nuvens de palavras” sem sucesso nas buscas.

Finalizando essa seção, destaca-se que a análise nesta pesquisa não se situa na perspectiva de criticar os livros didáticos apreciados, mas sim, subsidiar elementos para elaboração do produto dessa pesquisa e refletir sobre a necessidade de discussão do formato utilizado para apresentação dos conteúdos. Portanto, a partir dos dados levantados, ressalta-se como elementos que poderiam ser aprimorados:

1. Ampliação do leque de abordagem da fotossíntese para além do viés bioquímico ou ecossistêmico;
2. Uso da História da Ciência como elemento para que o aluno construa o seu conhecimento e contribua para a alfabetização científica;
3. Propostas de utilização de variadas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs).
4. Atividade prática para trabalhar o conteúdo sobre fatores limitantes da fotossíntese.

Esses pontos destacados foram considerados na elaboração do livro eletrônico, que será abordado na seção a seguir.

4.2 PRODUTO

Nesta seção serão apresentadas a análise e discussão sobre o produto didático elaborado. Ela está dividida em três partes: a primeira dedicada à apresentação geral do livro eletrônico; a segunda para discorrer sobre a parte teórica do *e-book*, e a terceira e última parte para tratar sobre as atividades didáticas presentes na obra.

4.2.1 Apresentação geral do produto

O produto desta pesquisa é um livro eletrônico (ver apêndice A) intitulado “Fotossíntese em Ação” (Figura 17). O título foi inspirado na mudança de papel do aluno no ensino investigativo, que passa a ser um ator ativo na experiência didática, como preconizado nos trabalhos de Alves e Bego (2020); Carvalho (2018); Scarpa e Campos (2018); e Solino e

colaboradores (2015).



Figura 17: Capa do livro eletrônico “Fotossíntese em Ação” elaborado como produto didático fruto dessa pesquisa. Fonte: Elaborado pela autora.

A capa ainda apresenta o subtítulo “Um guia de atividades investigativas com estratégias diversificadas e perspectivas CTSA”. Conforme o Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa Michaelis *online*¹, o termo guia pode ser entendido como “livro, manual ou outra publicação com informações, conselhos ou dicas úteis sobre um determinado assunto”. Esse termo também pode ser compreendido como “uma publicação que pretende o ensino prático de algo”². No entanto, é a partir do significado do verbo guiar que se estabelece um vínculo com o objetivo geral deste trabalho de promover a difusão de práticas educacionais baseadas na abordagem investigativa. O verbo guiar³ significa acompanhar, mostrar o caminho; orientar, conduzir, ajudar, aconselhar, esclarecer (alguém) numa escolha de um modelo, de uma diretriz intelectual. Nesse sentido esse livro, além de oferecer atividades didáticas que podem ser facilmente aplicadas em sala de aula, fornece aos seus leitores uma base teórica-metodológica, que poderá auxiliar os professores a rever e/ou aprimorar as suas práticas, e servir de modelo e inspiração para que docentes adaptem ou criem suas próprias atividades por investigação.

Também optou-se por destacar na capa o uso das estratégias diversificadas. Foram

¹ Fonte: <https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=guia>. Acesso em: 07/07/2022.

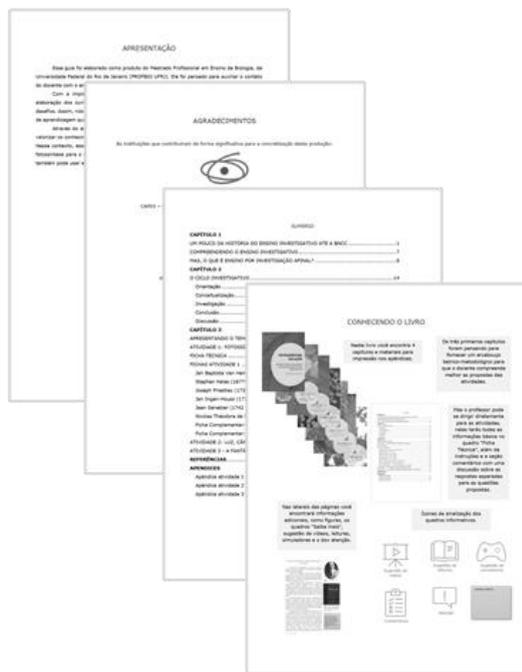
² Fonte: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. <https://dicionario.priberam.org/guiar>. Acesso em: 07/07/2022.

³ Fonte: Dicionário Houaiss online. Disponível em: https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol_www/v6-0/html/index.php#3. Acesso em: 07/07/2022.

utilizadas dez estratégias diferentes no planejamento das atividades investigativas que compõem a obra, que serão aprofundadas mais adiante.

O produto apresenta as seções de “Agradecimentos”, “Apresentação”, “Conhecendo o livro”, “Sumário”, quatro capítulos e os “Apêndice” com as atividades para impressão (Figura 18).

Elementos pré-textuais



Capas dos capítulos



Figura 18: Elementos pré-textuais e capa dos capítulos do livro “Fotossíntese em Ação”. O *e-book* é composto por elementos pré-textuais (“Agradecimentos”, Apresentação”, “Conhecendo livro” e “Sumário”), textuais (quatro capítulos onde são explicados os conteúdos teóricos-metodológicos e as atividades didáticas) e componentes pós-textuais (“Referências” e “Apêndice”). Fonte: Elaborado pela autora.

O *layout* do livro conta com a margem direita livre, onde foram adicionados quadros explicativos (Figura 19), de modo semelhante aos modelos utilizados em apostilas da Educação a Distância (EAD), como sugerido nos trabalhos de Basto e colaboradores (2010) e de Silva e Silva (2015).



Figura 19: Exemplo de *layout* utilizado no livro eletrônico “Fotossíntese em Ação” com a margem direita livre e quadros explicativos ocupando esse espaço. Fonte: Elaborado pela autora (p.104 - Apêndice A).

A escolha por esse *design* gráfico ocorreu por admitirmos que o produto dessa pesquisa guarda semelhanças com o papel desempenhado pelas apostilas de EAD, ao servir como fio condutor para utilização das atividades didáticas propostas, auxiliando na organização e desenvolvimento da dinâmica do ensino-aprendizagem dos professores e alunos, de forma análoga ao que ocorre na educação a distância (BASTOS *et al.*, 2010). Além disso, a produção do livro eletrônico, também contou com alguns princípios utilizados na elaboração de apostilas de EAD, como o estímulo da interação do leitor com o material produzido, como proposto por Basto e colaboradores (2010). Nesta perspectiva o livro “Fotossíntese em ação” pode ser visto como um espaço de aprendizagem, onde buscou-se dialogar com os docentes através do texto e dos quadros com informações adicionais, como a caixa “Saiba mais” e os *boxes* de sugestão de vídeos, de leituras, de simuladores e “Atenção”, sinalizados com ícones (Figura 20).



Figura 20: Ícones de sinalização das caixas/quadros presentes no corpo do texto e nas laterais do produto. Fonte: Elaborado pela autora.

Com a intenção de maximizar a interação do leitor com o livro eletrônico, os quadros com materiais complementares se enquadram como uma estratégia facilitadora do processo de construção do conhecimento do docente, além de promover a articulação com diferentes contextos, mídias e informações de outras fontes.

Materiais de outros autores foram ofertados no produto por concordarmos com Bastos e sua equipe (2010), que “o material didático não precisa conter todos os conteúdos e todas as possibilidades de aprofundamento da informação oferecida” (p.15). Em seu trabalho Filantro (2018) discute nessa mesma linha ao propor que a elaboração de produtos educacionais envolve tanto a autoria de conteúdos inéditos, com também pode envolver a curadoria de materiais de terceiros, como feito no livro “Fotossíntese em ação” ao incluir esses dois elementos.

Bastos e colaboradores (2010), ainda tratam sobre outro ponto relevante sobre essa questão, com o qual também concordamos, que na era digital há grande disponibilidade de informações de forma rápida e em muitos casos gratuita e de qualidade, que podem ampliar o leque de informações e conteúdos oferecidos ao leitor.

Neste sentido Filatro (2017), esclarece que “a palavra curadoria vem do latim *curare*, que significa “tomar conta de alguém” (p.47). Essa autora ainda reforça que a elaboração de conteúdos didáticos se refere ao ato de “pesquisar, descobrir, filtrar, contextualizar e disponibilizar, a um público definido, conteúdos em diferentes formatos” (*ibid.*, 2017, p.47). Assim, a partir do que foi discutido, reconhecemos que também realizou-se um trabalho de curadoria de materiais para o *e-book* produzido nesta pesquisa (Quadro 3), onde foram disponibilizados 19 *hiperlinks* interligando outros materiais externos ao livro eletrônico.

Esses materiais foram disponibilizados por compreendermos o grande desafio dos professores, com tempo escasso, para buscar informação e metodologias de qualidade. Além disso, nossa proposta no livro “Fotossíntese em Ação” estimula e orienta o professor/leitor na busca de conhecimentos, na resolução de problemas conforme a realidade em sua sala de aula, possibilitando, assim, o desenvolvimento de competências profissionais e a autonomia do docente, em consonância às ideias de Bastos e colaboradores (2010, p.15).

Quadro 3: Curadoria de materiais realizado no livro eletrônico “Fotossíntese em Ação”

Quadros/caixas explicativas	Página do e-book
Saiba mais - "livro azul" BCSC	1
Sugestão de vídeos - Mesa redonda sobre Ensino por investigação e metodologias ativas. Videoaula com Daniela Scarpa - “Por que Ensino de Ciências por Investigação?”	7
Sugestão de leituras - Metodologias por investigação (ciclo investigativos, Arco de Margueres e metodologia usada por Carvalho (2018)	15
Saiba mais - Definição de mapa conceitual	36
Sugestão de vídeo - Videoaula “ <i>Stop motion</i> com objetos”	53
Sugestão de leitura - Texto da Science sobre biocombustível	55
Sugestão de leitura - Livro “Movimento parado passo a passo: um guia para animação em stop motion”	59
Sugestão de vídeo - “Poluição plástica em números e imagens”	64
Sugestão de leitura - reportagem “Planeta Plástico”, “A ameaça dos microplásticos” e “Reutilizar, substituir, degradar”	64
Sugestão de Simuladores virtuais – Calculadora de “Pegada plástica”	65
Sugestão de vídeo - Usando estratégias de engenharia metabólica para melhorar cianobactérias fototróficas para a produção de bioplásticos sustentáveis e biodegradáveis” de Moritz Koch	66
Sugestão de Simuladores virtuais - indicação de três <i>websites</i> com simuladores virtuais gratuitos	67

Fonte: Elaborado pela autora.

Com essa concepção do papel dos materiais didáticos daremos continuidade, na próxima seção, tratando sobre o conteúdo dos capítulos um, dois e três, que dão o suporte teórico-metodológico para os docentes

4.2.2 Análise e discussão dos capítulos do produto

O livro eletrônico conta com quatro capítulos, compostos da seguinte forma: capítulo um - “Um pouco da história do ensino investigativo até a BNCC compreendendo o ensino investigativo”; capítulo dois - “Compreendendo o ensino investigativo”; capítulo três - “O Ciclo Investigativo”; e capítulo quatro - “As atividades didáticas”.

O primeiro capítulo contém um pequeno resumo histórico sobre a abordagem por investigação no ensino de Ciências. Esse conteúdo foi tratado apoiado em quatro elementos principais: 1 - contextualização histórica da época; 2 - a concepção sobre Ciências; 3 - o objetivo do ensino de Ciências vigente; e 4 - a abordagem didática desse ensino. Para facilitar a compreensão do leitor, esses tópicos foram resumidos e apresentados na forma de uma linha do tempo (Figura 21).

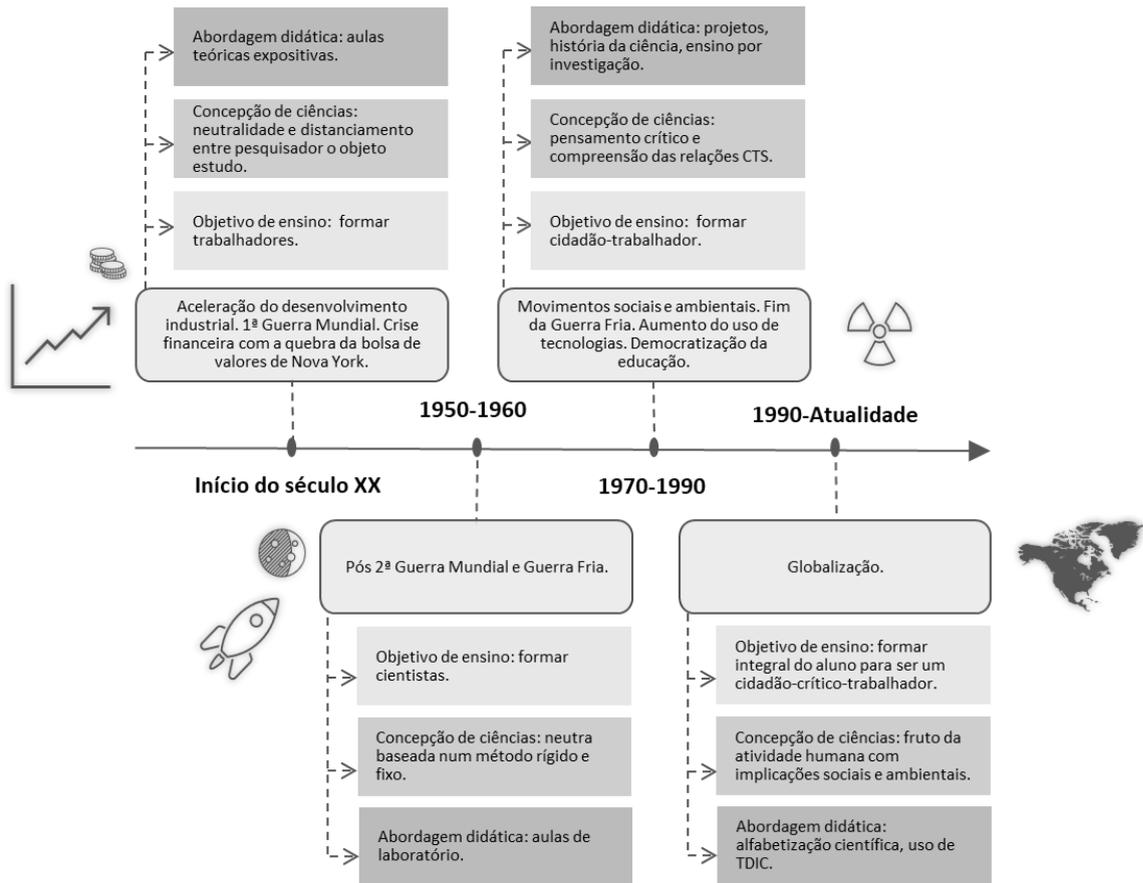


Figura 21: Linha do tempo sobre as mudanças no ensino de Ciências, presente na página 3 do livro eletrônico “Fotossíntese em Ação”. Fonte: Elaborada pela autora adaptado de Krasilchik (2000), presente na página 106 no Apêndice A).

Ainda no mesmo capítulo tratou-se dos pressupostos do ensino investigativo incorporados, ao longo do tempo, a documentos da educação brasileira — Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Já no segundo capítulo, em sua primeira parte, discutiu-se sobre a abordagem investigativa e sua concepção do processo de ensino-aprendizagem, que propõe mudanças no papel do professor e dos alunos. A segunda parte é dedicada a tratar os pressupostos do consenso construtivista, baseado no trabalho de Scarpa e Campos (2018), esclarecendo ao professor/leitor sobre a relevância da valorização das concepções prévias dos estudantes, da construção do saber por meio da interação do sujeito com o objeto, além das interações sociais na produção do conhecimento e autonomia de pensamento dos estudantes. E também apresentar as bases da alfabetização científica, a partir da discussão sobre os aspectos relacionados à “Aprender Ciências”, “Aprender a fazer Ciências” e “Aprender sobre Ciências”, como preconizado nos trabalhos das autoras citadas anteriormente e de Sasseron e Carvalho (2011). Esses dois pontos deram o arcabouço teórico-metodológico para o ensino por investigação usado no produto.

consumidores de conhecimentos; além de gestores da sua própria aprendizagem, que ao lerem esse conteúdo refletem sobre sua prática no processo educativo; e também podem ser co-autores ao propor adaptações e modificações para adequar as atividades do livro a sua realidade escolar, a partir deste aporte teórico.

A escolha de disponibilizar no produto, capítulos de domínio teórico e prático, ocorre devido à necessidade de constante atualização no trabalho docente, especialmente na era digital em que vivemos. Assim, o professor a todo momento precisa se adaptar e incorporar mudanças nos conteúdos, especialmente na disciplina de Biologia, por conta das descobertas do mundo científico e tecnológico. Esses profissionais também enfrentam os desafios pedagógicos de ensinar alunos influenciados pelo mundo digital, bombardeados por informações, que necessitam novas metodologias que estimulem o interesse e participação deles em sala de aula. Em vista disso e por outras razões, diversos autores defendem a formação continuada de professores (KRASILCHIK, 1987; CUNHA; KRASILCHIK, 2000; CARVALHO; GIL-PEREZ, 2011; CARVALHO; SASSERON, 2018).

Neste contexto, com o trabalho de Alvarado-Prada, Freita e Freitas (2010), podemos inferir que a formação continuada pode ser compreendida como “uma ferramenta que auxilia os educadores no processo de ensino-aprendizagem de seus alunos, e na busca de novos conhecimentos teórico-metodológicos para o desenvolvimento profissional e transformação de suas práticas pedagógicas” (*ibid.*, 2010, p.374). Nesse sentido o produto dessa pesquisa, voltado para os professores, se alinha com essa visão ao oferecer aos docentes conhecimentos teórico-metodológicos nos três primeiros capítulos; e disponibilizar exemplos práticos de atividades por investigação para serem desenvolvidas em sala de aula (ver capítulo 4 no Apêndice A).

Segundo Krasilchik (1987), há alguns fatores que aumentam o sucesso no processo de aperfeiçoamento de professores, como a existência de material de apoio adequado, bem como coerência e integração entre conteúdo-metodologia. Nesse sentido, de acordo com Cunha e Krasilchik (2000), “a fundamentação teórico/pedagógica não pode ser negligenciada, pois propostas transformadoras fundamentadas teoricamente exigem por parte do professor um domínio dessa fundamentação, entretanto ela deve vir aliada ao tratamento dos conteúdos” (*ibid.*, 2000, p.11). Esses dados da literatura reforçam positivamente a escolha de se produzir um material didático para os professores de Biologia nos moldes apresentados anteriormente.

Outros aspectos considerados na construção desses capítulos foram as dificuldades que os professores iniciantes, no uso da abordagem investigativa, podem se deparar quando tentam elaborar e/ou aplicar esse tipo de atividade pela primeira vez. Nesse sentido Scarpa (2017a), discute sobre as concepções equivocadas dos professores em relação ao ensino por investigação

e o receio que os docentes podem ter na gestão de aulas investigativas. Assim, esses dados da literatura se somam a minha vivência como professora do Ensino Básico, que na condição de aluna deste mestrado, me deparei com os desafios de compreender as bases do ensino investigativo, que demandam uma verdadeira reflexão e transformação do meu papel como professora e dos alunos em sala de aula. Além disso, também pude vivenciar os obstáculos relacionados à elaboração das questões/perguntas que os alunos irão investigar, e sentir a necessidade de superar o uso de perguntas desprovida de conceitos (SASSERON, 2014; MACHADO; SASSERON, 2014a), buscando gerar problemas que pudessem estimular nos alunos o raciocínio científico do tipo “se/então/portanto” (CARVALHO, 2013b). Dialogando nesse sentido Carvalho e Sasseron (2011) ressaltam que:

Um grande obstáculo para o desenvolvimento de tarefas que proporcionem discussões em sala de aula é a dificuldade do professor em organizá-las, desde a administração da gradativa adaptação dos alunos ao processo de ouvir os colegas, até o direcionamento de suas questões para uma sistematização de ideias, que leve a conclusões (*ibid.*, 2011, p.51).

Assim fica claro que precisamos superar a ideia de que a atividade docente é algo fácil (CARVALHO, 2018; GIL-PEREZ, 2011; CARVALHO; SASSERON, 2018), principalmente se tratando do domínio de uma prática pedagógica complexa como a abordagem investigativa (ALVES; BEGO, 2020). Essa mudança de paradigma, segundo Carvalho e Sasseron (2018), é difícil e deve considerar que o professor também conheça os “conteúdos de Didática e Pedagogia, de modo a poder planejar e implementar propostas para o ensino de conhecimentos científicos” (p.43), além de dominar os conceitos e conteúdos das disciplinas que lecionam.

Nesse sentido, a parte teórica do produto refletiu os meus anseios e busca ao longo do mestrado por conhecer os referenciais teóricos sobre o ensino por investigação. Desta forma, considero essa parte da obra “Fotossíntese em Ação” extremamente importante para que o professor/leitor perceba as relações entre o binômio “como aprender para ensinar” e o “como ensinar para que os alunos aprendam” (CARVALHO, 2013b).

Nos concentraremos, na próxima seção, em tratar sobre a perspectiva de “como ensinar para que os alunos aprendam”, dando continuidade nos resultados e discussão acerca das atividades didáticas presentes no quarto capítulo do produto, além de traçar as perspectivas de utilização desse material didático.

4.2.3 Resultados e discussão das atividades

O quarto capítulo do produto é composto por uma seção que discute sucintamente sobre a importância da fotossíntese e contemporaneidade do tema; além de apresentar três roteiros de atividades e/ou guias didáticos com estratégias diversificadas. Essa parte da obra une conteúdos específicos da Biologia com a aplicação do Ciclo Investigativo.

Cada material didático apresenta uma “Ficha Técnica”, presentes nas páginas 135, 156 e 165 no Apêndice A. As fichas apresentam a descrição da atividade; os objetivos de aprendizagem; os conteúdos e as competências e habilidades da BNCC trabalhadas; além do tempo estimado, e dos materiais necessários (Figura 23). Através dela os docentes terão uma noção geral da proposta didática, facilitando a escolha do professor por utilizá-la ou não. Em relação aos conceitos biológicos, no primeiro guia são trabalhados conteúdos sobre a História da Ciência e a equação geral da fotossíntese; no segundo, são abordados os conteúdos sobre estrutura do cloroplasto, fases fotoquímica e química; e no último, são tratados os fatores ambientais que influenciam a fotossíntese.

FICHA TÉCNICA													
Descrição da atividade:													
A atividade começa com um texto sobre aquecimento global e História da Ciência. Na etapa de investigação, grupos de alunos, percorrerão estações formadas por fichas com experimentos clássicos sobre fotossíntese e a história da ciência por trás desses achados. No momento destinado às conclusões haverá uma espécie de “seminário científico” onde todos os grupos irão apresentar resumidamente os principais pontos aprendidos com as fichas. Como encerramento da atividade o professor retomará a pergunta de investigação e resumirá com os alunos os principais elementos necessários para a nutrição das plantas, montando a equação geral da fotossíntese.													
Objetivos de aprendizagem:													
Espera-se que, ao término desta atividade, o estudante seja capaz de:													
<ul style="list-style-type: none"> Compreender historicamente parte do processo de geração do conhecimento sobre nutrição dos vegetais (fotossíntese) e sobre os elementos necessários para a realização dessa reação. Assim espera-se que o aluno perceba que os conhecimentos sobre fotossíntese são fruto de um acúmulo gradual de saberes, a partir de diferentes descobertas científicas que ocorreram por mais de dois séculos. Relacionar a fotossíntese com modificações na composição dos gases na atmosfera e relacioná-la com a fixação do gás carbônico (um dos gases do efeito estufa). 													
Competências e habilidades:													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Competências</th> <th rowspan="2">Habilidades</th> <th rowspan="2">Temas contemporâneo e transversais</th> </tr> <tr> <th>Gerais</th> <th>Específicas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1, 2, 4, 7, 10</td> <td>1, 2 e 3</td> <td>EM13CNT101, EM13CNT201, EM13CNT301, EM13CNT302.</td> <td>Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente</td> </tr> </tbody> </table>		Competências		Habilidades	Temas contemporâneo e transversais	Gerais	Específicas	1, 2, 4, 7, 10	1, 2 e 3	EM13CNT101, EM13CNT201, EM13CNT301, EM13CNT302.	Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente		
Competências		Habilidades	Temas contemporâneo e transversais										
Gerais	Específicas												
1, 2, 4, 7, 10	1, 2 e 3	EM13CNT101, EM13CNT201, EM13CNT301, EM13CNT302.	Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente										
Conteúdos:													
<ul style="list-style-type: none"> História da ciência sobre a fotossíntese. Equação geral da fotossíntese. 													
Tempo estimado: 120 minutos.													
Materiais necessários: Quadro, lápis e/ou caneta, roteiro e fichas da atividade impressas (anexo 1).													

Figura 23: Organização da ficha técnica das atividades didáticas. Fonte: Elaborada pela autora (p.135 - Apêndice A).

Todas as atividades estão subdivididas em etapas que refletem o Ciclo Investigativo, marcando os diferentes momentos na dinâmica, que necessita de distintas táticas de mediação do professor. Os guias são compostos por materiais para o aluno, em caixas destacadas,

acompanhadas de sugestões e comentários para os docentes, com orientações sobre as perguntas dos roteiros, servindo como um “gabarito comentado” (Figura 24). Esse *layout* e organização funcionam como uma espécie de “manual” do professor.

Etapa da atividade

Orientações para o realização da atividade

Materiais para o aluno são sinalizados em caixas destacadas

Gabarito comentado

Exemplo de texto com perspectiva CTSA

AULA 1 - AULA DIALOGADA E CONTEXTUALIZAÇÃO

Essa atividade se inicia com uma aula dialogada que incorpora elementos das fases de orientação e contextualização do ciclo investigativo. A temática do preço da gasolina e sua influência no dia a dia será usada como forma de trabalhar um assunto cotidiano. O professor pode fazer perguntas para que os alunos se engajem na discussão.

ATENÇÃO
Os materiais da atividade 2, se encontram em formato para impressão no Apêndice 2 do livro.

PERGUNTAS DE ORIENTAÇÃO:

1. Em que o aumento da gasolina influencia no seu dia a dia?
2. Por que esse combustível aumenta?
3. Do que a gasolina é feita?
4. Existem alternativas ao uso da gasolina?

COMENTÁRIOS

Não há um padrão de resposta esperada a serem manifestadas pelos alunos.

Após os estudantes apresentarem suas considerações, sugiro indagá-los sobre as possíveis soluções para esse problema e seguir a aula com a leitura e interpretação do texto "Transformando luz e gás carbônico em combustível" sobre fotossíntese artificial.

TRANSFORMANDO LUZ E GÁS CARBÔNICO EM COMBUSTÍVEL

Os cientistas há muito tempo sonham em imitar a fotossíntese, usando a energia da luz solar para unir hidrocarbonetos (moléculas ricas em carbono e hidrogênio), usando dióxido de carbono (CO₂) e água para formar combustíveis.

Isso agora é possível utilizando a energia captada por um pequeno painel solar para dividir o CO₂ em monóxido de carbono (CO), que é rico em energia. O CO₂ é decomposto em oxigênio e CO que, por sua vez, pode ser combinado com hidrogênio para fazer uma variedade de combustíveis. Por exemplo, a adição de quatro átomos de hidrogênio ao CO cria o metanol, um tipo de álcool que pode servir como combustível líquido para abastecer carros. Esse novo método de produção renovável de combustível

FOTOSSÍNTESE EM AÇÃO 54

Figura 24: Exemplo do *layout* e organização das atividades didáticas. Fonte: Elaborada pela autora (p.156 - Apêndice A).

Essa estruturação em formato de roteiros e/ou guias didáticos não se propõem a engessar o trabalho do professor, pois os textos que acompanham as atividades têm caráter explicativo e sugestivo. Assim, o docente pode fazer as modificações que forem necessárias para a adequação a sua realidade em sala de aula. Neste sentido, Sasseron (2014c), ao falar sobre o papel do professor em atividade investigativas, diz que indicadores no planejamento, como as proposições na atividade, não se tratam de um condutivismo, uma vez que, há autonomia e mediação do professor no processo. Com esse ponto de vista, o capítulo quatro do produto buscou ser um facilitador no planejamento e execução de aulas por investigação.

Ao observarmos a Figura 24, percebemos que essa parte da obra une conteúdos específicos da Biologia, relacionados ao estudo da fotossíntese, com assuntos pedagógicos para a aplicação do Ciclo Investigativo. McDermott dá suporte a essa organização, que mescla esses dois elementos, ao defender que:

Se os métodos de ensino não são estudados no contexto em que serão implementados, os professores podem não saber identificar os aspectos essenciais, nem adaptar as

estratégias instrucionais – que lhes foram apresentadas em termos abstratos - à sua matéria específica ou a novas situações (*apud* CARVALHO; GIL-PEREZ, 2011, p.70).

Assim, traçando um paralelo deste dado da literatura com o presente trabalho, podemos inferir que a estruturação das atividades oferecidas no produto “Fotossíntese em Ação” tem potencial de favorecer a utilização e a adaptação do material pelos docentes.

O trabalho de Cunha e Krasilchik (2000), traz elementos interessantes nesse contexto, ao relatar que há uma demanda dos professores por “atividades diretamente transferíveis para suas salas” (p.13). Eles ainda tratam da importância de se discutir atividades aplicáveis em aula, que viabilizem estratégias de mudança conceitual, evitando assim "receitas" prontas. Neste caso, o produto desta pesquisa pode suprir essas necessidades dos docentes, ao oferecer guias didáticos ancorados em pressupostos teórico-metodológicos, como o consenso construtivista e no ensino investigativo, capazes de estimular reflexões e mudanças na prática docente.

Outra característica a ser destacada, acerca do livro eletrônico, é que cada atividade apresenta estratégias comuns entre elas (ensino por investigação e textos com abordagem CTSA), e outras específicas. Ao todo foram utilizadas dez estratégias didáticas nas atividades do livro "Fotossíntese em Ação" (Quadro 4).

Quadro 4: Estratégias didáticas presentes no livro eletrônico Fotossíntese em Ação.

Atividade	Estratégias diversificadas
1	Ensino por investigação Abordagem CTSA História da Ciência Rotação por estações Mapa mental
2	Ensino por investigação Abordagem CTSA Aula por Projeto Produção de vídeos de animação ou <i>storyboard</i> Transformando imagens em texto
3	Ensino por investigação Abordagem CTSA Simulador virtual Elaboração de tabelas e gráficos

Fonte: elaborado pela autora.

Neste contexto, os trabalhos de Iatskiu e colaboradores (2014), e de Scarpa e Silva (2013), tratam positivamente o emprego de estratégias didáticas pluralistas, pois desta maneira se contempla diferentes perfis de alunos, que aprendem por meio de estilos de

ensino/aprendizagem distintos. Além disso, Scarpa e Silva (2013) defendem que:

O ensino por investigação poderia ampliar as fontes potenciais de dados para os estudantes, ao incorporar a noção de pluralismo metodológico. Acredita-se também que mesmo as atividades investigativas possam se utilizar de uma diversidade de modalidades didáticas, já que cada situação exige uma solução própria e a variação, além de contribuir para que os estudantes desenvolvam diferentes habilidades das ciências biológicas, pode atrair o interesse dos alunos (*ibid.*, 2013, p.140).

Assim, dialogando com esses autores percebemos que a variedade de estratégias utilizadas no produto é um diferencial deste material didático, por fomentar a aprendizagem de diversas formas.

A partir deste ponto, aprofundaremos a discussão sobre a aplicação do Ciclo Investigativo no produto. Para facilitar a análise foram criados três quadros, com o resumo da utilização do ciclo de Pedaste (2015), inspirados na Figura 8, apresentada no capítulo de metodologia deste trabalho. Iniciaremos com o primeiro guia “Fotossíntese: presente e passado”, e as discussões que serão levantadas em muitos aspectos também se aplicam as outras atividades (Quadro 5).

Pela observação do Quadro 5, percebemos a estruturação da atividade segue as fases do Ciclo Investigativo, a saber: Orientação, Contextualização, Investigação, Conclusão e Discussão (PEDASTE *et al.*, 2015).

Cada guia de atividade, em sua fase de Orientação, etapa inicial de apresentação do tópico estudado, contém um texto que contextualiza o tema e ajuda no levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Esses dois elementos, contexto e conhecimentos prévios, buscam aumentar o engajamento dos estudantes na proposta. Nesta conjuntura, podemos debater a relevância da leitura no contexto do ensino de Ciências, a partir do trabalho de Scarpa e Trivelato (2012), que reforça a escolha desse recurso didático no produto desta pesquisa, ao afirmarem que:

Os cientistas estão envolvidos em atividades *minds-on* – leitura, escrita e/ou fala. Por esse motivo, é importante que os currículos e os professores de ciências deem a devida importância para a leitura em ciências e que a concepção de leitura como investigação esteja presente de forma mais intensa na educação científica (*ibid.*, 2012, p.48).

Quadro 5: Aplicação do Ciclo Investigativo de Pedaste (2015) na Atividade 1 “Fotossíntese: presente e passado” do livro eletrônico Fotossíntese em Ação.

ORIENTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Texto “Presente e Passado” • Perguntas para levantamento dos conhecimentos prévios 	DISCUSSÃO	
CONCEITUALIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Questão: Como o ar é restaurado na natureza? 		COMUNICAÇÃO
INVESTIGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas envolvendo a História da Ciência • Fichas Complementares 		REFLEXÃO
CONCLUSÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Seminário científico • Montagem coletiva da equação geral da fotossíntese 		

Fonte: elaborado pela autora.

Pliessnig e Kovaliczn (2009), também dialogam neste mesmo sentido, confirmando que a leitura e a escrita em atividades didáticas, são elementos que fogem da educação bancária, baseada em cópia e memorização, já que necessitam de maior grau de compreensão dos estudantes. Souza (2000), trata da utilização da leitura de textos históricos sobre a fotossíntese, de forma semelhante ao que foi realizada nesta atividade.

Agora, tratando da natureza dos textos, eles foram construídos a partir da adaptação de diferentes fontes, introduzindo o conteúdo a partir das relações entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente, fomentando o eixo “Aprender sobre Ciências” da Alfabetização Científica (SCARPA; CAMPOS, 2018; SASSERON; CARVALHO, 2013a). Assim, o primeiro guia apresenta o texto intitulado “Presente e Passado” sobre as mudanças climáticas antrópicas e o aquecimento global, e os relaciona aos processos de restauração do ar estudados por Joseph

Priestley. Também buscou-se com esse texto estabelecer uma ligação com a História da Ciência (ROUBUSTE, 2022; CONANT, 1957), contidas nas fichas dessa atividade (ver páginas 141-155 - Apêndice A).

Os textos foram adaptados para valorizar as conexões entre os conteúdos abstratos da fotossíntese e o cotidiano dos alunos. Desta forma, o material didático estimula a Alfabetização Científica ao oferecer aos estudantes condições de entenderem as ciências e como elas se relacionam com nossas vidas, percebendo como ela influencia na sociedade e no ambiente, além de possibilitar a tomada de decisões conscientes, contribuindo com a formação de um cidadão crítico, capaz de expor pontos de vista baseados em argumentos (SASSERON, 2014b). Outro ponto positivo deste tipo de leitura, vem do trabalho de Pliessnig e Kovaliczn (2009), que discute o fato de situações cotidianas favorecerem a aprendizagem e o engajamento do estudante.

Além das questões anteriormente levantadas, os materiais didáticos com abordagem CTSA são uma demanda docente, isto fica claro no trabalho de Diniz, Campos e Kühn (2006), sobre formação continuada de professores para incorporar inovações científicas e tecnológicas recentes ao trabalho desenvolvido em sala de aula. Nesta pesquisa, foram apresentados argumentos dos professores a favor e contra o uso deste tipo de abordagem. Extraímos deste trabalho algumas das falas favoráveis: “*É importante levar ao aluno as informações científicas recentes, para colocá-lo em contato com a realidade*”; “*Contribuir para que o aluno seja um cidadão, e possa usufruir as novas tecnologias e não ser apenas refém delas*”; “*Trazer a realidade para dentro da sala de aula*” (*ibid.*, 2006, p.269). Como ponto negativo os docentes relataram a falta de domínio e conhecimento teórico do professor, e as dificuldades de inserir esses assuntos no dia-a-dia dos alunos. No mesmo trabalho, esses autores levantaram, entre o grupo de professores pesquisados, temas e/ou conteúdos relevantes para serem tratados nos encontros de formação continuada, mostrando interesse por temáticas de bioquímica celular, em que a fotossíntese está inserida. Assim, a partir dos dados de Diniz, Campos e Kühn (2006), podemos inferir que o produto desta pesquisa pode contribuir para suprir algumas demandas dos professores por esses temas ao oferecer atividades com abordagem CTSA, com descobertas recentes e inovadoras que incorporam os conhecimentos sobre fotossíntese.

Na Atividade 1, ainda na Orientação foram utilizadas duas perguntas de levantamento dos conhecimentos prévios: “*Qual restaurador natural você acredita que Priestley estava se referindo?*” e “*Qual processo e quais elementos estariam envolvidos para que a restauração do ar ocorresse?*” (p.137 - Apêndice A). No caso destas questões não há um padrão de respostas específico na seção “Comentários”, pois há muitas possibilidades de conhecimentos prévios

que os estudantes podem apresentar. Este é um elemento importante no ensino por investigação, apoiado tanto nas teorias construtivistas (ZABALA, 2008; SASSERON, 2014; SCARPA; CAMPOS, 2018), que embasam os referenciais teóricos metodológicos desta pesquisa, como também encontra respaldo na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (MOREIRA, 1999).

Segundo Moreira (1999), para Ausubel o “que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe” (p.152). Pedrosa (2013), resume bem as ideias deste autor ao elucidar que:

Uma aprendizagem só é significativa quando se estabelece uma relação concreta entre o novo e o já conhecido, ou seja, quando em uma situação de aprendizagem os conhecimentos do aluno podem ser pontos de referência para a articulação com as novas informações. Portanto, deve-se promover um diálogo mediatizado pelo material, por meio de atividades voltadas à contextualização das novas informações. (*ibid.*, 2013, p.11).

Ausubel também trata sobre organizadores prévios, isto é, “materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si”, que serve como “ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber”, facilitando a aprendizagem significativa (*apud* Moreira, 1999, p.155). A partir disso, percebemos a relevância do levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes e também da contextualização feita com os textos de abordagem CTSA no livro “Fotossíntese em Ação”, que tem a possibilidade de ser “potencialmente significativo” por associar o conteúdo ao cotidiano do estudante, servindo como “pontes cognitivas”.

Seguindo na análise do Quadro 5, na fase de Contextualização é apresentada a pergunta problematizadora ou de investigação “*Como o ar é restaurado na natureza?*”, esta será a questão que os aprendentes terão que solucionar ao longo da atividade. A fase de Investigação é realizada pela leitura de fichas contendo material sobre História da Ciência, pois procurou-se aumentar a oferta de um conteúdo pouco presente nos livros didáticos analisados, e também para suprir outra demanda dos professores, como mostra o trabalho de Cunha e Krasilchik (2000). Em adição a isso, a BNCC incluiu a valorização da História da Ciência em sua primeira competência geral da Educação Básica, ao reconhecer a utilização de “conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade” (BRASIL, 2017a, p.9).

Assim, buscou-se aliar nessa atividade a História da Ciência e o Ensino por investigação, numa abordagem conhecida como histórico-investigativa (BATISTA, 2018; SANTOS, 2018), ao unirmos a pergunta problematizadora com a investigação através das fichas. O livro

“Fotossíntese em Ação” contém seis fichas sobre cientistas do século XVII e XVIII, muitos dos quais trabalharam no processo de descoberta e composição dos gases da atmosfera, contribuindo direta ou indiretamente, com as descobertas relacionadas à fotossíntese, como Jan Baptista Van Helmont, Stephen Hales, Joseph Priestley, Jan Ingen-Housz, Jean Senebier e Nicolas Théodore de Saussure (ver páginas 141 à 155 no Apêndice A); e duas fichas complementares a Teoria Flogística e a Teoria do Oxigênio de Lavoisier, para que os estudantes pudessem ter um pequeno panorama sobre as principais correntes de pensamento que influenciaram esses pesquisadores.

Sugeriu-se no produto que os alunos, em grupos, explorassem as fichas, pela metodologia ativa de Rotação por Estações (Figura 25). Assim, o material ficaria disposto pela sala, nas mesas formando as “estações”, e os discentes teriam um tempo estabelecido pelo professor para manipulá-lo. Quando esse tempo se esgotasse eles passariam para outra estação até finalizar a leitura de todas as fichas.

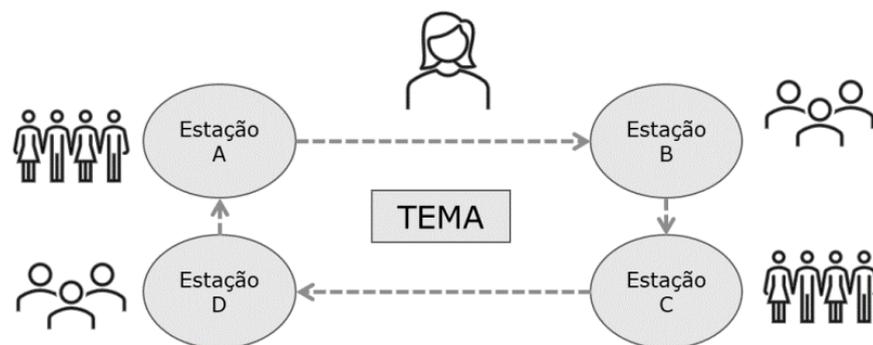


Figura 25: Esquema representando a organização das estações. O docente pode organizar mesas e cadeiras para acomodar um material específico que será trabalhado pelos alunos formando cada estação. O professor pode circular pelas estações mediando a interação dos alunos com o material disponibilizado. Fonte: elaborado pela autora (p.138 - Apêndice A)

As fichas contêm trechos de fontes primárias extraídos do trabalho “*Plants and the atmosphere*” de Nash (1957) e “Fotossíntese” de Baker e Allen (1975). Elas também trazem perguntas para exploração, acompanhada de uma seção “Comentário”. Já as fichas complementares foram produzidas a partir do trabalho “*The overthrow of the phlogiston theory: the chemical revolution of 1775-1789*” de Conant (1957). Elas não apresentam perguntas e servem para que os alunos compreendam o contexto das ideias que influenciaram o trabalho dos cientistas. Dialogando com Martins (1998; 2005), percebemos a necessidade de usarmos fontes primárias, ou seja, as obras dos estudiosos em sua língua original. No entanto, devido às dificuldades de tradução direta de exemplares em língua inglesa antiga e em francês, obtidos a partir de site como *Google Books*, optou-se por usar obras de historiadores da ciência sobre o

assunto (fontes secundárias).

Os textos foram produzidos em primeira pessoa, com o nome do cientista, acompanhado de uma breve descrição e ilustração, além do período em que viveu (servindo como um marco temporal para os alunos). Enfatizaram-se relatos sobre experimentos, resultados e figuras para ilustrá-los, pois segundo Batista (2018), “ao fazer o debate histórico com os experimentos, há a revelação de como a ciência acontece, é criada, construída e funciona” (p.39). Também foram incluídas inserções que mostram como esses cientistas estavam a par dos estudos de seus antecessores, como no trecho da ficha sobre Jan Ingen-Housz: “Os métodos experimentais que utilizei foram desenvolvidos por outros cientistas, mas fiz uma série de pequenas modificações muito significativas no projeto experimental e com isso consegui realizar várias descobertas importantes. Cortei partes do vegetal e testei separadamente ao invés de usar a planta inteira como Priestley havia feito.” (p.147 - Apêndice A). Ainda, procurou-se destacar algumas controvérsias e idas e vindas no processo de produção do conhecimento, como na ficha sobre Joseph Priestley: “Após a análise dos experimentos anteriores abandonei minha primeira hipótese de trabalho e adotei uma nova hipótese...” (p.145 - Apêndice A).

Para analisarmos como a História da Ciência foi utilizada no produto, dialogaremos com o trabalho de Martins (2005), que discute formas de abordá-la. Segundo essa autora, há dois tipos de abordagens: uma focada nas evidências e fatos científicos sobre determinado tema; e outra que estuda as influências sociais, políticas e econômicas, que envolveram o assunto histórico. Para ela um estudo mais completo de História da Ciência deveria usar as duas abordagens (MARTINS. 2005). O trabalho de Matthews (1995), aponta nesta mesma linha, sustentando a importância de se usar múltiplos aspectos históricos, filosóficos, sociais, econômicos e até mesmo relacionados as tecnologias da época, numa abordagem chamada por ele de “contextualista”. Klepka (2014) resume bem essa visão “contextualista” ao dizer que “não se trata de um ensino que aborde apenas os aspectos da descoberta, seus dados temporais e cronológicos” que podem ser “limitados e simplificados, ocasionando uma visão cumulativa e linear voltada para uma ciência inquestionável” (*ibid.*, 2014, p.29). Para ela devemos “promover um ensino pautado em um contexto histórico que considere as “influências sociais na descoberta, que permita identificar os diferentes métodos científicos existentes e que foram acompanhados por dúvidas, tentativas, equívocos e também por criatividade e imaginação” (*ibid.*, 2014, p.29).

A partir destes dados da literatura, percebemos que as fichas do produto contam com uma abordagem didática adequada sobre a História da Ciência do tipo “contextualista”. A partir do estudo de Martins (1998), percebemos também que não cometemos erros comuns ao

trabalhar a História da Ciência, como usar biografias longas, com excesso de datas, sem referência às ideias científicas, ao contexto temporal, social e cultural. Além disso, não se tratou os cientistas como heróis ou gênios solitários, mas sim buscou-se transmitir a dimensão humana da Ciência e o caráter gradual da construção do conhecimento científico, como discutido por Santos (2018).

Seguindo com a discussão sobre o Quadro 5, na etapa de Conclusão, solicita-se na atividade um momento de retomada da questão de investigação para que os alunos possam modificá-la, caso seja necessário, a partir dos novos conhecimentos aprendidos. Ainda, recomendou-se ao professor/leitor que encerrasse a atividade sintetizando os conhecimentos aprendidos, montando coletivamente a equação geral da fotossíntese, a partir das discussões com os alunos. Buscou-se utilizar a equação geral, pois de acordo com Reece e colaboradores (2015); Raven e equipe (2014); e Sadava e seu grupo de trabalho (2009), sabemos que sua grande simplificação causam dúvidas na compreensão da fotossíntese. Apesar do guia “Fotossíntese: presente e passado” não tratar do processo bioquímico em si, não sanando todos os obstáculos relacionados a esse tipo de representação, percebemos seu grande potencial ao usar a História da Ciência para que os alunos vejam a fotossíntese como algo complexo (REECE *et al.*, 2015), que necessitou de mais de duzentos anos de trabalho, contando com a participação de diversos cientistas para chegarmos até o conhecimento resumido pela equação, como mostrado nas fichas. Retomando a interlocução entre os benefícios pedagógicos da abordagem histórico-investigativa, Batista (2018), afirma que:

Ao aliar as duas abordagens, pretendemos superar a aquisição mecânica de fórmulas, equações e expressões matemáticas que, muitas vezes, os alunos decoram e utilizam sem compreender o seu significado real, estabelecer o processo de elaboração de um conceito e apresentar a construção do conhecimento científico, contribuindo para o processo de ensino e aprendizagem do aluno (*ibid.*, 2018, p.44).

Assim, a equação geral da fotossíntese, compreendida através da História da Ciência, poderá ter novos significados para os alunos, ao agregar as ideias sobre “Aprender a fazer Ciências” da Alfabetização Científica, pois estimula a assimilação dos estudantes sobre os processos de construção do conhecimento científico (SCARPA; CAMPOS, 2018; SASSERON; CARVALHO, 2013a). Nesse sentido, Prestes e Caldeira (2009), relatam a História da Ciência como ferramenta adequada para atingir a Alfabetização Científica na escola.

Retomando a análise do Quadro 5, na etapa de Conclusão os alunos individualmente devem consolidar o que aprenderam elaborando um mapa conceitual, que é baseado na teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. Este recurso mostra a assimilação de novos

conceitos na estrutura cognitiva do aprendiz, com construção de significados que podem ser expressos de uma forma gráfica (NOVAK, J.D.; CAÑAS, 2010, TAVARES, 2007). Assim, o estudante poderá ressaltar as associações aprendidas entre: plantas, fotossíntese, gases na atmosfera e clima global.

Completando a análise do Quadro 5, percebemos que a fase de Discussão está presente em diversas etapas da atividade. Os elementos da Comunicação tomam lugar nas discussões realizadas em pequenos grupos e com toda turma, em momentos nos quais os alunos têm que apresentar e partilhar suas conclusões aos outros, recebendo comentários dos colegas e do professor (PEDASTE *et al.*, 2015). Já a Reflexão ocorre quando os estudantes reavaliam suas respostas a pergunta de investigação após a etapa de Conclusão. Assim, os discentes podem verificar o que aprenderam confrontando o que sabiam previamente, com os novos conhecimentos, em sintonia com as ideias construtivistas (ZABALA, 2008) e da aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999).

Enriquecendo ainda mais a discussão sobre o primeiro guia do livro "Fotossíntese em Ação", as perguntas presentes nele foram categorizadas a partir do trabalho de Machado e Sasseron (2012). Utilizou-se quatro categorias, a saber "Perguntas de problematização", "perguntas sobre dados", "Perguntas exploratórias" e "Perguntas de sistematização"), para analisar as questões presentes no primeiro guia do produto, extraídas das fases de Orientação, de Contextualização, das fichas de Jan Baptista Van Helmont e Jan Ingen-Housz que compõem a fase de Investigação e da Conclusão (Quadro 6).

Pela observação do Quadro 6, percebemos que todas as categorias foram utilizadas, percorrendo todos "os caminhos pelos quais os estudantes podem construir melhor seu conhecimento científico" por uma atividade investigativa (MACHADO; SASSERON, 2012, p.43). No entanto, ressaltamos a ausência de perguntas, na quarta categoria de "Perguntas de sistematização", relacionadas a aplicação dos conceitos aprendidos em outros contextos, indicando um ponto a ser trabalhado após a testagem e validação do produto, uma vez que, o ciclo investigativo de Pedaste (2015) também prevê a aplicação do conhecimento em outros contextos.

Quadro 6: Categorização das perguntas da Atividade 1 de acordo com Machado e Sasseron (2012)

Categorias	Classificação das perguntas	Etapa do Ciclo Investigativo
Perguntas de problematização	Qual restaurador natural você acredita que Priestley estava se referindo? Qual processo e quais elementos estariam envolvidos para que a restauração do ar ocorresse? Como o ar é restaurado na natureza?	Orientação e Contextualização
Perguntas sobre dados	O que os resultados dos experimentos da Tabela 2 sugerem? O que é possível deduzir quando comparamos os resultados das diferentes condições de iluminação nos diversos tipos de materiais vegetais? Os resultados seriam os mesmos se Ingen-Housz usasse a planta inteira, ao invés de isolar as partes dos vegetais?	Investigação
Perguntas exploratórias	Qual hipótese estava sendo investigada sobre a nutrição das plantas? Quais pontos da descrição mostram um cuidado experimental? A partir dos resultados obtidos por van Helmont qual conclusão é possível?	Investigação
Perguntas de sistematização	Pensando novamente na sua resposta à questão de investigação, sua explicação continua a mesma? O que você modificaria com os conhecimentos adquiridos ao longo da rotação por estações e das apresentações dos grupos?	Conclusão

Fonte: elaborado pela autora.

Também é possível avaliar o produto pelo grau de liberdade dado aos discentes nas atividades propostas. Segundo Carvalho (2018), há cinco níveis de liberdade, que caracterizam a autonomia que o docente proporciona aos alunos. Tratando sucintamente sobre essas categorias, trazemos o quadro, criado por Carvalho (2018), para atividades experimentais (Figura 26), por ele guardar maior semelhança com o modelo adotado no Ciclo Investigativo (PEDASTE, 2015).

	Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P/A	P/A	A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe

Figura 26: Graus de liberdade de professor (P) e alunos (A) em atividades experimentais. Fonte: Carvalho (2018, p.768).

Ao observarmos a Figura 26 percebemos que no grau 1, o professor fornece aos alunos o problema, as hipóteses, o plano de trabalho e as conclusões, cabendo ao aluno apenas a obtenção dos dados. No grau 2, o aluno ganha mais autonomia, podendo participar da elaboração de hipótese e do plano de trabalho. Nessas duas categorias iniciais o ensino é entendido como diretivo. Já a partir do grau 3, temos elementos de liberdade suficientes para ocorrência de atividades por investigação, que dependem de liberdade intelectual e do papel ativo dos estudantes. O grau 4, pode ocorrer em atividades propostas para discentes familiarizados “com o ensino por investigação, em que os alunos estão acostumados a trabalhar em grupo e a tomar decisões para resolver os problemas”, assim eles estão no centro da tomada de decisões durante o processo (*ibid.*, 2018, p.769). Segundo Carvalho (2018), atividades com grau cinco não são comuns no Ensino Básico, e são mais presentes no Ensino Superior, mas podem ocorrer em atividades do tipo Feiras de Ciências nas escolas.

A partir do que foi exposto anteriormente, o primeiro guia do produto desta pesquisa pode ser enquadrado como uma atividade de grau três, uma vez que, a pergunta foi proposta aos alunos, bem como as ferramentas que os discentes utilizarão na investigação. Deste modo, consideramos que as atividades oferecidas no livro “Fotossíntese em Ação” são uma boa estratégia para professores e alunos que estão começando a utilizar o ensino por investigação, pois materiais com graus mais elevados demandam muita maturidade e adaptação dos alunos, e também adaptação do professor no papel de mediador.

Para finalizar a análise da atividade 1, consideramos que este material, frente as discussões levantadas, pode ser um instrumento adequado para compreensão histórica sobre a fotossíntese, mostrando quais são os elementos necessários para a realização dessas reações, construindo outro olhar para equação geral da fotossíntese, como fruto do acúmulo gradual de saberes, gerados por descobertas científicas ao longo de dois séculos, atingindo um dos objetivos dessa pesquisa.

Prosseguindo para a análise dos outros guias, como eles apresentam muitos elementos comuns (Alfabetização Científica, Abordagem CTSA, Consenso Construtivista e Ciclo Investigativo, Grau de liberdade), aplicados na atividade discutida anteriormente, iremos tratá-los de forma mais breve daqui em diante, e nos concentraremos nos componentes exclusivos das atividades 2 (Projeto e produção de vídeos de animação e storyboard) e 3 (Simulador virtual). Assim, seguiremos com a análise da atividade 2, intitulada “Luz, câmera e fotossíntese em ação”

O segundo guia, chamado “Luz, câmera e fotossíntese em ação”, traz uma proposta de projeto didático (Figura 27). Segundo Krasilchik (2004), projetos são atividades executadas por

um aluno ou por uma equipe para resolver um problema, com um produto final concreto. Assim, com este guia os alunos produzem vídeos de animação quadro-a-quadro (*stop motion*) ou *storyboards* (tipo de história em quadrinhos para elaboração de filmes). Nesta proposta o ensino-aprendizagem dos conceitos bioquímicos da fotossíntese ocorre de forma lúdica. Segundo diversos autores, o uso dessas estratégias aumenta a motivação e engajamento dos educandos (GUIMARÃES, 2009; SILVA, 2016; LEITE, 2020). Ainda, ressaltamos que os objetivos educacionais dos projetos exigem uma mudança tanto na postura dos alunos, que deve ser ativa, quanto dos professores, para realização da mediação no processo (KRASILCHIK, 2004). Assim, essa estratégia se adequa aos referências teóricos-metodológicos desta pesquisa.

Devido à complexidade da atividade, além de apresentarmos o guia, devemos fazer uma reflexão sobre os problemas que podem dificultar a aplicação, e tentar oferecer possíveis soluções para eles. Um desses pontos, é a necessidade de várias aulas para sua conclusão, por isso sugere-se na “Ficha Técnica” ao menos quatro encontros. Compreendemos que isto pode ser uma barreira para sua aplicação, em função do tempo escasso das aulas de Biologia no Ensino Médio na rede pública, mas que poderia ser sanada se o projeto for aplicado interdisciplinarmente, desta forma as aulas não precisariam ocorrer todas numa mesma disciplina.

Segundo Krasilchik (2004), outro elemento que pode ser desvantajoso para a realização de projetos, é o pouco preparo dos professores na mediação dessas atividades. Também podemos citar a falta de conhecimento dos docentes sobre *stop motion*. Desta forma, para que o professor possa realizá-la é desejável que se familiarize com essa técnica de animação. Com esse intuito o segundo guia conta com a curadoria de materiais, como o livro e as videoaulas “Movimento Parado Passo a Passo: Um guia para animação em *stop motion*”, de Rosana van der Meer, que dão suporte técnico aos professores que desejarem se “aventurar” na produção de vídeos em sala de aula. E o guia “Luz, câmera e fotossíntese em ação” se propõe a oferecer a base pedagógica e a estruturação das aulas que o professor usará para a realização do projeto.

FICHA TÉCNICA			
<u>Descrição da atividade:</u>			
Essa atividade trabalha aspectos da fotossíntese a partir de uma perspectiva socioambiental, instigando os estudantes a pensarem o problema do plástico a partir do vídeo “Poluição plástica em números e imagens” (elaborado pela Pesquisa FAPESP) e a possível relação da fotossíntese com esse problema a através da produção de bioplástico por cianobactérias. Os alunos serão guiados por uma experiência de aprendizagem utilizando o simulador virtual (<i>PhotoLab da KScience</i>). Eles investigarão quais seriam as melhores condições para o crescimento de seres fotossintetizantes, refletindo como fatores ambientais interferem esse processo, e pensar como seria possível maximizar a produção de bioplástico.			
<u>Objetivos de aprendizagem:</u>			
Espera-se que, ao término desta atividade, o estudante seja capaz de:			
<ul style="list-style-type: none"> • Compreender como a cor da luz utilizada, a intensidade luminosa, a concentração de CO₂ e a temperatura influencia na fotossíntese. • Coletar dados para construção de tabelas e gráficos. • Refletir sobre formas de intensificar os processos fotossintéticos a fim de buscar soluções para problemas ambientais. 			
<u>Competências e habilidades:</u>			
Competências		Habilidades	Temas contemporâneo e transversais
Gerais	Específicas		
2, 4, 5, 7, 10	1, 2 e 3	EM13CNT101, EM13CNT105, EM13CNT202, EM13CNT203, EM13CNT301, EM13CNT302.	Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente
<u>Conteúdo:</u> Fatores ambientais que influenciam a fotossíntese.			
<u>Tempo estimado:</u> Dois tempos de aula de 80 minutos.			
<u>Materiais:</u> Roteiro da prática, <i>smartphones</i> e simulador virtual Photolab.			

Figura 27: Ficha Técnica do guia “Luz, câmera e fotossíntese em ação”. Fonte: Elaborado pela autora (p.156 - Apêndice A).

Neste segundo guia buscou-se oferecer uma atividade que usasse Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação, pois percebemos a carência desse tipo de estratégia nos livros didáticos analisados. Além disso, conforme a BNCC “os jovens estão dinamicamente inseridos na cultura digital, não somente como consumidores, mas se engajando cada vez mais como protagonistas” em sua produção (BRASIL, 2017a, p.474). Esse documento também reconhece as “potencialidades das tecnologias digitais para a realização de uma série de atividades relacionadas a todas as áreas do conhecimento” (*ibid.*, 2017a, p.474). A BNCC, portanto, fomenta competências e habilidades como explorar e produzir conteúdos em diversas mídias, e usar ferramentas como softwares e aplicativos na produção de conteúdos digitais (*ibid.*, 2017a), como proposto aqui. Também procurou-se com o uso dessa estratégia didática uma forma de aumentar o engajamento discente (SILVA, 2016; LEITE, 2020), para um tema de pouco interesse e abstrato (KAWASAKI e BIZZO, 2000). Para Campos e Neto (2021), as formas audiovisuais, como os vídeos de animação, “possuem características únicas que podem torná-los um método de aprendizagem eficaz ao aprimorar ou substituir abordagens de ensino tradicionais” (p.608).

Iniciaremos a discussão sobre a utilização do Ciclo Investigativo na segunda atividade (Quadro 7). Pela observação do quadro notamos que a Orientação conta com o texto “Transformando luz e gás carbônico em combustível”, sobre a produção de biocombustíveis a partir da fotossíntese artificial, adaptado de “*Cheap catalysts turn sunlight and carbon dioxide into fuel*” da revista *Science* (SERVICE, 2017). A abordagem CTSA, nesta parte da atividade, é promovida através de questões sobre o preço da gasolina e sua influência no cotidiano do aluno, aliadas a nova tecnologia de produção de combustível mostrada no texto, e de perguntas de levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre fotossíntese.

Quadro 7: Aplicação do Ciclo Investigativo de Pedaste (2015) no guia “Luz, câmera e fotossíntese em ação”.

ORIENTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Texto “Transformando luz e gás carbônico em combustível” • Perguntas para levantamento dos conhecimentos prévios 	DISCUSSÃO
CONCEITUALIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Questão: Na fotossíntese, como ocorre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento e moléculas que compõem a massa corporal das plantas? 	COMUNICAÇÃO
INVESTIGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Transformando uma imagem em um vídeo/elaborando o roteiro 	REFLEXÃO
CONCLUSÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Produção do vídeo de animação ou <i>storyboard</i> • Perguntas de conclusão 	<ul style="list-style-type: none"> • Exibição e discussão dos trabalhos criados • Retomada da pergunta de investigação

Fonte: elaborado pela autora.

Na fase de Contextualização temos a pergunta problematizadora “*Na fotossíntese, como ocorre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento e moléculas que compõem a massa corporal das plantas?*”. Buscou-se nesta questão centrar a atenção do aluno ação das transformações que ocorrem na fotossíntese, pois com isso seria possível que os discentes

focassem na elaboração de hipóteses para explicar as mudanças moleculares e energéticas desse processo.

A Investigação acontece através de dois elementos: observação e interpretação de uma imagem com a estrutura do cloroplasto e das etapas da fotossíntese, muito comum nos livros didáticos (Figura 28); e da “Ficha de elaboração do roteiro”.

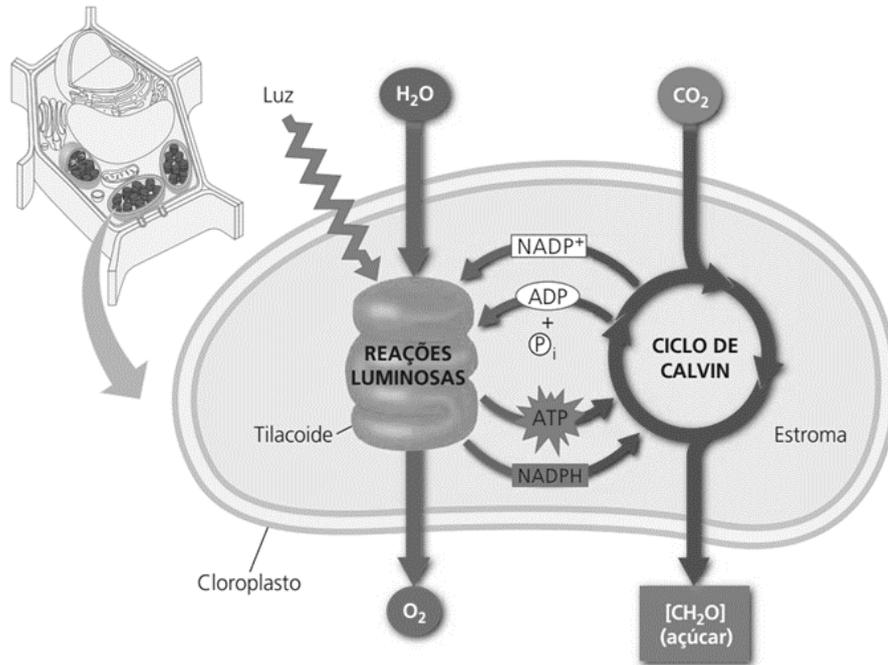


Figura 28: Uma visão geral da fotossíntese. Fonte: Reece *et al.* (2015. p.189).

Buscou-se utilizar uma imagem devido às dificuldades que os estudantes apresentam na interpretação de texto. Assim, a intenção foi que os discentes analisassem atentamente esta figura e que a transpusessem para uma forma escrita a partir dos elementos de mediação presente na “Ficha de elaboração do roteiro” (Figura 29). Segundo Martins e colaboradores (2005), “as imagens são recursos relevantes para a comunicação de ideias científicas” (p.38). Pozzer-Ardenghi e Roth (*apud* COUTINHO *et al.*, 2010), seguem na mesma linha ao tratá-las como “meio amplamente aceito no diálogo científico, tendo um potencial particular para comunicar aspectos da natureza e para indicar o conteúdo de ideias (p.3). Desta maneira, também é relevante que os alunos aprendem a fazer interpretação de imagens.

Segundo com Field (*apud* GUIMARÃES, 2009), “o roteiro é uma história contada em imagens, diálogos e descrições, localizada no contexto da estrutura dramática”. No âmbito pedagógico desta atividade, o roteiro que os alunos devem criar é composto por três elementos básicos: personagens, cenário e ação. Esses elementos ajudam os discentes na

leitura/interpretação da Figura 28.

O trabalho de Martins, Gouvêa e Piccinini (2005), sobre a utilização de imagens em sala de aula, constatou que elas permitem a localização de estruturas e suas possíveis funções; e demonstram ações dinâmicas, como movimentos, mudanças de lugar, etc., possibilitando fazer relações espaciais entre a parte e o todo. Assim, percebemos a potencialidade de utilizar imagens para que os alunos investiguem as complexas transformações que ocorrem na fotossíntese, bem como mostrar as relações entre a etapa fotoquímica e química.

FICHA DE ELABORAÇÃO DE ROTEIRO

O grupo deve criar um roteiro, ou seja, uma espécie de texto que conta uma história, que vocês usarão para criar um *storyboard* ou pequeno filme de animação.

O roteiro será composto por três elementos básicos: personagens, cenário e ação. Também é possível acrescentar a descrição de imagens e sons, além de fornecer todos os dados necessários para que os membros do grupo possam desenvolver seus respectivos trabalhos.

Use as perguntas abaixo para estruturar o seu roteiro:

Vocabulário: *storyboard* é um tipo de história em quadrinhos visualização das cenas de filmes.

PERSONAGENS:

- Quais são os personagens (elementos/moléculas e formas de energia) envolvidos?

AÇÃO/CRIAÇÃO DAS CENAS:

- Qual o papel de cada personagem?
- Como eles interagem?
- O que cada um faz?

CENÁRIO:

- Onde as cenas irão ocorrer?
- Quando ocorrem?

Figura 29: Ficha de elaboração do roteiro presente do guia “Luz, câmera e fotossíntese em ação”. Fonte: Elaborado pela autora (p.156 - Apêndice A).

A profundando a discussão sobre a “Ficha de elaboração do roteiro”, os personagens na história criada pelos alunos são as moléculas e formas de energia envolvidos na fotossíntese, como a luz, a água, o gás carbônico, etc. Para elaboração e descrição das cenas, os educandos precisam pensar nas ações que ocorrem nesse processo, dando atenção as setas presentes na Figura 28, que mostram as ligações entre os elementos captados do ambiente e as moléculas intercambiadas entre as reações fotoquímica e química. Desta forma, eles terão que analisar a Figura 28 em busca do conteúdo, das informações e sentidos contidos nela para construção das cenas. Assim, para auxiliar os alunos nessa observação o guia apresenta três perguntas: “Qual

o papel de cada personagem?”; *“Como eles interagem?”* e *“O que cada um faz?”*. Além disso, os alunos também precisam pensar sobre o cenário da animação, se tornando conscientes da estrutura dos cloroplastos, a medida que investigam a figura proposta. Com esse intuito, eles são estimulados a pensar em duas questões: *“Onde as cenas irão ocorrer?”* e *“Quando ocorrem?”*. Usou-se a palavra “quando” para que os alunos percebam em que momento as reações acontecem, para notarem a necessidade de luz na fase fotoquímica e a dependência dos produtos da primeira reação para ocorrência da fase química.

Após a elaboração dos roteiros há uma etapa anterior a produção das animações, chamada de pré-produção. Ela é relevante na elaboração de vídeos, pois envolve toda a preparação para execução do roteiro (SILVA, 2016). Nesta etapa da atividade cada aluno deve assumir um papel como membro da equipe necessário para a criação do material audiovisual e precisam deixar isso registrado na “Ficha de pré-produção (ver página 161 no Apêndice A).

Assim, os discentes têm que eleger os membros do grupo responsáveis por funções como: separação do material necessário para a animação; elaboração e montagem do cenário; animador (responsável por movimentar as peças que serão animadas); operador de câmera e luz, que tira as fotos e controla a luz durante o processo de animação; e editor de vídeo, que fará a edição final, adição de sons, falas, legendas, créditos finais e etc.

Dialogando com o trabalho de Krasilchik (2004), podemos caracterizar a “Ficha de elaboração do roteiro” e a “Ficha de pré-produção” como elementos de elaboração do plano de trabalho do projeto, pois configuram momentos nos quais os alunos discutem, debatem e decidem sobre como realizar as tarefas. Esta autora ainda afirma que para a execução do plano elaborado é necessária a divisão de tarefas entre os membros do grupo (*ibid.*, 2004).

A partir dos elementos apresentados podemos perceber que o trabalho em grupo e a capacidade de autogestão são fundamentais para a execução do vídeo de animação. Neste contexto, também percebemos a valorização da interação entre sujeitos e a necessidade de liberdade intelectual, como proposto no consenso construtivista (SCARPA, 2017a), para a construção dos conhecimentos, e de competências e habilidades.

Prosseguindo com a análise do Quadro 7, na etapa de Conclusão os alunos irão sistematizar o que aprenderam através da criação do vídeo de animação quadro-a-quadro, ou no caso de escolas com menos recursos, pode-se optar pela elaboração do *storyboard*, que é um “conjunto de desenhos que possibilitam à equipe visualizar cada cena de um filme, que materialmente, assemelha-se a uma história em quadrinhos” (GUIMARÃES, 2009, p.33). Somamos a definição citada anteriormente a ideia de que ele é desenhado pensando em como as cenas serão quando o filme estiver pronto (VAN DER MEER; TACAHASHI, 2021). Porém,

no contexto pedagógico desta atividade, ele substituirá a criação do vídeo, uma vez que, não necessita de recursos, como celular ou máquina fotográfica, que podem ser pouco acessíveis à comunidade discente em alguns contextos. Assim, são utilizados apenas materiais escolares simples, como papel, lápis de cor, canetinha ou giz de cera, entre outros. De acordo com esses autores, os desenhos não precisam ser muito detalhados, mas devem mostrar com clareza as ideias presentes no roteiro (*ibid.*, 2021).

Para facilitar a organização do *storyboard* o professor pode fornecer aos estudantes uma folha de papel com marcações dos quadrantes, para que os alunos desenhem as cenas; e um espaço com linhas, para uma breve descrição da ação (ver página 163 no Apêndice A).

Segundo Caruso e Silveira (2009), a utilização de histórias em quadrinhos vem se difundindo no ensino por sua capacidade de integrar conhecimento científico e produção artística, carregada de espírito crítico. Assim, acreditamos que a substituição, do produto discente, de um vídeo para uma história em quadrinhos, não acarretará perdas pedagógicas, e pode ser uma solução viável para realidades onde os alunos não contam com acesso a *smartphones*.

De modo semelhante ao guia anterior, a Discussão ocorre ao longo de diversas fases da atividade e a Reflexão é enfatizada no último encontro, com a apresentação dos trabalhos produzidos pelos alunos. Sugerimos que o professor realize a exibição dos vídeos ou dos *storyboards* e faça uma discussão com a turma sobre os produtos, chamando atenção para possíveis equívocos. Este momento também serve para os estudantes perceberem os diferentes caminhos escolhidos pelos grupos, que certamente produzem vídeos bem distintos mesmo partindo do mesmo tema, por conta das singularidades e diferenças na compreensão sobre processo fotossintético em cada equipe. Após essa discussão realiza-se a retomada sobre a pergunta de investigação, para os alunos refletirem sobre os conhecimentos aprendidos.

Utilizando a categorização de Machado e Sasseron (2012) no segundo guia obtivemos o Quadro 8. Novamente percebemos que todas as categorias estão presentes nesta atividade do produto e constatamos a ausência de perguntas que fizessem referência à aplicação dos conhecimentos aprendidos em outros contextos.

Quadro 8: Aplicação da categorização de Machado e Sasseron (2012) nas perguntas do guia “Luz, câmera e fotossíntese em ação”.

Categories	Classificação das perguntas	Etapa do Ciclo Investigativo
Perguntas de problematização	Em que o aumento da gasolina influencia no seu dia a dia? Por que esse combustível aumenta? Do que a gasolina é feita? Existem alternativas ao uso da gasolina? Quais seres vivos realizam a fotossíntese? O que é preciso para que a fotossíntese aconteça? O que é produzido nesse processo? Qual a diferença da fotossíntese artificial para a natural? Na fotossíntese, como ocorre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento e moléculas que compõem a massa corporal das plantas?	Orientação e Contextualização
Perguntas sobre dados	Quais são os personagens (elementos/moléculas e formas de energia) envolvidos? Qual o papel de cada personagem?	Investigação
Perguntas exploratórias	Como eles interagem? O que cada um faz? Onde as cenas irão ocorrer? Quando ocorrem?	Investigação
Perguntas de sistematização	Pensando novamente na sua resposta à pergunta de investigação, sobre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento, continua a mesma? O que você modificaria ou acrescentaria, por quê?	Conclusão

Fonte: Elaborado pela autora.

A luz do que foi discutido, compreendemos que o segundo guia, por meio da produção de vídeos de animação, tem potencial de promover a aprendizagem sobre as transformações na fotossíntese, atingindo assim o seu objetivo didático. Os alunos terão que mostrar uma série de acontecimentos dinâmicos, que em formatos estáticos como textos e imagens, sofrem limitações que podem dificultar a compreensão da fotossíntese.

Dando continuidade aos resultados e discussão, trataremos sobre o último guia, denominado “A fantástica fábrica microbiológica de plástico”. Nele são abordados conteúdos sobre a influência de fatores ambientais na fotossíntese, contando com a utilização do simulador virtual *PhotoLab* da *KScience*.

Para avaliarmos a aplicação do Ciclo Investigativo no terceiro guia elaborou-se o Quadro 9. Nesta atividade, a fase de Orientação conta com dois elementos: o vídeo “Poluição plástica em números e imagens”, da Pesquisa FAPESP; e o texto “A fantástica fábrica microbiológica de plástico”, baseado no artigo, não assinado, “Projeto investiga como transformar CO₂ de algas e cianobactérias em bioetanol e plástico verde” (AGÊNCIA FAPESP,

2022) e no trabalho de Koch e colaboradores (2020).

Quadro 9: Aplicação do Ciclo Investigativo de Pedaste (2015) no guia “A fantástica fábrica microbiológica de plástico”.

ORIENTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Vídeo “Poluição plástica em números e imagens” • Texto “A fantástica fábrica microbiológica de plástico” • Perguntas para levantamento dos conhecimentos prévios 	DISCUSSÃO
CONCEITUALIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Questão: Quais condições de luminosidade (intensidade e cor), concentração de CO₂ e temperatura favorecem o aumento da fotossíntese? 	COMUNICAÇÃO
INVESTIGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Simulador Photolab • Construção de tabelas e gráficos 	REFLEXÃO
CONCLUSÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Perguntas de conclusão 	<ul style="list-style-type: none"> • Retomada da pergunta de investigação • Reflexão sobre as limitações do simulador

Fonte: elaborado pela autora.

Utilizou-se o vídeo na primeira etapa da atividade para estimular uma discussão com os estudantes sobre poluição plástica. Visando auxiliar a mediação do professor com esse material foram elaboradas cinco perguntas de levantamento dos conhecimentos prévios: “*O que você acredita que acontece com todo esse material plástico?*”; “*Qual o problema envolvido nessa situação?*”; “*O que você entende com a palavra biodegradável?*”; “*O plástico pode ser considerado um material biodegradável?*”; “*Você concorda com o termo “planeta plástico” usado no vídeo? Por quê?*”; e “*Como seria possível resolver o problema do plástico?*”.

Essas questões auxiliam o professor a guiar uma discussão que explora o viés Ambiental

da abordagem CTSA. Contudo, acreditamos que a última pergunta tenha grande potencial de instigar nos alunos respostas relacionadas a dimensão Social, com explicações ressaltando os cinco R's (repensar, reduzir, recusar, reutilizar e reciclar). Assim, a intenção ao propô-la é fazer os alunos refletirem sobre outras possibilidades que promovam a substituição do plástico derivado do petróleo, por novos materiais, com características similares ao plástico sintético, mas de fácil degradação.

Neste contexto de novas tecnologias, é usado um texto que relaciona a fotossíntese de cianobactérias do gênero *Synechocystis* à produção de polihidroxibutirato (PHB), um tipo de bioplástico, como uma forma de amenização do problema do lixo plástico (KOCK, *et al.*, 2020). Portanto, esse texto alinha uma temática de fácil compreensão de seus aspectos sociais e ambientais, com desenvolvimento do conhecimento científico associado a novas tecnologias, mostrando todos os aspectos da abordagem CTSA.

Retomando a análise do Quadro 9, na Contextualização, após a leitura do texto os estudantes são motivados a pensarem nos passos das equipes de pesquisa que trabalharam com o desenvolvimento do PHB. Elas realizaram estudos sobre o melhoramento genético das cianobactérias, estabeleceram quais condições ambientais intensificavam a produção desse material. O texto explicita que o bioplástico em questão é um subproduto do metabolismo fotossintético das cepas de cianobactérias estudadas. Neste cenário, os alunos terão que responder à pergunta de investigação: “*Quais condições de luminosidade (intensidade e cor), concentração de CO₂ e temperatura favorecem o aumento da fotossíntese?*” e elaborar hipóteses que serão testadas através do simulador virtual.

Na fase de Investigação os alunos serão guiados por uma experiência de aprendizagem utilizando o simulador virtual *PhotoLab*. Com esse objetivo elaborou-se um Roteiro de experimentação (ver página 171 no Apêndice A), apresentando o espaço do laboratório virtual e indicando aos alunos os comandos e ferramentas presentes no simulador (Figura 30). Essa medida foi necessária, pois apesar de o simulador ser muito intuitivo, ele apresenta legendas explicativas em língua inglesa.

No simulador os discentes precisam investigar quais são as melhores condições para o crescimento de seres fotossintetizantes, refletindo como os fatores ambientais interferem nesse processo, para maximizar a produção de bioplástico.

Os trabalhos de Hillesheim e Schottz (2014); de Santos (2018); e de Gregório e colaboradores (2016), destacam a relevância da mediação e orientação dos professores em atividades com simuladores. Desta forma, compreendemos que o roteiro de experimentação presente neste guia é uma ferramenta para facilitar a mediação dos professores e alunos com o

simulador. A produção do roteiro não é uma questão trivial, pois orientará a investigação. Além disso, sua elaboração contou com o olhar e trabalho da pesquisadora, para adaptar o uso do simulador para o nível de compreensão de alunos de Ensino Médio e propor comandos claros e objetivos aos discentes, como sugerido por Filatro (2018), ao tratar da curadoria de materiais de terceiros.

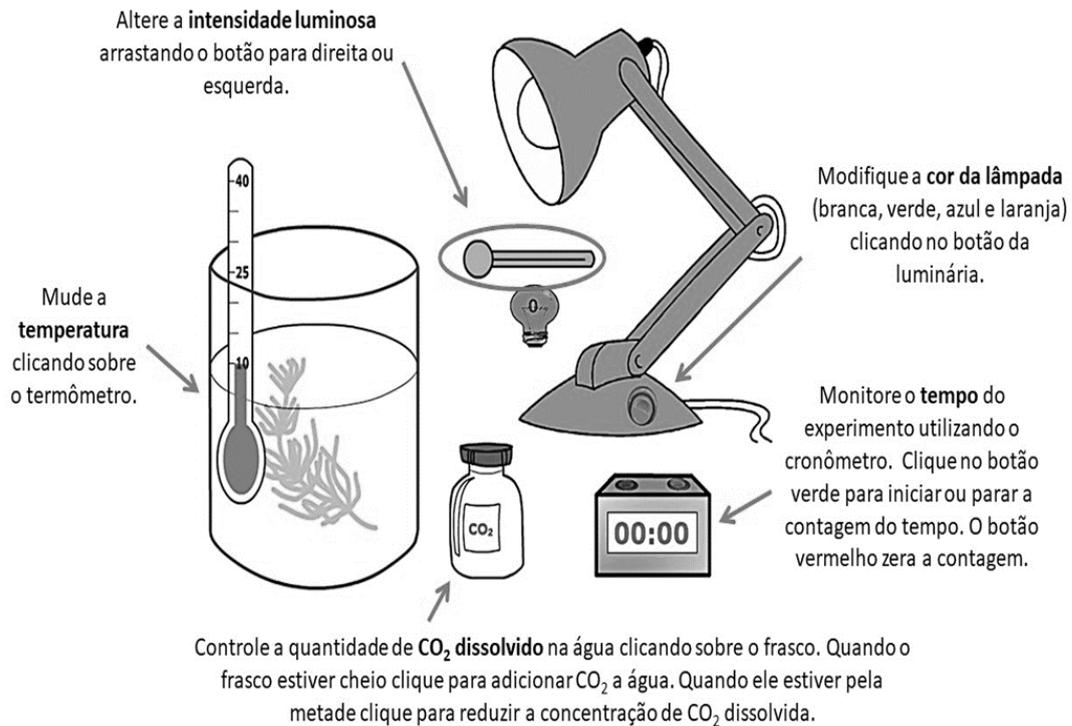


Figura 30: Localizando e compreendendo os comandos no simulador Photolab. Fonte: imagem extraída de *Photolab* e legendas criadas pela autora (p.171 - Apêndice A).

A partir do roteiro e utilizando o simulador, ainda na etapa de Investigação, os alunos obtêm dados sobre a influência da cor da luz utilizada, a intensidade luminosa, a concentração de CO₂, e variação na temperatura na fotossíntese.

Alguns elementos do roteiro foram inspirados na vivência do “Curso de Férias Online: Laboratório Virtual de Fermentação”, do qual participei como monitora. O formato dos “Cursos de Férias” foi idealizado pelo professor Leopoldo de Meis na década de 80 e segue sendo oferecido regularmente pelo Instituto de Bioquímica Médica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. (RUMJANEK; DA-SILVA, 2019). O curso integra atividades práticas (conceito de “*hands on*”), com extrema liberdade para os cursistas determinarem as perguntas que desejam investigar, e estabelecer os protocolos experimentais em busca de formas para respondê-las (conceito “*minds on*”) (*ibid.*, 2019). Esses autores ainda ressaltam que:

São os próprios alunos, que divididos em pequenos grupos, fazem as perguntas, sugerem os experimentos, realizam os experimentos, discutem os resultados, criam hipóteses, apresentam seus resultados publicamente para os colegas e continuam a realizar novos experimentos até conseguirem encontrar um resultado que os satisfaça (*ibid.*, 2019, p.6).

Neste sentido, o “Curso de Férias” pode ser classificado como uma atividade com grau de liberdade 5, diferindo do guia do produto “A fantástica fábrica microbiológica de plástico”, que apresenta grau 3. No guia os alunos, de forma análoga ao “Curso de Férias”, têm a liberdade de pensar sobre quais hipóteses e protocolos experimentais querem utilizar no simulador para compreender a influência dos fatores ambientais na fotossíntese. Assim, no guia não há um passo a passo estabelecido sobre como realizar o experimento. Há apenas uma indicação para eles planejarem previamente as simulações que realizarão, sugerindo-se que o aluno pense em qual parâmetro irá variar e quais manterão constantes. Com o intuito de facilitar a atuação dos estudantes recomendou-se o registro das condições experimentais testadas segundo um modelo presente no roteiro (Figura 31).

- Planeje previamente as simulações que serão realizadas, pense em qual parâmetro irá variar e quais serão mantidos constantes.
- Registre as condições experimentais testadas e anote os resultados, como mostrado na sugestão a seguir:

	Variável alterada	Variáveis Constante	Nº de bolhas	Interpretação do resultado
Condição 1				
Condição 2				
Condição 3				
Condição 4				

Figura 31: Modelo de registo experimental. Fonte: Elaborada pela autora (p.172 - Apêndice A).

Ressaltamos ainda que os discentes precisam coletar dados para construção de gráficos. Desta maneira, no terceiro guia os alunos precisam se apropriar da linguagem matemática para fortalecer seus argumentos. Neste sentido Carvalho e Sasseron (2018), ao discutirem sobre uso competente desse elemento, relatam que para os alunos os gráficos são informações desprovidas de sentido, que precisam ser decoradas. Por isso, as autoras refletem que “os alunos precisam ser apresentados a situações em que possam aprender a transitar entre essas diferentes linguagens, interpretando os significados nelas envolvidos” (*ibid.*, 2018, p.48), como proposto no terceiro guia do produto desta pesquisa.

Retomando a análise do quadro 9, a Conclusão conta com três perguntas: “*O que você*

imaginava que aconteceria antes de realizar investigação pôde ser confirmado pelos testes no simulador? O que você modificaria?”; “O simulador foi capaz de ajudar a responder todas as questões levantadas por você? Ou há aspectos que esta atividade não esclareceu, que necessitariam de estudos futuros?”; e “Vocês acreditam que a produção em larga escala de bioplástico resolve o problema estudado?” (ver páginas 172 e 173 no Apêndice A).

A primeira ajuda os alunos a retomarem as concepções prévias após a análise dos resultados. A segunda serve para levar o estudante a pensar sobre o uso do simulador virtual, estimulando percepções a respeito de “como se aprende” (subfase de Reflexão), levando os educandos a ponderarem em relação aos limites do uso da metodologia empregada na investigação (PEDASTE, *et al.*, 2015). E a última pergunta retoma a questão do lixo plástico, indagando-os se isso resolveria o problema.

No tocante a terceira questão, podemos dialogar com Sasseron (2014a), que afirma que cabe a educação escolar “oferecer condições para que os indivíduos consigam viver e conviver com esses novos conhecimentos e tecnologias, avaliando-os e refletindo sobre o seu uso em um contexto específico” (p.50). Deste modo, os alunos precisam refletir sobre o consumo sustentável, visto que, o uso do bioplástico na mesma escala do plástico comum requer a utilização de recursos e energia em abundância, acarretando outros impactos ambientais. Desta forma, o professor poderá tratar a resolução de problemas causados pela ação antrópica de forma mais ampla, mostrando que as novas tecnologias são importantes como parte da solução, mas que também podem estar relacionadas a novos problemas. Assim o docente pode tratar sobre mudanças no nosso padrão de consumo.

Ao aplicarmos a categorização de Machado e Sasseron (2012) as perguntas do terceiro guia do produto obtivemos o Quadro 10, no qual notamos a presença de questões em todas as categorias. Mas verificamos uma baixa quantidade de “perguntas sobre dados”, que pode ser explicada pelo modelo adotado na atividade com menor diretividade e mais autonomia dos estudantes em relação à exploração do simulador para obtenção dos dados.

Quadro 10: Aplicação da categorização de Machado e Sasseron (2012) as perguntas do guia “A fantástica fábrica microbiológica de plástico”.

Categorias	Classificação das perguntas	Etapa do Ciclo Investigativo
Perguntas de problematização	<p>O que você acredita que acontece com todo esse material plástico?</p> <p>Qual o problema envolvido nessa situação?</p> <p>O que você entende com a palavra biodegradável? O plástico pode ser considerado um material biodegradável?</p> <p>Você concorda com o termo “planeta plástico” usado no vídeo? Por quê?</p> <p>Como seria possível resolver o problema do plástico?</p>	Orientação e Contextualização
Perguntas sobre dados	Quais condições de luminosidade (intensidade e cor), concentração de CO ₂ e temperatura favorecem o aumento da fotossíntese?	Investigação
Perguntas exploratórias	<p>Proponha uma hipótese, a partir dos seus conhecimentos, para responder à questão de pesquisa.</p> <p>Forneça uma justificativa para sua hipótese, ou seja, por que você acha isso?</p>	Investigação
Perguntas de sistematização	<p>Após obter os resultados dos experimentos compare-os com as suas hipóteses iniciais. O que você imaginava que aconteceria antes de realizar investigação pode ser confirmado pelos testes no simulador? O que você modificaria? Justifique sua resposta baseado nos dados coletados durante a simulação.</p> <p>O simulador foi capaz de ajudar a responder todas as questões levantadas por você? Ou há aspectos que esta atividade não esclareceu, que necessitariam de estudos futuros?</p> <p>Agora que já compreendemos como alguns fatores podem influenciar a fotossíntese, maximizando a produtividade dos seres fotossintetizantes, voltaremos à discussão a inicial sobre o plástico. Vocês acreditam que a produção em larga escala de bioplástico resolve o problema estudo?</p>	Conclusão

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do que foi apresentado e discutido, compreendemos que o terceiro guia do livro eletrônico “Fotossíntese em Ação” pode cumprir o objetivo de propiciar o ensino sobre a influência de condições ambientais na fotossíntese, através do roteiro de experimentação elaborado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desejando contribuir com a melhoria do ensino, de um tema complexo como a Fotossíntese, esta pesquisa apresentou como produto final o livro eletrônico “Fotossíntese em ação: Um guia de atividades investigativas com estratégias diversificadas e perspectiva CTSA”.

Além de oferecer três atividades sobre fotossíntese no Ensino Médio, nos preocupamos em fornecer no livro um material que contribuísse com a formação docente, trazendo também um aporte teórico sobre as bases do ensino por investigação e da metodologia do Ciclo Investigativo de Pedaste (2015). Assim, a leitura do produto pode auxiliar o professor na reflexão sobre sua prática, que pode desencadear na busca por novas metodologias capazes de reconstruir suas ações a partir de novos pressupostos pedagógicos.

Também destacamos a potencialidade dos dados da análise sobre a fotossíntese nos livros didáticos, do objeto 2, de Ciências da Natureza (PNLD 2021), de oferecer ao corpo docente informações capazes de contribuir com outras pesquisas, como discussões acerca das transformações curriculares que vem acontecendo, devido à implementação das diretrizes da BNCC e do Novo Ensino Médio nesses materiais. Compreendemos ainda que essa pesquisa forneceu resultados relevantes para criação do produto, para que pudéssemos preencher as lacunas encontradas nos livros didáticos, relacionadas a fotossíntese.

No tocante as atividades, elas atingem o objetivo principal do produto de oferecer propostas diversificadas, que estimulem a leitura, a interação entre os estudantes, a criatividade e a liberdade intelectual dos discentes.

Como perspectiva deste trabalho acreditamos na necessidade de aplicação do material, que pode trazer novos dados para o aprimoramento do *e-book*. Também pensamos em outros modos de divulgação do produto, como a impressão do livro, e até mesmo outras modalidades eletrônicas, como uma página web, ou outros meios virtuais, que pudesse ser um espaço de disseminação do conteúdo do e-book e também um local que permitisse o contato com os docentes. Neste sentido, os docentes poderiam dar opiniões sobre o material, suas impressões sobre a aplicação e adaptações que realizaram em suas aulas, na perspectiva de aprimorar o produto. Esperamos também contar com um canal de trocas, como uma espécie de “fórum” de discussões sobre o livro, estimulando conversas entre os professores, e dos professores com pesquisadora/autora do produto.

Além disso, percebemos o grande potencial de inserir futuramente propostas interdisciplinares nos guias desse produto. Por exemplo, no segundo guia pode ser realizado um trabalho interdisciplinar com professores de Português para criação do roteiro; com docentes de

Artes e/ou Desenho para elaboração dos *storyboards*; em Física podem ser estudadas as trajetórias do movimento dos objetos que serão animados; e com a Química é possível discutir, com outro olhar, as reações envolvidas na fotossíntese.

Finalizamos esta pesquisa com grandes expectativas de colaborar com práticas para transformação tanto da ação docente, quanto para um ensino de Biologia pautado no protagonismo dos alunos e na formação de estudantes capazes de perceber as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, para uma formação cidadã.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA FAPESP. **Projeto investiga como transformar CO₂ de algas e cianobactérias em bioetanol e plástico verde.** 2022. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/projeto-investiga-como-transformar-co2-de-algas-e-cianobacterias-em-bioetanol-e-plastico-verde/37957/>. Acesso em: 03/05/2022

AGUILAR, J.B.; NAHAS T.; AOKI, V.L.M. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias - ambiente e ser humano.** São Paulo: Edições SM, 2020.

ALVARADO-PRADA, L.E; FREITAS, T.C; FREITAS, C.A. Formação continuada de professores: alguns conceitos, interesses, necessidades e propostas. **Revista Diálogo Educacional**, v. 10, n. 30, p.367-387, 2010.

ALVES, M.; BEGO, A.M. A Celeuma em Torno da Temática do Planejamento Didático-Pedagógico: Definição e Caracterização de seus Elementos Constituintes. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p.71-96, 2020.

AMABIS, J.M. *et al.* **Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias - matéria e energia.** São Paulo: Moderna, 2020.

ANDRADE, G.T.B. Percursos históricos de ensinar ciências através de atividades investigativas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 13, n. 1, p.121-138, 2011.

BANDEIRA, C.M.S. **A fotossíntese: estudo das concepções alternativas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie. 2011. Disponível em: http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/CCBS/Cursos/Ciencias_Biologicas/1o_2012/Biblioteca_TCC_Lic/2011/1o_2011/Camila_Bandeira.pdf. Acesso em: 20/08/2020.

BAKER, J.J.W.; ALLEN, G.E. Fotossíntese. In: **Estudo da Biologia.** v. 1. 1ed. Editora Edgard Blücher. 1975. São Paulo.

BASTOS, A.M.G.L. *et al.* **A construção do livro didático na EAD/Ensp:** Normas para os autores. Rio de Janeiro: Fiocruz/ENSP/EAD, 2010.

BATISTA, R.F.M. O uso de abordagens histórica-investigativa na reelaboração de roteiros da Experimentoteca do CDCC-USP. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

BATISTA, R.F.M; SILVA, C.C. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos avançados**, v. 32, p.97-110, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Resolução CNE/CEB nº 2/2012. Diário Oficial da União, Brasília, 31 de janeiro de 2012, Seção 1, p.20.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2017a. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versoafinal_site.pdf. Acesso em: 20/02/2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD 2018: Biologia – Guia de livros didáticos – Ensino Médio**. Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2017b.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 20/02/2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Secretaria de Educação Básica. Guia Digital do PNLD 2021 - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Disponível em: https://pnld.nees.ufal.br/pnld_2021_didatico/inicio Acesso em: 29/06/2022.

CAMPOS, A.R.; NETO, W.N.A. *Stop Motion* e Semiótica na Criação Audiovisual: elementos de uma atividade com estudantes no Ensino Médio. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 3, 2021.

CARUSO, F.; SILVEIRA, C. Quadrinhos para a cidadania. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p.217-236, mar. 2009.

CARVALHO, A.M.P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, p.1-20, 2013a.

CARVALHO, A.M.P. Formação de professores de ciências: duas epistemologias em debate. **Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas**, n. extra, p. 2784-2790, 2013b.

CARVALHO, A.M.P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p.765-794, 2018.

CARVALHO, A.M.P.; GIL-PEREZ, D. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CARVALHO, A.M.P.; SASSERON, L.H. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, v. 32, p.43-55, 2018.

CONANT, J.B. The overthrow of the phlogiston theory: the chemical revolution of 1775-1789. In: **Harvard case histories in experimental science**, v. 1. Cambridge: Harvard University Press, 1957

CORDEIRO, S.T.P. *et al.* **Desenvolvimento de jogo para o ensino de Biologia: ludo da fotossíntese**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

COSTA, D.G.; SALVADOR, M.A.T. Concepções de estudantes do curso de licenciatura em Ciências Biológicas acerca do ensino por investigação. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 3, p.1-25, 2021.

COSTA, F.J.; CHAVES, A.C.L.; COUTINHO, F.G. Detecção de aspectos que podem dificultar a aprendizagem nas imagens de fotossíntese dos livros didáticos de biologia. **Revista da SBEnBio**—Número, v. 3, p.607, 2010.

COUTINHO, F.G. *et al.* Análise do valor didático de imagens presentes em livros de Biologia para o ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 3, 2010.

CUNHA, A.M.O.; KRASILCHIK, M. A formação continuada de professores de ciências: percepções a partir de uma experiência. **Reunião Anual da ANPED**, v. 23, p.1-14, 2000.

CRUZ, J.A.; AVENSON, T.J. Photosynthesis: a multiscopic view. **Journal of plant research**, v. 134, n. 4, p.665-682, 2021.

DINIZ, R. E. da S.; CAMPOS, L. M. L.; KÜHL, L. W. Os novos conhecimentos no campo da biologia e a sala de aula: proposta de formação continuada de professores. **Unesp – escola: Núcleos de Ensino**. Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação: Editora da UNESP, p.264-278, 2006.

FILATRO, A.C. **Design de Conteúdos Educacionais**. Portal Educação UOL. São Paulo. 2017.

FILATRO, A.C. **Como preparar conteúdos para EAD**. Saraiva Educação SA, 2018

FNDE. **Dados estatísticos**. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/pnld/dados-estatisticos>. Acesso em: 12/04/2022

GODOY, L.P; DELL'AGNOLO, R.M.; MELO, W.C. **Multiversos: ciências da natureza - matéria, energia e a vida**. São Paulo: Editora FTD, 2020.

GREGÓRIO, E.A.; OLIVEIRA, L.G.; MATOS, S.A. Uso de simuladores como ferramenta no ensino de conceitos abstratos de Biologia: uma proposição investigativa para o ensino de síntese proteica. **Experiências em ensino de Ciências**, v. 11, n. 1, p.101-125, 2016.

GUIMARÃES, R.L.D. **Primeiro traço: manual descomplicado de roteiro**. Salvador: EDUFBA, 2009.

HAGA, K. I. Proposta para aprendizagem contextualizada e interdisciplinar: I. Fotossíntese. In: Garcia, W.G.; Guedes, A.M. (Org.). **Núcleos de Ensino**. São Paulo: UNESP, 2003, v. 1, p.383-391. Disponível em: Acesso em: 12/04/2022.

HILLESHEIM, G.J.; SCHOTTZ, E.S Eliane de Souza. Softwares simuladores interativos aplicados ao estudo de biologia. **Maiêutica-Ciências Naturais**, v. 1, n. 1, 2014.

HUSSAIN, S. *et al.* Photosynthesis research under climate change. **Photosynthesis research**, v. 150, n. 1, p.5-19, 2021.

IATSKIU, P. *et al.* Formação continuada e modalidades didáticas para o ensino de ciências e biologia. **Ensino & Pesquisa**, 2014.

KAWASAKI, C.S.; BIZZO, N.M. Fotossíntese: um tema para o ensino de ciências. **Química nova na escola**, v.12, n.11, p.24-29, 2000.

KLEPKA, V. **História da ciência como instrumento de reflexão metodológica no ensino de biologia**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Maringá, 2014.

KRASILCHIK, M. **O Professor e o Currículo das Ciências**. São Paulo, Ed. EPU da Universidade de São Paulo, 1987.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em perspectiva**, v. 14, n. 1, p.85-93, 2000.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. 4ª ed. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

KOCH, M. *et al.* Maximizing PHB content in *Synechocystis* sp. PCC 6803: a new metabolic engineering strategy based on the regulator PirC. **Microbial cell factories**, v. 19, n. 1, p.1-12, 2020.

LEAL, C.A. Uma breve análise do objeto 2 do PNLD 2021 no itinerário “Ciências da Natureza e suas Tecnologias”: o que cabe ao ensino de biologia? **IX Encontro de Didática e Práticas de Ensino (EDIPE)**, encontro remoto, 2021. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Cristianni-Leal/publication/355797123_UMA_BREVE_ANALISE_DO_OBJETO_2_DO_PNLD_2021_NO_ITINERARIO_Ciencias_DA_NATUREZA_E_SUAS_TECNOLOGIAS_O_QUE_CABE_AO_ENSINO_DE_BIOLOGIA/links/617f2fcaa767a03c14dab625/UMA-BREVE-ANALISE-DO-OBJETO-2-DO-PNLD-2021-NO-ITINERARIO-CIENCIAS-DA-NATUREZA-E-SUAS-TECNOLOGIAS-O-QUE-CABE-AO-ENSINO-DE-BIOLOGIA.pdf
Acesso em: 23/06/2022

LEITE, B.S. *Stop motion* no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**. – São Paulo-SP, BR. v. 42, n. 1, p.13-20, 2020

LEMOS, L.A.; JUSTINA, L.A.D. A temática fotossíntese presente em livros didáticos do ensino médio brasileiro. **Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo**. v.13, 2021, p.1-18.

LIESENFELD, V. *et al.* Fotossíntese: utilização de um modelo didático interativo para o processo de ensino e aprendizagem. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 13, n. 1, p.9-26, 2015.

LIMONGI, C. *et al.* O que pensam os alunos sobre o ensino de Ciências e Biologia – um diagnóstico do Campus Tijuca II. **Anais da V Jornada Pedagógica do Ensino de Ciências e Biologia do CPII**. Rio de Janeiro, 2018.

LOPES, S.; ROSSO, S. **Ciências da natureza - Lopes & Rosso: água, agricultura e uso da terra**. São Paulo: Moderna, 2020.

MACHADO, V.F.; SASSERON, L.H. As perguntas em aulas investigativas de ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p.29-44, 2012.

MARTINS, L.A.C.P. A história da ciência e o ensino da biologia. **Ciência & Ensino**, v. 5, n.2, p.18-21, 1998.

MARTINS, L.A.C.P.A. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, p.305-317, 2005.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G. e PICCININI, C. L. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura**, n. 57, p.38-40, 2005.

MATTHEWS, M.S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p.164-214, 1995.

MENDES, J.R.S. **O papel instrumental das imagens na formação de conceitos científicos**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MOREIRA, M.A. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.

MORTIMER, E. *et al.* Matéria, Vida e Energia: Uma abordagem interdisciplinar. São Paulo: Editora Scipione, 2020.

NASCIMENTO, A.L.L.M. **Sequência de Ensino Investigativa interdisciplinar sobre fotossíntese**. Dissertação (mestrado) - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - IFRJ, Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

NASH, L. K.; Plants and the Atmosphere. In: **Harvard Case Histories in Experimental Science**, v. 2, Cambridge: Harvard University Press, 1957.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Artmed Editora, 2014.

NERY, A.L.P.; LIEGEL, R.M.i, AOKI, V.L.M. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias - matéria e transformações**. São Paulo: Edições SM, 2020.

NIGRI, P.; BARROS, M.D.M.; REZENDE, J.L.P. Um olhar sobre as concepções prévias dos alunos do terceiro ano do ensino médio a respeito de temas na área de botânica. In: **Anais do II Encontro Nacional de Ensino de Biologia**, Uberlândia. São Paulo: Associação Brasileira de Ensino de Biologia – SBEnBio, 2007. Disponível em: https://www.sbenbio.org.br/publicacoes/anais/II_Enebio/PQ1-028.pdf. Acesso em: 24/04/2022.

NOVAK, J.D.; CAÑAS, A.J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis educativa**, v. 5, n. 1, p.9-29, 2010.

PAIVA, E.S.; SANTIAGO, S.B.; LIMA, D.C. Análise do tema fotossíntese nos livros didáticos do programa nacional do livro didático para o ensino médio (pnld/em) à luz da teoria da aprendizagem significativa. In: **Novas abordagens no ensino de Ciências e Matemática: soluções didáticas e tecnologias digitais**. Imprensa Universitária, Fortaleza, p.23, 2021.

PEDASTE, M. *et al.* Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational research review**, v. 14, p.47-61, 2015.

PEDROSA, S.M.P.A. A educação a distância na formação continuada do professor. **Educar em Revista**, p.67-81, 2003.

PIRES, B.B.M. *et al.* O que é produzido na fotossíntese? Análise desse processo a partir de livros didáticos do ensino fundamental e médio. **e-Mosaicos**, v. 2, n. 3, p.102-111, 2013.

PLIESSNIG, A.F.; KOVALICZN, R.A. O uso de metodologias alternativas como forma de

superação da abordagem pedagógica tradicional na disciplina de Biologia. **Programa de Desenvolvimento Educacional–PDE do Estado do Paraná**, p.1-4, 2009.

PRESTES, M.E.B.; CALDEIRA, A.M.A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p.1-16, 2009.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. Biologia vegetal. In: **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 6 ed., 2014.

REECE, J.B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

ROUBUSTE, R.R. *et al.* Mudanças climáticas e o mercado de carbono. Iheringia, **Série Botânica.**, v. 77, 2022.

RUMJANEK, Vivian; DA-SILVA, Wagner Seixas. Ciência para todos?. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 15, n. 34, p.1-20, 2019.

SADAVA, D. *et al.* **Vida: a ciência da biologia - Célula e hereditariedade**. - Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2009.

SANTOS, J.V.M. **Análise comparativa do tema fotossíntese em livros didáticos do ensino médio**. Monografia (Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, Cuité, 2014.

SANTOS, F.S. **Atividades investigativas e história da ciência: tendências em potencial para promover o pensamento crítico**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

SANTOS, K.C. *et al.* **Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias - terra: um sistema dinâmico de matéria e energia**. São Paulo: Moderna, 2020.

SANTOS, R.S.R. **O simulador Photolab num espaço de aprendizagem por investigação no desenvolvimento de competências do processo científico**. 2018. Tese de Doutorado.

SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p.59-77, 2011.

SASSERON, L.H. O ensino por investigação: pressupostos e práticas. In: **Fundamentos Teórico-Methodológico para o Ensino de Ciências**. Licenciatura em Ciências. USP/Univesp, 2014a. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/plc/plc0704/impressos/plc0704_12.pdf. Acesso em: 04/05/2022.

SASSERON, L.H. Alfabetização científica como objetivo do ensino de ciências. In: **Fundamentos Teórico-Methodológico para o Ensino de Ciências**. Licenciatura em Ciências. USP/Univesp, 2014b.

SASSERON, L.H. Eixos estruturantes e indicadores da alfabetização científica. In: **Fundamentos Teórico-Metodológico para o Ensino de Ciências**. Licenciatura em Ciências. USP/Univesp, 2014c.

SCARPA, D.L.; TRIVELATO, S.L.F. A linguagem e a alfabetização científicas: características linguísticas e argumentativas de artigos científicos. **Genética na Escola**, Ribeirão Preto, v. 7, n. 2, p.46-57, 2012.

SCARPA, D.L.; SILVA, M.B.A. Biologia e o ensino de Ciências por investigação: dificuldades e possibilidades. In: CARVALHO, A. M. P. de. (Org.) **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. cap.8, p.129-52.

SCARPA, D.L. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia - Aula 13 - Por que Ensino de Ciências por Investigação?** Youtube, 13/06/2017a. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kM6WgTzkN1A>. Acesso em: 02/05/2022.

SCARPA, D.L. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia – Aula 14 – O Ciclo Investigativo e suas etapas – Parte 1**. Youtube, 13/06/2017b. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mv5rIQbRPsE>. Acesso em: 02/05/2022.

SCARPA, D.L. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia - Aula 15 - O Ciclo Investigativo e suas etapas - Parte 2**. Youtube, 13/06/2017c. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Asc5n-9c0A>. Acesso em: 02/05/2022.

SCARPA, D.L. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia - Aula 16 - O Ciclo Investigativo e suas etapas - Parte 3**. Youtube, 13/06/2017d. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=z2eRLcsLc1E>. Acesso em: 02/05/2022.

SCARPA, D.L.; CAMPOS, N.F. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p.25-41, 2018.

SERVICE, R.F. Cheap catalysts turn sunlight and carbon dioxide into fuel. **Science**, 2017. Disponível em: <https://www.science.org/content/article/cheap-catalysts-turn-sunlight-and-carbon-dioxide-fue>. Acesso em: 20/03/2022

SILVA, A.R.L.; SILVA, D. **Guia do professor conteudista**. Florianópolis: IFSC, 2015.

SILVA, A.A.; FILHA, R.T.S.; FREITAS, S.R.S. Utilização de modelo didático como metodologia complementar ao ensino da anatomia celular. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**. v. 6, n. 3, p.17-21, 2016.

SILVA, I.T. **Formação de professores: práticas pedagógicas com stop motion**. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de Educação em Cultura Digital. Florianópolis, SC, 2016

SILVA, T. O que se esconde por trás de uma nuvem de palavras? In: **Tarcízio Silva, Pesquisa. métodos digitais, ciências, tecnologia e sociedade.** 21 de out. 2013a. Disponível em: <https://tarciziosilva.com.br/blog/o-que-se-esconde-por-tras-de-uma-nuvem-de-palavras/>. Acesso em 31 de jan. 2022.

SILVA, T. Análise de Texto com AntConc: Frequência e Lista de Palavras. In: **Tarcízio Silva, Pesquisa. métodos digitais, ciências, tecnologia e sociedade.** 13 de jul. 2019b. Disponível em: <https://tarciziosilva.com.br/blog/analise-de-texto-com-antconc-frequencia-e-lista-de-palavras/>. Acesso em 31 de jan. 2022.

SILVA, T. Análise de Texto com AntConc: introdução, arquivos e configurações. In: **Tarcízio Silva, Pesquisa. métodos digitais, ciências, tecnologia e sociedade.** 13 de jul. 2019.

SOLINO, A.P.; FERRAZ, A.T.; SASSERON, L.H. Ensino por investigação como abordagem didática: desenvolvimento de práticas científicas escolares. **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, p.1-6, 2015.

SOUZA, S.C. **Leitura e Fotossíntese: proposta de ensino numa abordagem cultural.** Campinas, 2000.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2017

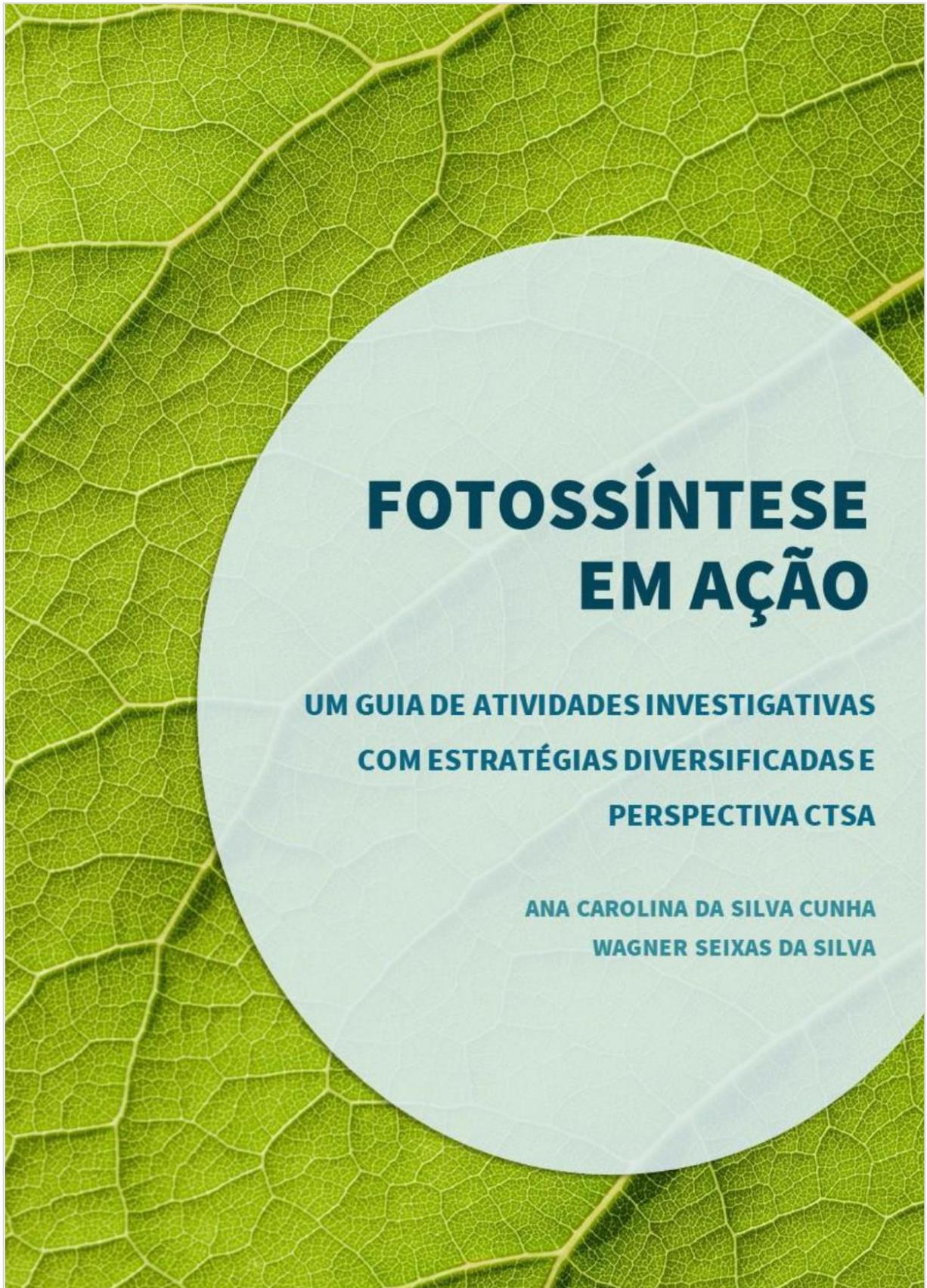
TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciências & Cognição**, v.12. 2007. Disponível em: <http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/641>
Acesso em: 02/05/2022.

THOMPSON, M. *et al.* **Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias - Matéria e energia.** São Paulo: Moderna, 2020.

VAN DER MEER, R.; TACAHASHI, F. **Movimento Parado Passo a Passo: Um guia para animação em stop motion.** Fundação Cultural de Curitiba, 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/155VTx1dQEbrPoX9lDXNfonjsS1Lh70oN/view?usp=drivesdk>. Acesso em: 14/02/2022.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar.** Penso Editora, 2008.

ZÔMPERO, A.F.; LABURÚ, C.E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 13, n. 3, p.67-80, 2011.

APÊNDICE A - PRODUTO

FOTOSÍNTESE EM AÇÃO

**UM GUIA DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS
COM ESTRATÉGIAS DIVERSIFICADAS E
PERSPECTIVA CTSA**

**ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA
WAGNER SEIXAS DA SILVA**

AGRADECIMENTOS

Às instituições que contribuíram de forma significativa para a concretização desta produção:



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil - Código de Financiamento 001.



PROFBIO – Mestrado Profissional em Ensino de Biologia



UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

APRESENTAÇÃO

Esse guia foi elaborado como produto do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROFBIO UFRJ). Ele foi pensado para auxiliar o contato do docente com o ensino pautado em abordagens investigativas.

Com a implementação da Base Nacional Curricular Comum (BNCC), que norteia a elaboração dos currículos das escolas públicas e privadas, os professores enfrentam novos desafios. Assim, nós docentes teremos que lidar com novas formas de ensinar para um processo de aprendizagem que promova a aquisição de várias competências e habilidades nos estudantes.

Através do ensino investigativo é possível desenvolver o protagonismo dos estudantes, valorizar os conhecimentos aprendidos pelos discentes e promover a alfabetização científica. Nesse contexto, esse material possui três propostas de atividades investigativas sobre o tema fotossíntese para o Ensino Médio, além de dicas e explicação para sua utilização. O professor também pode usar esse livro para buscar inspirações e elaborar suas próprias atividades.

Ana Carolina da Silva Cunha
Contato: ana.cunha.2@cp2.edu.br

Rio de Janeiro
2022

CONHECENDO O LIVRO



Neste livro você encontra quatro capítulos e materiais para impressão nos

Os três primeiros capítulos foram pensando para fornecer um arcabouço teórico-metodológico para que o docente compreenda melhor as propostas das

SUMÁRIO	
CAPÍTULO 1	UN POUCO DA HISTÓRIA DO ENGENHO INVESTIGATIVO ATÉ A BIOCICLOLOGIA
1.1	COMPREENDENDO O ENGENHO INVESTIGATIVO
1.2	HEIL, O GIGANTE E O ENGENHO PARA INVESTIGAÇÃO ACADÊMICA
CAPÍTULO 2	O CICLO INVESTIGATIVO
2.1	Concepção
2.2	Investigação
2.3	Divulgação
2.4	Divulgação
CAPÍTULO 3	APRESENTANDO O TEMA
3.1	ATIVIDADE 1: FOTOSÍNTESE: PRESENTE E PASSADO
3.2	FICHA TÉCNICA
3.3	FICHA ATIVIDADE 1
3.4	Deo Sappho (ant-helios) (1871-1894)
3.5	Stanley Hales (1871-1851)
3.6	Joseph Priestley (1733-1804)
3.7	Jean Ingenhousz (1730-1799)
3.8	Jean Senebier (1742 - 1809)
3.9	William Prévost de Sainte-Foi (1781-1848)
3.10	John Comberford - A Tarefa Pedagógica
3.11	Ficha Complementar - A Tarefa do Docente na Laborar
3.12	ATIVIDADE 2: LÍQUIDOS CROMÁTICOS E O ENGENHO DO ALGAR
3.13	ATIVIDADE 3: A FANTASIA FÁBRICA - HISTORIOLOGIA DO PLÁSTICO
3.14	REFERÊNCIAS
APÊNDICES	
A.1	Atividade Avaliativa 1
A.2	Atividade Avaliativa 2
A.3	Atividade Avaliativa 3

Mas o professor pode se dirigir diretamente para as atividades, nelas terão todas as informações básica no quadro "Ficha Técnica", além de instruções e a seção comentários com uma discussão sobre as respostas esperadas

Nas laterais das páginas você encontrará informações adicionais, como figuras, os quadros "Saiba mais", sugestão de vídeos, leituras,

Ícones de sinalização dos quadros informativos.

UM POUCO DA HISTÓRIA DO ENGENHO INVESTIGATIVO ATÉ A BIOCICLOLOGIA

...mas o que, concretamente um pouco de história e ...
 ...o estudo por investigação no Brasil, como o observado em ...
 ...no livro de Deane, foram concebidas em um contexto de ...
 ...referências bibliográficas, em 2010, tiveram as ...
 ...necessárias para responder o livro e a ...
 ...problematiza. A fim de tornar o conteúdo mais ...
 ...mais atualizado, foi que, neste livro, foram ...
 ...esta atualização que se traduziu em uma ...
 ...e, portanto, não em duas obras ou ...
 ...e, portanto, não em duas obras ou ...
 ...e, portanto, não em duas obras ou ...

Sugestão de vídeos

Sugestão de leituras

Sugestão de simuladores

Comentários

Atenção

SAIBA MAIS

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

UM POUCO DA HISTÓRIA DO ENSINO INVESTIGATIVO ATÉ A BNCC1

CAPÍTULO 2

COMPREENDENDO O ENSINO INVESTIGATIVO.....7

MAS, O QUE É ENSINO POR INVESTIGAÇÃO AFINAL?8

CAPÍTULO 3

O CICLO INVESTIGATIVO 14

Orientação 17

Conceitualização 19

Investigação 21

Conclusão 24

Discussão 26

CAPÍTULO 4

APRESENTANDO O TEMA..... 30

ATIVIDADE 1: FOTOSSÍNTESE: PRESENTE E PASSADO 32

FICHA TÉCNICA 32

FICHAS ATIVIDADE 1 38

Jan Baptista Van Helmont (1577-1644)..... 38

Stephen Hales (1677-1761) 40

Joseph Priestley (1733-1804) 42

Jan Ingen-Housz (1730-1799) 44

Jean Senebier (1742 - 1809) 46

Nicolas Théodore de Saussure (1767-1845)..... 49

Ficha Complementar: A Teoria Flogística 51

Ficha Complementar: A Teoria do Oxigênio de Lavoisier 52

ATIVIDADE 2: LUZ, CÂMERA E FOTOSSÍNTESE EM AÇÃO 53

ATIVIDADE 3 - A FANTÁSTICA FÁBRICA MICROBIOLÓGICA DE PLÁSTICO 62

REFERÊNCIAS..... 74

APÊNDICES

Apêndice atividade 1 77

Apêndice atividade 2 88

Apêndice atividade 3 93



CAPÍTULO 1

UM POUCO DA HISTÓRIA DO
ENSINO INVESTIGATIVO ATÉ A
BNCC

UM POUCO DA HISTÓRIA DO ENSINO INVESTIGATIVO ATÉ A BNCC

Nesse capítulo compreenderemos um pouco da história e origem do ensino por investigação e a sua presença nos documentos oficiais para educação brasileira.

O ensino por investigação ou *inquiry*, como é chamado em inglês, nasceu no início do século XIX a partir das ideias do filósofo e pedagogo (Figura 1). Esse novo tipo de ensino surgiu em oposição à educação tradicional da época, que enfatizava fatos científicos e pouco despertava o raciocínio dos alunos.¹⁻³

As ideias de Dewey foram concebidas em um cenário de desenvolvimento econômico capitalista nos EUA, baseado em monopólios comerciais para maximizar o lucro e o aumento da produtividade, numa forma de produção alheia ao bem-estar social de seus trabalhadores. Por essa razão, Dewey estava preocupado com uma educação que contribuísse com uma sociedade mais humanizada e democrática, capaz de discutir sobre os conflitos éticos e sociais da época.²

Esse filósofo acreditava que o ensino por investigação seria baseado em elementos do método científico. Assim, os alunos partiriam da resolução de problemas, passariam para formulação de hipóteses, depois para coleta de dados e finalizariam com a elaboração de uma conclusão. Nesse contexto de aprendizagem os discentes são agentes ativos em busca de respostas, que não devem ser fornecidas como algo pronto e acabado pelo professor.^{1,2}

Já na década de 60, no contexto histórico da “guerra fria”, com a competição tecnológica entre os Estados Unidos e União Soviética, o ensino de ciência passa por transformações com o objetivo de “formar cientistas”. Nesse período houve um grande investimento na produção de materiais didáticos, que utilizavam o processo de investigação por meio do ensino experimental, com destaque para a obra *Biological Science Curriculum Study (BSCS)* (Figura 2), que foi posteriormente traduzido para o português.³ O intuito desses materiais era promover aulas práticas que levassem o aluno a “pensar como cientistas” e “fazer” atividades científicas através de uma perspectiva metodológica.² Assim, as aulas eram centradas no professor e tinham



Figura 1: John Dewey (1859 - 1952).

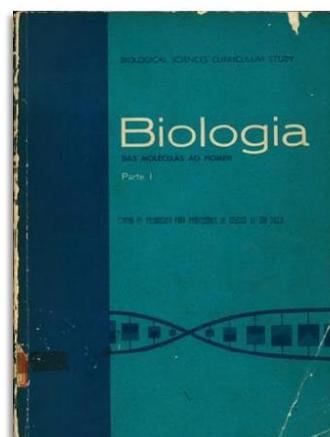


Figura 2: Capa do livro *Biological Sciences Curriculum Study (Biologia - Das moléculas ao homem Parte I)*. Fonte: Acervo de Materiais Educativos da FFEUSP

SAIBA MAIS

Caso tenha curiosidade de conhecer como eram esses materiais didáticos é possível acessar o *Biological Sciences Curriculum Study (Biologia - Das moléculas ao homem Parte I)* através do Acervo de Materiais Educativos da Faculdade de Educação da USP. Acesso em: <http://www.materiaiseducativos.geenf.fe.usp.br/items/view/33>

um viés teórico, focadas em definições de conceitos biológicos, que eram depois comprovados através de aulas práticas. Os experimentos, portanto, tinham um papel confirmatório e os alunos deveriam seguir protocolos rígidos, sem que houvesse liberdade intelectual para os discentes construírem o conhecimento.

Nesse período havia uma concepção de Ciência “neutra”, sem haver um julgamento de valores sobre o trabalho dos cientistas, que era desvinculado do contexto social, político e econômico.⁴ Durante aquele período, esse movimento também esteve presente no Brasil, e atualmente esse tipo de ensino, que não vincula o impacto das atividades científicas na vida cotidiana, é considerado como promotor de uma visão distorcida sobre a Ciência.

A partir dos anos finais da década de 70, houve a incorporação de ideais construtivistas no ensino por investigação. Esse período histórico foi marcado por grandes mudanças sociais, como lutas por diversos direitos, reivindicadas por movimentos sociais e ambientais, além da amplificação do acesso à educação através da democratização da escola. Assim, a disciplina escolar Ciências, deixou de ter papel na “formação de cientistas”, e passou a ser vista como “ciências para todos”, dado que, ela ajuda na formação crítica dos cidadãos. É essa nova visão dos objetivos da Ciência que dá lugar a alfabetização científica. Na perspectiva construtivista o professor deveria considerar as concepções prévias dos alunos sobre os fenômenos naturais estudados, dado que, esse conhecimento prévio poderia interferir no processo de aprendizagem.^{1,2}

Em 1996, a partir de um documento americano chamado National Science Education Standards (Figura 3), foram propostas orientações para o ensino de ciências pautadas na alfabetização científica e também houve o reconhecimento da importância do ensino por investigação nessa disciplina.¹

Podemos acompanhar resumidamente, na linha do tempo a seguir, os principais eventos discutidos até aqui (Figura 4).

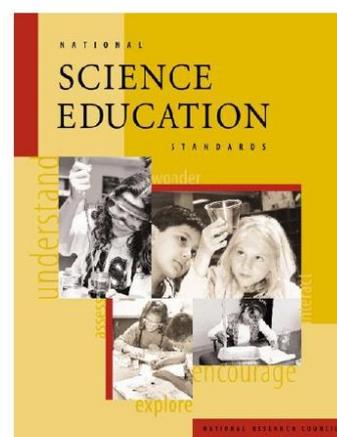


Figura 3: Capa do livro *National Science Education Standards*. Fonte: <https://nap.nationalacademies.org/download/4962>

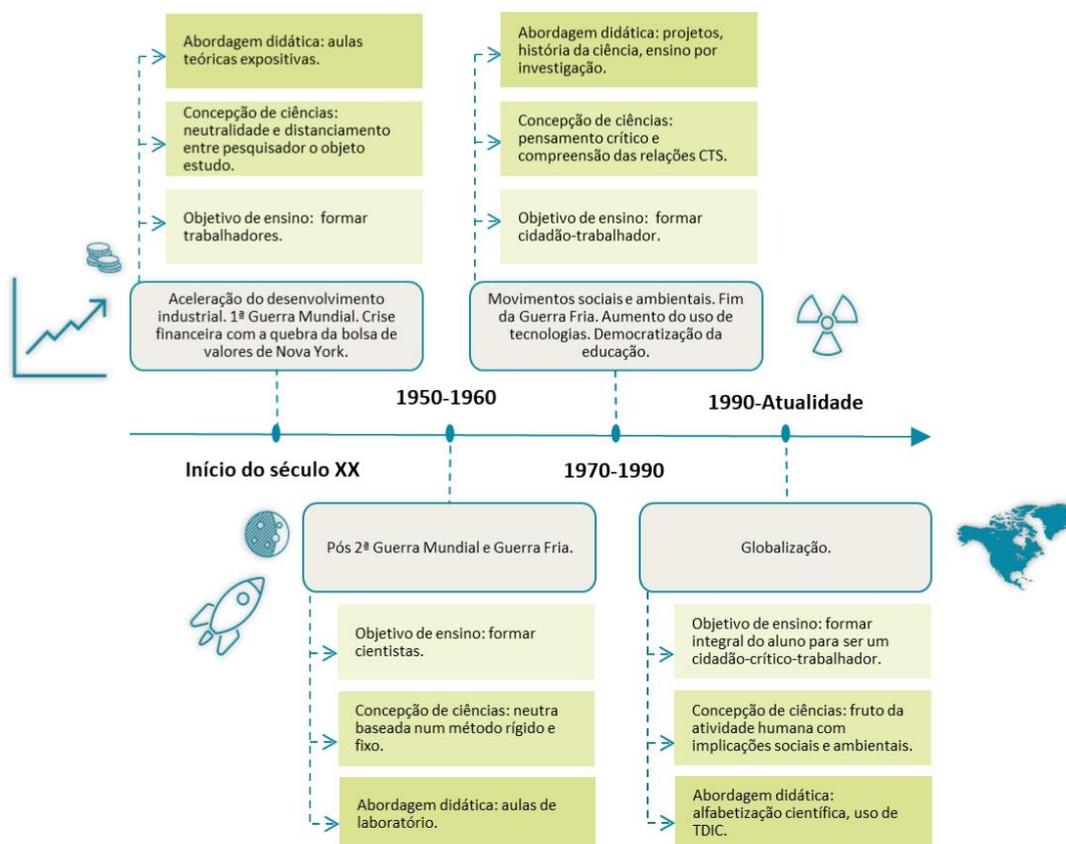


Figura 4: Linha do tempo sobre as mudanças no ensino de ciências. Elaborada pela autora adaptado de Krasilchik⁴ (p. 86).

Tratando um pouco sobre o ensino por investigação no Brasil, as abordagens investigativas começam a ser encontradas em documentos oficiais brasileiros, a partir da segunda metade da década de 90 nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).¹ Os PCNs tinham caráter não obrigatório e serviam de referência na elaboração dos currículos até a definição das diretrizes curriculares.

Posteriormente o ensino investigativo foi incorporado as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs). Esse documento constitui normas obrigatórias para a Educação Básica, orientando o planejamento curricular das escolas. As DCNs do Ensino Médio destacam a pesquisa como princípio pedagógico que possibilita ao estudante o protagonismo na investigação e/ou na busca de respostas para a construção e reconstrução de conhecimentos.⁵ Elas também

tratam do projeto político-pedagógico das escolas, reforçando a “problematização como instrumento de incentivo à pesquisa, à curiosidade pelo inusitado e ao desenvolvimento do espírito inventivo” dos estudantes (p.199).⁵

Mais recentemente o ensino por investigação também encontra respaldo em um dos principais documentos normativos da educação brasileira — a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Esse documento não invalida os DCNs, na verdade, eles são complementares, tendo em vista que, as Diretrizes dão a estrutura, e a Base o detalhamento dos conteúdos em forma de competências e habilidades.

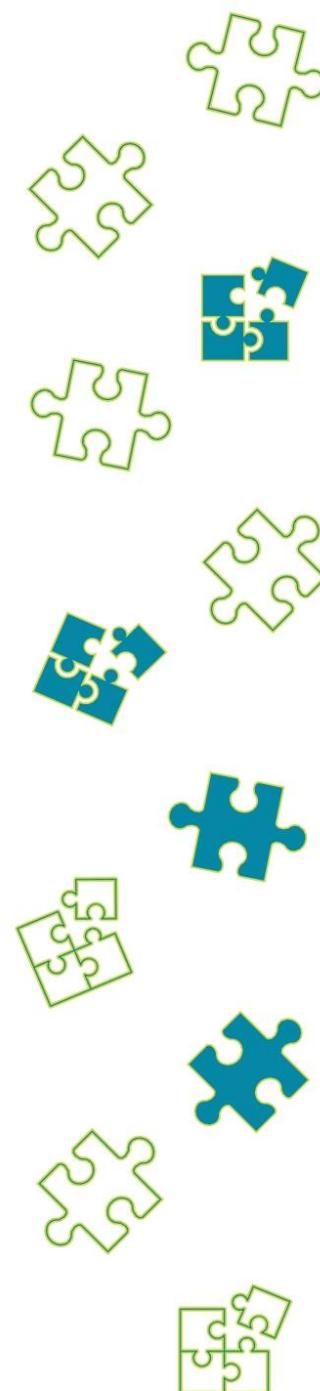
A BNCC traz os conhecimentos essenciais para o desenvolvimento de dez competências gerais e de habilidades que os alunos irão aprimorar ao longo da Educação Básica.⁶ A base para as etapas da Educação Infantil e do Ensino Fundamental foi homologada em 2017, e no ano seguinte foi lançada a versão para o Ensino Médio.

Esses documentos, na área de Ciências da Natureza, assumem um compromisso com o desenvolvimento da alfabetização científica. Eles reforçam que devemos assegurar aos alunos o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos historicamente, além da compreensão sobre processos, práticas e procedimentos da investigação científica.⁶

A BNCC para o Ensino Médio propõe a ampliação das habilidades investigativas desenvolvidas no Ensino Fundamental. Assim, conforme o segundo objetivo geral deste documento os alunos devem ser estimulados a:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (p.9).⁷

Essa valorização das abordagens investigativas também está contida na terceira competência das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, área na qual a disciplina de Biologia agora está inserida, destacada no trecho a seguir:



Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (p. 539).⁷

Percebemos que essa competência dá destaque à análise de situações-problema, utilização de procedimentos e linguagens próprias das Ciências da Natureza, proposição de soluções, comunicação de descobertas e conclusões. Todos esses elementos estão relacionados ao ensino investigativo.

Outro aspecto relevante, encontrado nessa competência é a menção ao uso de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). Isso vai de encontro à algumas estratégias didáticas utilizadas na elaboração das atividades presentes nesse livro.

Além disso, a terceira competência ainda traz uma referência a abordagem CTS de ensino, ao propor que os discentes desenvolvam a capacidade de avaliar o conhecimento científico e tecnológico, a partir de suas implicações no mundo. Em outras palavras, essa competência busca relacionar a Ciência e a tecnologia com suas consequências sociais. Mas neste material ainda busco aplicar esse olhar incluindo também a perspectiva ambiental.

Notamos com esse breve panorama que a abordagem investigativa vem se difundindo no Brasil, sendo importante conhecê-la e se apropriar de suas ideias para elaboração de aulas de Biologia que possam focar na natureza da produção do conhecimento científico, assim como, nas relações entre a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.



CAPÍTULO 2

COMPREENDENDO O ENSINO
INVESTIGATIVO

COMPREENDENDO O ENSINO INVESTIGATIVO

As atividades investigativas podem aparecer com diversos nomes, na literatura que aborda o tema, como, por exemplo: *inquiry*, ensino por investigação, ensino por descoberta; aprendizagem por projetos; questionamentos; e resolução de problemas.¹

Além de diversas nomenclaturas, esse tipo de ensino pode ser entendido de várias formas, entre elas, como uma estratégia, metodologia ou abordagem didática. Cada uma dessas nomenclaturas é carregada de significados e abrigam diferentes objetivos no processo de ensino-aprendizagem.

A terminologia estratégia refere-se aos elementos do planejamento usados para alcançar um determinado objetivo de ensino.⁸ Já os termos metodologia e abordagem didática, muitas vezes são usados de forma equivalente, propõem um olhar mais amplo para o ensino por investigação. Assim, a denominação abordagem investigativa envolve uma concepção do processo de ensino-aprendizagem com profundas mudanças no papel do professor e dos alunos.^{8,9} Nela o aluno assume um papel ativo e ganha foco no ensino, e o professor tem a função de mediar esse processo. Além disso, é importante ressaltar que a abordagem investigativa também envolve uma compreensão acerca do que é Ciência, de como se dá a construção do conhecimento científico, das funções do ensino de Ciências e Biologia na educação escolar.

A partir do que foi exposto anteriormente, adotou-se neste livro a ideia de abordagem investigativa, visto que, as abordagens metodológicas de ensino orientam a escolha e estruturação dos demais elementos do planejamento, norteados as opções do professor quanto aos objetivos de aprendizagem, conteúdos, estratégias didáticas e de avaliação.⁸



SUGESTÃO DE VÍDEOS

- IV Encontro Nacional do PROFBIO
Mesa redonda sobre Ensino por investigação e metodologias ativas.
Acesso em: <https://youtu.be/HmbgpOa9yRQ>
- Planejamento para o Ensino de Biologia
Aula com Daniela Scarpa - "Por que Ensino de Ciências por Investigação?"
Acesso em: <https://www.youtube.com/watch?v=kM6WgTzkn1A>

MAS, O QUE É ENSINO POR INVESTIGAÇÃO AFINAL?

Muitas vezes nós professores podemos apresentar diversas concepções sobre o que seria o ensino investigativo, dentre elas destacam-se as ideias de reprodução do método científico em sala de aula; ou que o ensino investigativo tem o objetivo de formar cientistas; e que as atividades investigativas só ocorrem através de atividades práticas. Além disso, os docentes também podem apresentar receios na gestão de aulas por investigação.¹⁰

Essas concepções mostram ideias equivocadas sobre o ensino por investigação, por isso é importante apontarmos uma definição e as características do ensino investigativo usada neste livro, que pode ser compreendido como:

Estratégias didáticas que buscam envolver ativamente os alunos em sua aprendizagem, por meio da geração de questões e problemas nos quais a investigação é condição para resolvê-los, com coleta, análise e interpretação de dados que levem a formulação e comunicação de conclusões baseadas em evidências e reflexão sobre o processo (p.30, grifo nosso).¹¹

A partir da leitura desse trecho, percebemos o papel ativo do aluno e a centralidade da investigação de problemas no ensino investigativo. Somado a isso, Carvalho¹² discute a existência de mais um conceito que regem esse tipo de ensino — a liberdade intelectual.

As ideias apresentadas anteriormente se complementam, assim, podemos fazer um apanhado geral enfatizando que essa abordagem didática necessita de uma mudança no papel dos alunos, que deve buscar ativamente a solução para um problema. Para alcançar esse objetivo o professor deve dar autonomia de pensamento para os estudantes durante as atividades investigativas (Figura 5).



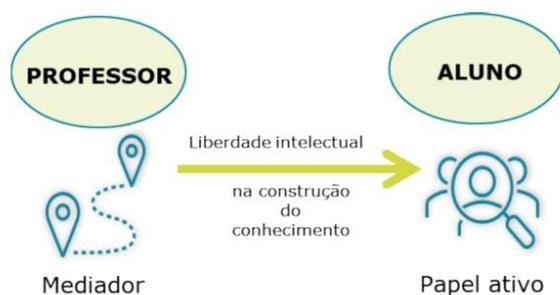


Figura 5: O ensino por investigação necessita de uma mudança no foco do processo de ensino-aprendizagem do professor para os alunos, levando a uma alteração no papel desses atores. Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Costa e Salvador¹³, é durante o planejamento das atividades investigativas que o professor irá refletir sobre o direcionamento fornecido aos alunos e a liberdade dos discentes de escolherem os caminhos que irão tomar ao longo da atividade. Para esses autores algumas perguntas ajudariam a identificar esses níveis de abertura/autonomia, como, por exemplo: “*Quanto de informação devo oferecer aos meus alunos?*” e “*O quanto eles poderão participar, sugerir, intervir na proposta que estou planejando?*”.¹³ Eles ainda ressaltam que esse grau de autonomia irá depender de condições como: tempo, os conceitos e conteúdos trabalhados, perfis dos estudantes, as relações na turma, e a própria experiência do professor em planejar e mediar atividades investigativas.¹³

Também é necessário refletirmos sobre como o construtivismo se encaixa no contexto do ensino por investigação. Segundo o trabalho de Scarpa e Campos¹¹, apesar de o construtivismo ser um conceito amplo, atualmente pode-se defender a existência de um consenso construtivista, baseado nas ideias de dois grandes referenciais teóricos da área – Piaget e Vigotsky. Esse consenso gira em torno de quatro pilares: 1 - valorização das concepções prévias; 2 - construção do saber por meio da interação do sujeito com o objeto; 3 - relevância das interações sociais na produção do conhecimento; e 4 - autonomia de pensamento (Figura 6).



Figura 6: Consenso construtivista. Fonte: Elaborado pela autora a partir de Scarpa¹⁰.

Discutiremos agora cada um desses princípios. O primeiro deles a ser examinado será a valorização das concepções ou conhecimentos prévios dos alunos. Em outros termos, as ideias, vivências, e experiências dos discentes devem ser usadas como ponto de partida para o ensino. Segundo Zabala¹⁴, o ensino construtivista está baseado na averiguação das concepções prévias dos estudantes. Assim, seria necessário a proposição de situações de aprendizagem em que o aluno possa estabelecer um processo de comparação e revisão entre os conteúdos escolares e seus conhecimentos prévios. Esse processo de confrontação, entre o conhecimento antigo e novo, levaria a uma aprendizagem significativa dos assuntos estudados. Os alunos nessa concepção de ensino não são uma “tábula rasa”, e completando essa ideia piagetiana destaca-se que:

“a construção do conhecimento é marcada pela busca da equilíbrio: quando uma nova situação é apresentada, não encontrando referências ou formas de compreensão nas estruturas já existentes, o indivíduo passa por um processo de desequilíbrio, que pode ser temporário e culmina em uma nova equilíbrio, com um novo entendimento da situação” (p. 118).¹⁵

Além disso, o ensino construtivista também está baseado no papel ativo e protagonista do aluno, já discutido anteriormente. No

construtivismo esse protagonismo é atingido a partir da interação do sujeito com o objeto e pela interação entre os sujeitos, tendo em vista o desenvolvimento da autonomia de pensamento.^{11,16}

Outro ponto piagetiano relevante diz respeito a ação manipulativa. De acordo com ela, a construção do saber ocorre por meio da interação dos estudantes com o seu objeto de conhecimento, através de leituras, experimentos, jogos, entre outros, sendo preciso vivenciar situações. No caso específico do ensino investigativo são “as ações manipulativas que dão condições para os alunos levantarem hipóteses”, ou seja, ideias para resolver o problema proposto (p.8).¹⁶ Em outras palavras, é na passagem da ação manipulativa para a ação intelectual que se abre espaço para a construção do conhecimento pelo próprio sujeito.¹⁶

A interação entre sujeitos é um elemento vigotskiano. A partir desse véis o aprendizado ocorre no nível social. Os alunos ao interagir, se comunicar e ouvir os outros, organizam o pensamento, recebem opiniões e comentários dos colegas, podendo avaliar suas afirmações e posicionamentos. Nesse processo, com a internalização dos conhecimentos, os discentes podem reavaliar suas próprias convicções iniciais e conhecimentos prévios, tendo potencial de abandonar as crenças anteriores.¹⁰

Por meio da aplicação dos três princípios, discutidos anteriormente, chegamos no nosso quarto pilar — a autonomia de pensamento. O professor precisa dar liberdade para os alunos para tomarem suas decisões, serem criativos e exercitarem a sua curiosidade em sala de aula. Isso é possível através da mudança do papel do professor/aluno e modificação nas estratégias didáticas adotadas.

As aulas expositivas, demasiadamente centradas no professor, não contribuem para que os estudantes sejam os atores do seu aprendizado, na medida em que não consideram as concepções prévias, não possibilitam as interações entre sujeito e objeto de conhecimento, nem a interação entre os pares. Para que a mudança do papel de professor e alunos realmente aconteça em sala de aula, é necessário que o docente reflita sobre sua prática e desenvolva estratégias didáticas que permitam esse deslocamento, essa mudança de função (p.26).¹¹

Esses princípios do consenso construtivistas dialogam com o ensino de Ciências pautado na alfabetização científica, que é uma forma de se ensinar e aprender ciências preocupada com a formação cidadã, baseada em três eixos norteadores (Figura 7):

1. Aprender Ciências — que envolve entender os termos, conhecimentos e conceitos científicos;
2. Aprender a fazer Ciências — que consiste em compreender a natureza das ciências e vivenciar os processos de construção do conhecimento científico;
3. Aprender sobre Ciências — para o desenvolvimento de um olhar crítico e não neutro sobre a Ciência e tecnologia, para refletir sobre esses elementos e suas implicações na sociedade e meio ambiente, através da abordagem CTSA.^{11,16}

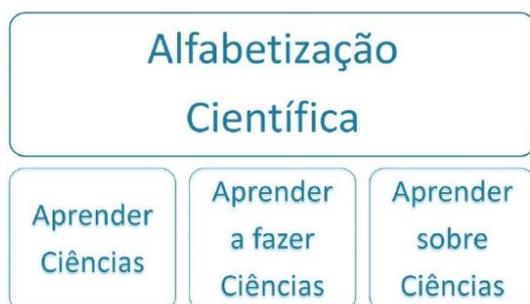


Figura 7: Eixos da alfabetização científica, com incorporação da abordagem crítica sobre o papel da ciência e tecnologia, e seus impactos na sociedade e ambiente no terceiro eixo. Fonte: Scarpa e Campos (p.18).¹¹

Tratando um pouco mais sobre a abordagem CTSA, ela ajuda o aluno a reconhecer que a Ciência e a tecnologia estão presentes no nosso cotidiano. A perspectiva CTSA também é adotada na expectativa de que os cidadãos se tornem conscientes do papel de suas decisões para um futuro sustentável. Ela vincula, portanto, cidadania e sustentabilidade, a partir da compreensão de conceitos científicos. Com essa intensão a fotossíntese foi trabalhada nas atividades didáticas desenvolvidas nesse livro, mostrando sua relação com as mudanças climáticas e o aquecimento global; produção de biocombustíveis a partir da fotossíntese artificial; e fabricação de bioplástico como um produto secundário da fotossíntese de cianobactérias.



Acreditamos que o uso de atividades por investigação, aliadas a alfabetização científica, podem promover a aprendizagem para além dos conteúdos mais formais das disciplinas. Isso ocorre por meio da promoção de conteúdos procedimentais e pelo desenvolvimento de habilidades ("saber fazer"); e conteúdos atitudinais, através da reflexão crítica do conteúdo, da aprendizagem de valores e atitudes envolvidos na construção do conhecimento científico ("ser").^{1,14}

Apoiado no que foi exposto anteriormente, compreende-se que o ensino por investigação consegue agregar ideias do construtivismo com os objetivos da alfabetização científica. Juntos eles ampliam os objetivos do ensino de Ciências e contribuem para a formação integral do aluno. E a postura investigativa, além de ajudar na construção do conhecimento do indivíduo, também colabora para a formação de um cidadão crítico e capaz de tomar decisões.



CAPÍTULO 3

O CICLO INVESTIGATIVO

O CICLO INVESTIGATIVO

As atividades presentes neste livro foram criadas utilizando a metodologia do ciclo investigativo, que pode ser compreendido como uma forma de auxiliar o professor no planejamento e aplicação de atividades ou sequências didáticas investigativas.¹¹

De acordo com Pedaste e colaboradores¹⁷, a aprendizagem baseada em investigação muitas vezes é organizada em fases interligadas que formam um ciclo (Figura 8). Segundo esses autores, diferentes variações de ciclos investigativos são encontradas na literatura. Essa equipe de pesquisadores propôs um ciclo, a partir da revisão bibliográfica e da análise de 32 artigos, composto por cinco fases interconectadas: Orientação, Conceitualização, Investigação, Conclusão e Discussão.



Figura 8: Ciclo investigativo mostrando as fases principais, as subfases e as relações entre elas. A Investigação está representada pela Exploração, Experimentação e Interpretação de Dados. Fonte: Elaborada pela autora a partir de Pedaste¹⁷ (p. 31).

A fase de Conceitualização está dividida em: Questionamento e Geração de Hipóteses. A Investigação divide-se em: Exploração e



SUGESTÃO DE LEITURAS

Existem diversas metodologias para o ensino por investigação. A seguir indico algumas referências para os docentes que desejarem se aprofundar sobre outras propostas metodológicas:

- Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/iea/a/RKrkKvjimY7MX7Q5DChvtN5N/?lang=pt>

- O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas.

Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluignfile.php/4300055/mod_resource/content/1/O%20ensino%20de%20ciencias%20e%20a%20proposicao%20de%20sequencias.pdf

- A metodologia da problematização com o Arco de Maguerez: uma perspectiva teórica e epistemológica.

Disponível em:

<http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/2846>

Experimentação, e partindo delas chegamos na fase de Interpretação de Dados. E a Discussão segmenta-se na: Reflexão e Comunicação.

De acordo com essa metodologia, a aprendizagem se inicia na fase de "Orientação e flui através da Conceitualização para Investigação, onde vários ciclos são possíveis" e normalmente finaliza com a Conclusão (p.47, tradução nossa).¹⁷

Um ponto interessante sobre essa metodologia, que reforça a sua escolha neste livro, é o fato dela ser flexível, podendo o docente modificá-la segundo a demanda dos alunos. Pedaste e sua equipe¹⁷, chamam atenção para o fluxo entre as etapas não ser rígido:

A forma como um ciclo de investigação é apresentado geralmente sugere uma sequência ordenada de fases. No entanto, os pesquisadores (sobre o tema) também costumam ter o cuidado de avisar que o aprendizado baseado em investigação não é um processo linear prescrito e uniforme. As conexões entre as fases podem variar dependendo do contexto. (p.49).¹⁷

Em outro exemplo que demonstra essa flexibilidade, esses pesquisadores discutem as relações cíclicas que podem existir na investigação ao dizer que "um aluno pode retroceder e avançar várias vezes, se a interpretação de dados levar à revisão de um plano de experimentação ou estimular exploração adicional" (p.52-53).¹⁷

Deste ponto em diante, aprofundaremos um pouco mais as características de cada fase.

Para Scarpa¹⁸, as situações de aprendizagem podem começar por uma sensibilização dos discentes, através da leitura de imagens e tabelas. Essa pesquisadora ainda defende que o levantamento das concepções prévias pode ser coletivo, fomentado por discussões mediadas pelo professor com toda a turma.¹⁸

se confundem ao responder à pergunta de investigação apenas com afirmações que não podem ser testadas, mostrando somente o seu o conhecimento prévio.

Assim, a Conceitualização permite uma postura investigativa perante o mundo, ao relacionar elementos de observação e marcos teóricos da Biologia. Ela mostra aos alunos que a ciência funciona a partir da elaboração de perguntas sobre o mundo natural. Desta forma, esse elemento do ciclo lida com o objetivo do “aprender a fazer Ciências” da alfabetização científica.¹⁹



Figura 11: Nuvem de palavras que demonstra os principais elementos da fase de Investigação. Fonte: Elaborada pela autora a partir de Pedaste.¹⁷

INVESTIGAÇÃO

A fase de Investigação pode ser determinada como o processo de planejamento para “coleta e análise de dados com base no projeto experimental ou de exploração” para responder à pergunta investigada (p.54).¹⁷

De acordo com Pedaste e colaboradores¹⁷, a Investigação é dividida em Exploração e Experimentação, que “dizem respeito à dicotomia indutiva e dedutiva do raciocínio científico” (p.52). Para esses pesquisadores¹⁷, “na Exploração os alunos fazem descobertas relacionadas às suas questões, sem hipóteses claras em mente”, e na Experimentação os discentes “coletam evidências sobre uma hipótese” (p.52).¹⁷

Scarpa¹⁹ salienta outros aspectos que podem servir como distinção entre as subfases de Exploração e Experimentação. De acordo com ela, para responder às perguntas exploratórias, podem ser usadas diversas estratégias didáticas na coleta de dados e informações, como: a observação dos seres vivos, imagens, vídeos, leituras de mapas, textos, tabelas, gráficos ou esquemas, jogos, simulações, entre outros. Essa pesquisadora ainda argumenta que:

A utilização de diversas estratégias didáticas na perspectiva do ensino por investigação pode contribuir para o desenvolvimento de visões mais adequadas sobre as diversas formas de produção de conhecimento científico, além de contemplar diversos perfis de alunos e estilos de ensinar (p.30).¹¹

Por outro lado, a Experimentação, está mais amarrada e relacionada ao teste de hipóteses. Scarpa¹⁹, ressalta que experimentos, que também são conhecidos como teste de controle de variáveis ou teste de hipóteses, podem ser definidos como “formas controladas de testar e manipular objetos de interesse, enquanto outros fatores são mantidos constantes”. A partir dessa definição compreende-se a importância do planejamento na experimentação (Figura 11). Essa autora também esclarece que os ciclos que envolvem experimentação, não precisam ocorrer necessariamente através de aulas práticas, dado que, o professor pode propor uma atividade em que discute a simulação de um experimento e traz os dados para que os alunos interpretem os resultados.¹⁹

É possível afirmar que, tanto a Exploração quanto a Experimentação têm um objetivo em comum — a Interpretação dos Dados. Em outras palavras, depois da investigação os alunos têm que examinar os dados obtidos, devendo mobilizar e articular conceitos para explicá-los, favorecendo a construção de novos conhecimentos nesse processo. Desta maneira, o ensino dos conceitos está a favor da compreensão dos resultados, se opondo ao ensino tradicional com atividades confirmatórias, já que nas atividades investigativas os próprios alunos podem construir os conceitos.¹⁹

Para ocorrer a interpretação dos dados ou resultados os discentes devem registrar, organizar e sistematizar as informações coletadas. Desta forma, podem fazer a interpretação, análise e avaliação de dados, para obter as informações que respondem à questão de investigação.¹⁹ No trabalho de Scarpa e Campos¹¹, fica clara a importância da organização dos dados por meio da construção e/ou elaboração de tabelas e gráficos. Essas autoras reforçam que esse tipo de tarefa, pode mostrar aos educandos a relevância da quantificação e da linguagem matemática para as Ciências.

Pedaste e sua equipe¹⁷, ainda ressaltam que a Exploração e a Experimentação necessitam de planejamento. Assim, se uma atividade “requer a utilização de equipamentos ou materiais específicos, a escolha deles faz parte do projeto desenvolvido pelos discentes” (p.55).¹⁷ Eles ainda apontam que “no planejamento do experimento devem ser definidas as variáveis que serão mantidas constantes ou alteradas na condução de um experimento” (p.55).¹⁷ Essa etapa é especialmente importante na atividade deste livro que envolve a

produção do vídeo de animação quadro-a-quadro e o uso do simulador virtual.

Segundo Pedaste¹⁷, “o resultado final da fase de Investigação é uma interpretação dos dados (uma formulação das relações entre as variáveis) que permitirá retornar à questão ou hipótese original da pesquisa e tirar uma conclusão sobre o que foi perguntado ou hipotetizado” (p.55)¹⁷. Assim, para resumir essa etapa, podemos dizer que a fase de Investigação promove uma busca ativa por procedimentos para obtenção dos dados, além de ajudar a desenvolver habilidades de raciocínio lógico nos estudantes. Para Scarpa¹⁹, a observação e a busca por procedimentos para o teste de hipótese são um processo criativo e rigoroso da ciência, e para ele acontecer é necessária a liberdade intelectual e autonomia dos estudantes (um dos pilares do consenso construtivista).



Figura 13: Palavras que representam a fase de Conclusão. Fonte: Elaborada pela autora a partir de Pedaste¹⁷.

CONCLUSÃO

De acordo com Pedaste, é nesta fase que são apresentadas as conclusões básicas da atividade, pois nela “os alunos abordam suas perguntas ou hipóteses de pesquisa e consideram se elas foram respondidas ou apoiadas pelos resultados do estudo” (p.55).¹⁷ Em outras palavras, o discente deve verificar se os resultados da aprendizagem baseada em investigação respondem às questões pesquisadas (Figura 13). Assim, Scarpa destaca que ela envolve a comparação dos dados e conceitos adquiridos com as hipóteses e conhecimentos prévios formulados na fase de Conceitualização.²⁰

Ressalta-se que o processo de elaboração de conclusões ocorre a partir da interpretação de informações, conhecimentos, conceitos e de dados coletados ao longo das outras etapas do ciclo, para responder à questão de investigação. Nesse momento, o aluno articula e mobiliza ideias na construção de uma explicação embasada em evidências.¹⁹

A profundando a importância das evidências, destaca-se que o aluno deve fazer a seleção das informações relevantes para elaboração da explicação. Assim, precisa ficar claro para o discente que nem tudo que foi coletado fornece evidência para sustentar ou eliminar uma hipótese. Em outros termos, as evidências seriam apenas os dados que confirmam ou refutam a hipótese testada. São as evidências que irão ajudar na criação das explicações e conclusões, ou seja, elas servem como justificativa para o que está sendo dito pelos alunos.²⁰

De acordo Scarpa²⁰, podemos usar perguntas para auxiliar os alunos na construção das conclusões, como as destacadas a seguir:

1. *Como você explica os resultados baseado no que foi aprendido?*
2. *Como os conhecimentos prévios e científicos ajudam a justificar essas explicações?*
3. *A explicação proposta ajudou a responder à questão de investigação ou a solucionar o problema trabalhado?*
4. *A explicação sustenta suas ideias e/ou hipóteses iniciais? Como você as reformularia?*

O trabalho de Scarpa e Campos¹¹, ainda traz outras contribuições acerca do tema. Para elas as evidências articuladas com os conhecimentos científicos e com os conhecimentos prévios levam a elaboração de conclusões, num processo conhecido como argumentação. Assim, essas pesquisadoras apontam que a elaboração de conclusões ajuda no desenvolvimento de várias habilidades, como o raciocínio argumentativo presente em diversas esferas da sociedade, auxiliando na formação de um cidadão crítico. Desta forma, essa etapa do ciclo mostra aos alunos que a argumentação é um pilar para construção do conhecimento científico. Scarpa e Campos¹¹ ainda discutem como o desenvolvimento de atividades argumentativas fomentam o eixo “saber fazer Ciência”:

A vivência pelos estudantes em situações em que tenham a oportunidade de desenvolver esse tipo de raciocínio é fundamental na educação científica de forma a possibilitar a compreensão das formas como a ciência funciona (contemplando especialmente o segundo eixo da Alfabetização Científica), ao mesmo tempo que contribui com a formação crítica dos estudantes, empoderando-os com ferramentas cognitivas para tomar decisões embasadas ou avaliar afirmações no seu cotidiano (p. 32).¹¹

lembrar que no ensino construtivista o conhecimento é produzido na socialização de saberes entre os pares.

A Comunicação pode ser resumida como o processo de discussão entre o aluno e seus colegas ou professor, e a Reflexão como uma discussão interna do aluno.¹⁷

Ao detalharem a Comunicação, Pedaste e colaboradores¹⁷, enfatizam que ela é “um processo externo onde os alunos apresentam e comunicam suas descobertas e conclusões aos outros, e recebem feedback e comentários e articulam seus próprios entendimentos” (p.55).¹⁷

Ao pormenorizar a Reflexão, Pedaste e sua equipe, separam-na em duas possibilidades: reflexão na ação e reflexão sobre a ação. Na primeira os discentes avaliam seu processo de estudo enquanto ainda estão realizando a atividade, e na segunda isso ocorre após completarem todo o ciclo de investigação (p.57).¹⁷ Assim, ambas servem como forma de tomar ciência do desenvolvimento do ensino-aprendizagem, por isso, para Pedaste, a “Discussão pode ser vista como um apoio à metacognição ou processos reguladores de aprendizagem por investigação” (p.57).¹⁷ Para Scarpa²⁰, isso auxilia os estudantes a verificarem o que estão aprendendo e como estão aprendendo, numa ação que guarda relação com algo que ocorre na Ciência — a avaliação entre os pares.

Como a reflexão pode ocorrer sobre qualquer coisa na mente do aluno, ela pode gerar a proposição de outros problemas para um novo ciclo de investigação, quando os discentes avaliam o sucesso do processo investigativo. Além disso, os estudantes também podem pensar em sugestões de como a aprendizagem por investigação pode ser aprimorada, expressando opiniões sobre o que mudariam. Pedaste exemplifica algumas perguntas que podem ser usadas com esse objetivo: “*O que fiz?*”, “*Por que fiz isso?*”, “*Fiz bem?*”, e “*Quais são as possibilidades em uma situação semelhante?*” (p.55).¹⁷

A partir da última pergunta proposta por Pedaste, outro ponto relevante surge — a aplicação do que foi aprendido. Os discentes podem usar esse momento para pensar se os resultados e conclusões servem em outros contextos e se seria possível fazer generalizações. Para Scarpa²⁰ é importante que o aluno compreenda a aplicação do conhecimento, trabalhando-o em outros contextos, assim parte do que

foi estudado pode dar origem a outros ciclos de investigação (Figura 16).

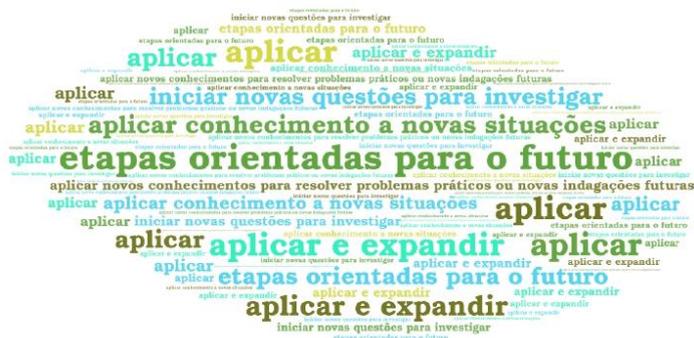


Figura 16: Palavras relacionadas a aplicabilidade dos conhecimentos construídos durante uma atividade por investigação. Fonte: Elaborada pela autora a partir de Pedaste.¹⁷

Baseado em tudo que foi exposto sobre a metodologia, defende-se o uso do ciclo investigativo neste livro a partir de um ponto de vista pedagógico. Compreendendo que a Ciência depende de etapas menores e logicamente conectadas na construção do saber, o ciclo seria capaz de orientar os alunos, chamando a atenção para uma importante característica da criação do conhecimento. Assim, o ciclo investigativo pode se aproximar do complexo processo de produção do conhecimento científico.

Pedaste e colaboradores¹⁷, também sustentam haver relatos na literatura da eficácia e aplicação bem-sucedida de atividades baseadas nos ciclos de investigação, tanto em sala de aula como em ambientes virtuais de aprendizagem, reforçando a escolha dessa metodologia para o desenvolvimento das atividades deste livro.



CAPÍTULO 4

AS ATIVIDADES DIDÁTICAS

APRESENTANDO O TEMA

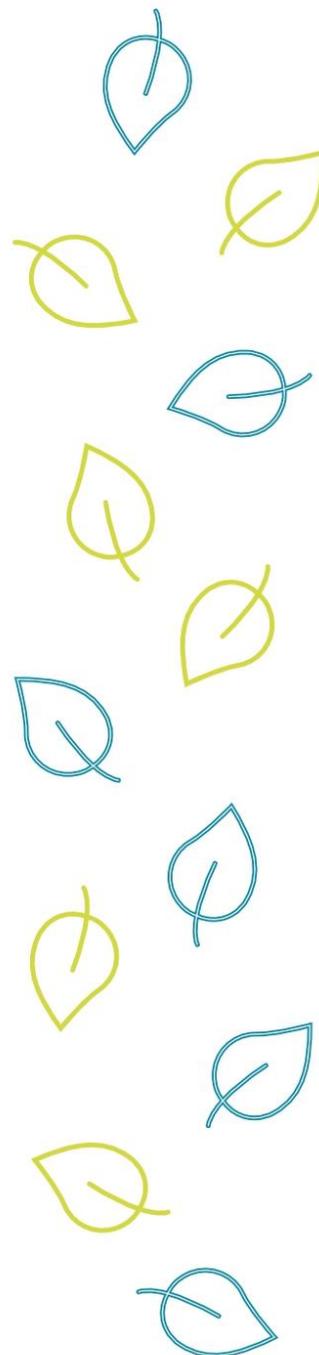
Esse capítulo é dedicado a apresentar três atividades didáticas sobre fotossíntese, baseadas no ciclo investigativo. Em cada uma delas o docente encontrará informações detalhadas de como utilizá-las. Elas estão divididas em etapas ou encontros, de forma a facilitar a aplicação em sala de aula.

Espera-se que as atividades deste livro também sirvam de fonte de inspiração para os professores que buscam diversificar sua prática em sala de aula. Elas são exemplos de ensino por investigação, que podem ser adaptados e modificados pelo professor para se adequarem a sua realidade. Apoiando-se na metodologia do ciclo investigativo e nos exemplos contidos nesse livro, o docente também pode criar suas próprias atividades investigativas com outros temas. Portanto, o material didático aqui presentes é um caminho, não havendo a intenção de esgotar a temática ou subestimar a capacidade e criatividade dos professores.

O tema fotossíntese foi escolhido por ela ter um papel central na vida de todos os seres vivos na Terra, visto que é fonte direta ou indireta de alimentação da maior parte das formas de vida do nosso planeta.²¹ Assim, a fotossíntese tem um valor ecológico ímpar, por ser o único processo biológico capaz de aproveitar a energia vinda do sol.²² Essa temática também é essencial para o ensino de diversos assuntos da Biologia, como por exemplo, compreender como a matéria orgânica é sintetizada pelos produtores nas cadeias alimentares, o papel da fotossíntese nos ciclos do carbono, da água e do oxigênio, entre outros.

Somado a isso, também se destaca a relevância da fotossíntese na atualidade para o enfrentamento de grandes desafios modernos. Um exemplo, é a insegurança alimentar provocada pelo aumento da demanda de comida devido ao crescimento populacional e a necessidade da busca de energias limpas e renováveis no âmbito das mudanças climáticas.

Frente a esse cenário, o ensino da fotossíntese pode fugir do contexto didático mais tradicional, com enfoque bioquímico e/ou ecossistêmico, permitindo uma abordagem onde o aluno se apropria dos conhecimentos teóricos para refletir sobre problemas atuais da sociedade. Essa perspectiva permite ao discente a tomada



de consciência acerca das relações complexas entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA).

A fotossíntese apresenta partes complexas, levando cientistas de diferentes áreas a estudá-la separadamente²³, sendo necessária a integração sistemática de diversos conteúdos para se chegar a um quadro mais amplo sobre a nutrição vegetal. Transpondo esse entendimento para o processo de ensino-aprendizagem da fotossíntese, percebe-se a dificuldade dos alunos em aprender esse assunto que envolve tópicos abstratos, como transformações da matéria e energia, sendo necessário que o discente tenha conhecimentos de diversas disciplinas escolares como Biologia, Química e Física para compreendê-la.

Além disso, os estudantes não têm muito interesse pelos assuntos relacionados às plantas, citologia e bioquímica, dificultando o entendimento desses temas.²⁴ Compreendendo que esses assuntos englobam a fotossíntese, a partir da estrutura e funcionamento da célula vegetal, faz-se necessária a elaboração de propostas didáticas que promovam um maior interesse e engajamento dos alunos. Assim, as atividades deste livro pretendem contribuir nesse sentido tornando o ensino da fotossíntese mais lúdico.

ATIVIDADE 1: FOTOSÍNTESE: PRESENTE E PASSADO.

FICHA TÉCNICA

Descrição da atividade:

A atividade começa com um texto sobre aquecimento global e História da Ciência. Na etapa de investigação, grupos de alunos, percorrerão estações formadas por fichas com experimentos clássicos sobre fotossíntese e a história da ciência por trás desses achados. No momento destinado às conclusões haverá uma espécie de "seminário científico" onde todos os grupos irão apresentar resumidamente os principais pontos aprendidos com as fichas. Como encerramento da atividade o professor retomará a pergunta de investigação e resumirá com os alunos os principais elementos necessários para a nutrição das plantas, montando a equação geral da fotossíntese.

Objetivos de aprendizagem:

Espera-se que, ao término desta atividade, o estudante seja capaz de:

- Compreender historicamente parte do processo de geração do conhecimento sobre nutrição dos vegetais (fotossíntese) e sobre os elementos necessários para a realização dessa reação. Assim espera-se que o aluno perceba que os conhecimentos sobre fotossíntese são fruto de um acúmulo gradual de saberes, a partir de diferentes descobertas científicas que ocorreram por mais de dois séculos.
- Relacionar a fotossíntese com modificações na composição dos gases na atmosfera e relacioná-la com a fixação do gás carbônico (um dos gases do efeito estufa).

Competências e habilidades:

Competências		Habilidades	Temas contemporâneo e transversais
Gerais	Específicas		
1, 2, 4, 7, 10	1, 2 e 3	EM13CNT101, EM13CNT201, EM13CNT301, EM13CNT302.	Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente

Conteúdos:

- História da ciência sobre a fotossíntese.
- Equação geral da fotossíntese.

Tempo estimado: 120 minutos.

Materiais necessários: Quadro, lápis e/ou caneta, roteiro e fichas da atividade impressas (anexo 1).

ETAPA 1 - A FOTOSSÍNTESE COMO UM TEMA CONTEMPORÂNEO E HISTÓRICO

Esse momento inicial serve para apresentar o tema aos estudantes e introduzi-los a pergunta de investigação, que será o fio condutor de toda atividade, mesclando elementos das fases de orientação e contextualização do ciclo investigativo.

Partimos de uma apresentação da fotossíntese associada aos desafios do aquecimento global e trazendo a história da ciência através do fascínio de Joseph Priestley pelos processos de restauração do ar. Disponibilizo a seguir um texto motivador, que o professor pode projetar ou entregar na versão impressa para os alunos.



ATENÇÃO

Os materiais da atividade 1, se encontram em formato para impressão no Apêndice 1 do livro.

PRESENTE E PASSADO

O aquecimento global e as mudanças climáticas, consequência dele, são assuntos recorrentes atualmente. As atividades humanas como a industrialização, agropecuária e o uso de energias de fontes não renováveis, como o petróleo, entre outras, potencializaram e continuam impulsionando o aquecimento atmosférico através do efeito estufa. Esses processos liberam os gases, que constituem a principal fonte de absorção de calor na atmosfera, de forma desequilibrada e, assim, tornam um fenômeno natural de regulação térmica em um processo alarmante para a população mundial.



O químico inglês Joseph Priestley, em 1772, já se interessava e realizava estudos sobre os gases, a atmosfera e os processos de restauração do ar. Segundo ele: *"A quantidade de ar que mesmo uma pequena chama requer se manter acesa é prodigiosa. Costuma-se dizer que uma vela comum consome (...) cerca de um galão de ar por minuto. Considerando esse espantoso consumo de ar, por incêndios de todos os tipos, vulcões etc., torna-se um grande objeto de investigação filosófica verificar que mudança é feita na constituição do ar pela chama e descobrir que provisão existe na natureza para remediar o dano que a atmosfera recebe por este meio. Ao longo de sua carreira Priestley descreveu um método para a restauração do "ar viciado". Em suas palavras se dizia "lisonjeado por ter encontrado acidentalmente um método de restaurar o ar que foi danificado pela queima de velas e por ter descoberto pelo menos um dos restauradores que a natureza emprega para esse fim".*

Fonte: Texto extraído e adaptado de ROUBUSTE, Roberta Rodrigues et al. Mudanças climáticas e o mercado de carbono. **Iheringia, Série Botânica.**, v. 77, 2022. CONANT, James Bryant. The overthrow of the phlogiston theory: the chemical revolution of 1775-1789. In: **Harvard case histories in experimental science, Vol. I.** Cambridge: Harvard University Press, 1957.

Após a leitura do texto é importante que os discentes respondam às perguntas de interpretação do texto, o que ajudará no levantamento dos conhecimentos prévios e à responder a pergunta de investigação.

PERGUNTAS PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Qual restaurador natural você acredita que Priestley estava se referindo?
2. Qual processo e quais elementos estariam envolvidos para que a restauração do ar ocorresse?

COMENTÁRIOS



Com essas questões espera-se que os alunos tragam seus conhecimentos prévios sobre fotossíntese, citando as plantas ou vegetais como responsáveis pelo processo de restauração do ar. Além disso, deseja-se que os alunos tragam algum saber sobre a fotossíntese e dos elementos necessários para que essa reação ocorra, adquirido em etapas anteriores de escolarização.

O professor pode discutir com os discentes as respostas dessas questões e partir para a pergunta de investigação.

PERGUNTA DE INVESTIGAÇÃO: Como o ar é restaurado na natureza?

COMENTÁRIOS



Essa é uma questão de pesquisa mais abertas sobre o tema. Não há uma resposta padrão para essa pergunta e espera-se que os alunos durante a investigação, a partir da exploração de fichas contendo textos históricos, busquem elementos para confirmar ou descartar as ideias iniciais que apresentaram sobre ela.

ETAPA 2 - INVESTIGANDO A FOTOSSÍNTESE ATRAVÉS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Esse momento será usado para que os alunos sejam instigados através da História da Ciência da fotossíntese, e se familiarizar com

algumas das idas e vindas do processo de construção do conhecimento acerca desse assunto.

Nessa etapa, a investigação se dará através de uma rotação por estações. Serão seis estações e em cada uma delas estará presente uma ficha com dados experimentais gerados por cientistas que, ao longo da história, realizaram estudos direta ou indiretamente sobre a fotossíntese. As fichas são acompanhadas de perguntas de exploração do texto, que podem ser adaptadas, reduzidas ou suprimidas para se adequar ao tempo que o docente tem disponível para a realização da atividade.

Além disso, também pode ser disponibilizado aos alunos duas fichas complementares que mostram o contexto geral de duas teorias que influenciaram o pensamento científico da época – a Teoria Flogística e Teoria do Oxigênio de Lavoisier.

A turma poderá ser dividida em grupos distintos para percorrer seis estações, em tempo determinado pelo professor, conforme a sua realidade. As fichas que compõem as estações podem ser distribuídas pelo docente nas mesas ou carteiras, podem ser fixadas na parede ou mural (Figura 16).

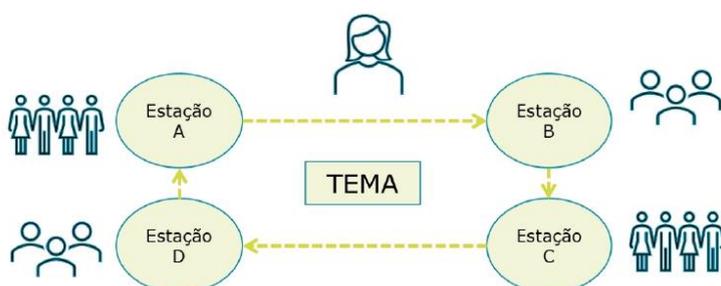


Figura 16: Esquema representando a organização das estações. O docente pode organizar mesas e cadeiras para acomodar um material específico que será trabalhado pelos alunos formando cada estação. O professor pode circular pelas estações mediando a interação dos alunos com o material disponibilizado. Fonte: elaborado pela autora.

As estações não são sequenciais, conferindo à turma liberdade para apreciar as mesmas na sequência proposta pelo professor. Os grupos deverão atentar, apenas, para o tempo de permanência em cada estação e coletar de dados (registros escritos) para discussão final.

No fim da rotação, espera-se que conste nos registros escritos o que o grupo considera ser essencial para ocorrer a fotossíntese para poderem assim retomar a pergunta problematizadora.

Sugere-se que o professor mediador dê os comandos oralmente acerca da organização das estações, mas para introdução dessa parte da atividade propõe-se a leitura do texto a seguir.

Vários cientistas ao longo da história realizaram estudos que contribuíram com as peças de um complexo quebra cabeça. Algumas dessas pesquisas não estavam relacionadas diretamente com o estudo dos gases, pois há tempos atrás os cientistas desenvolviam investigações interdisciplinares, ou seja, que envolviam diversas áreas de conhecimento. Muitos registros de experimentos sobre a restauração do ar datam do século XVII, mas essa questão só foi completamente compreendida mais de dois séculos depois. Agora é a sua vez de "refazer" o caminho percorrido por eles!

ETAPA 3 - APRESENTANDO OS RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO E CONCLUINDO A ATIVIDADE

Nesse momento ocorrerá uma espécie de "seminário científico" no qual os grupos terão 3 minutos para apresentar os principais pontos estudados nas fichas, destacando o que mais lhes chamou a atenção.

Ao final das apresentações, deverão retomar a questão de investigação e modificá-la conforme os novos conhecimentos aprendidos.

Para encerrar a atividade e sintetizar os conhecimentos aprendidos e as discussões, recomenda-se que o docente faça uma montagem coletiva de equação geral da fotossíntese e que os alunos individualmente elaborem um **mapa conceitual** mostrando as relações entre as plantas/fotossíntese no equilíbrio e manutenção do clima global.

SAIBA MAIS

O **mapa conceitual** é uma representação visual de um conjunto de conceitos a partir de uma estrutura esquemática, onde se explicita as conexões entre informações de um determinado tema. Como ferramenta de ensino é capaz de ajudar o discente a tornar mais clara as relações entre os diferentes assuntos que compõem um conhecimento aprendido.²⁵

PERGUNTAS DE CONCLUSÃO

1. Pensando novamente na sua resposta à questão de investigação, sua explicação continua a mesma? O que você modificaria com os conhecimentos adquiridos ao longo da rotação por estações e das apresentações dos grupos?
2. Agora elabore um mapa conceitual mostrando como as plantas/fotossíntese estão relacionadas com a restauração do ar e as relações no equilíbrio e manutenção do clima do planeta.

COMENTÁRIOS



1. Não há um padrão de resposta. Espera-se que os estudantes comparem suas respostas iniciais com os conhecimentos aprendidos e reflitam sobre dados/informações que coletaram. A partir da discussão dessa questão o docente poderá montar a equação geral da fotossíntese.

2. Não há um padrão de resposta, mas espera-se que os discentes resumam e organizem o que aprenderam através do mapa conceitual.

FICHAS ATIVIDADE 1

JAN BAPTISTA VAN HELMONT (1577-1644)

Sou médico, nascido na Bélgica. Fui um dos últimos e maiores alquimistas, mas também um dos primeiros praticantes da química que conhecemos hoje. Iniciei um extenso estudo sobre os elementos da atmosfera e cunhei a palavra "gás".

Muitos de meus estudos eram sobre a natureza dos elementos químicos, mas realizei uma experiência importante com a planta salgueiro. Nesse experimento pretendia descobrir a fonte dos nutrientes vegetais.

Tomei um vaso de barro, no qual coloquei 100 quilogramas de terra que havia secado em um forno e que umedei com água da chuva, e ali plantei o caule de um salgueiro que pesava dois quilogramas e meio. E eis que, passados cinco anos, a árvore que ali se originou pesava cerca de 80 quilogramas. Quando era necessário, sempre umedei o vaso de barro com água da chuva ou água destilada, e o vaso era grande e estava implantado na terra. Para que a poeira levada pelo vento não se misturasse à terra do vaso, cobri-lhe a abertura com uma placa de ferro revestida de estanho e com múltiplas perfurações. Não computei o peso das folhas que caíram em quatro outonos. Por fim, tornei a secar a terra do vaso e ali encontrei os mesmos 100 quilogramas, com algumas gramas a menos.

Acreditava que a matéria vegetal responsável pela diferença de peso era proveniente unicamente da água, visto que, a terra não havia sofrido perda de peso significativa. "Portanto, 80 quilogramas de madeira, cortiça e raízes, surgiram unicamente a partir da água", supôs assim que a água se havia transmutado em madeira.

FONTE: Texto retirado de Baker e Allen (1975), p.179.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. Qual hipótese estava sendo investigada sobre a nutrição das plantas?
2. Quais pontos da descrição mostram um cuidado experimental?
3. A partir dos resultados obtidos por van Helmont qual conclusão é possível?



COMENTÁRIOS



1. É importante ressaltar que no século XVII pensava-se que as plantas cresciam e se alimentavam a partir dos elementos do solo, como a terra que absorviam por suas raízes. Assim, Van Helmont buscou testar a hipótese se as plantas estariam se alimentando da terra.

2. O caráter quantitativo do seu experimento é algo importante para se comparar a variação do peso da terra e da planta ao final do experimento. Além disso, a placa perfurada foi uma tentativa de “isolar” o sistema e impedir que poeira, folhas e outras coisas pudessem cair sobre a terra e interferissem no resultado.

3. Van Helmont acreditava que as plantas iriam provocar a diminuição do peso da terra colocada no vaso ao se alimentarem dela. Porém, os resultados que obteve refutam essa ideia, pois a variação do peso da terra foi muito pequena em relação à variação do aumento de peso da planta, devido ao seu crescimento. Assim, ele concluiu que o desenvolvimento da planta ocorreu em função do único elemento que estava sendo adicionado ao experimento, a água.

STEPHEN HALES (1677-1761)

Sou inglês e estudei o papel do ar e da água na manutenção da vida animal e vegetal. Também me interessei pelo problema do fluxo de substâncias pelas plantas. Talvez tenha sido um dos primeiros a notar que a água não fosse a única substância envolvida na nutrição dos vegetais e que a atmosfera desempenha um papel importante no metabolismo deles.

"Há alguma razão para se suspeitar que as folhas e caules dos vegetais absorvem ar com base no seguinte experimento: coloquei uma planta de hortelã-pimenta bem enraizada em um recipiente de vidro cheio de terra e depois o enchi de água até à borda. Sobre esse recipiente coloquei uma campânula de vidro invertida zz, sendo a água aspirada para cima através de um sifão para aa. Ao mesmo tempo, coloquei também outra campânula de vidro de tamanho igual ao da anterior, mas sem a planta. No decurso de um mês, a planta havia produzido vários brotos delgados, fracos e muitas raízes pilosas pequenas... A água nos dois frascos invertidos elevava-se e abaixava-se segundo diferenças na atmosfera acima de aa (Figura 1).

Mas a água no vaso em que se achava a planta de hortelã finalmente elevou-se tanto acima de aa e acima da superfície da água do outro vaso, que uma parte daquele ar deve ter sido reduzida ao estado fixo, seja por absorção à substância da planta, ou seja, pelos vapores que se emanavam da planta."

"No início de abril, na primavera seguinte, retirei a planta antiga e a substituí por uma nova (em B) para ver se esta absorveria mais ar, mas ela feneceu em quatro ou cinco dias. No entanto, uma nova planta colocada no outro recipiente (A), cujo ar também havia sido mantido confinado durante nove meses, viveu durante quase um mês, quase tanto quanto outra planta colocada em ar fresco recém-confinado".

FONTE: Texto retirado de Baker e Allen (1975), p. 180-182.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. A partir do texto e da observação das imagens qual possível hipótese estava sendo investigada por Hales?
2. Quais pontos da descrição mostram um cuidado experimental?
3. Com os últimos resultados de Hales quais conclusões são possíveis?

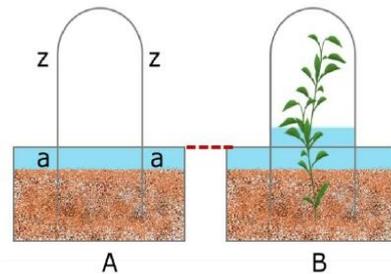


Figura 1: Ilustração do experimento de Hales, é possível perceber que o volume da água, marcado pela linha pontilhada, é diferente em A e B. Fonte: adaptado pela autora de Baker e Allen (1975), p.181.

COMENTÁRIOS

1. Com esses experimentos Hales observa mais um elemento importante para o desenvolvimento vegetal, o ar.
2. A utilização de um controle (o recipiente sem planta - A) foi fundamental para que Hales observasse quais as flutuações do nível da água eram provocadas pela pressão atmosférica e quais ocorriam devido às transformações produzidas pela planta.
3. Ele pode concluir que as plantas podiam interagir com o ar, por isso o volume de gás no recipiente ao final do experimento ficou menor. Além disso, ele também concluiu que as plantas afetam as condições do ar com as quais entram em contato, pois ao colocar uma nova planta de hortelã na jarra da qual havia sido retirada a planta original, notou que a planta nova morreu rapidamente em quatro ou cinco dias".

JOSEPH PRIESTLEY (1733-1804)

Sou um químico inglês e me interesso pelos processos de restauração do ar. Meu trabalho lançou luz sobre a relação das plantas com a atmosfera.

"O ar comum é necessário para a vida vegetal, assim como para a vida animal, e tanto as plantas quanto os animais o afetam da mesma maneira".
 "No dia 7 de agosto de 1771, coloquei um ramo de hortelã em certa quantidade de ar onde uma vela ardera até apagar-se, e verifiquei que no dia 27 do mesmo mês, outra vela ardia perfeitamente no seu interior. Repeti essa experiência, sem a menor variação no fenômeno, não menos de oito a dez vezes no resto do verão. Várias vezes dividi a quantidade do ar em que a vela ardera até a extinção, em duas partes, e colocando a planta em uma delas, deixava a outra, o controle, na mesma exposição, contida também em frasco de vidro imerso em água, mas sem a planta. Nunca deixei de verificar que uma vela se acendia no primeiro, mas não no segundo. Geralmente, observei que cinco ou seis dias bastavam para restaurar esse ar, quando a planta estava em pleno vigor; de outro lado, conservei esse tipo de ar em recipientes de vidro durante meses, sem conseguir observar que se verificasse nele a menor alteração".



Após a análise dos experimentos anteriores abandonei minha primeira hipótese de trabalho e adotei uma nova hipótese e montei os experimentos resumidos na Tabela 1 e Figura 2:

FONTE: Texto adaptado de Baker e Allen (1975), p. 183.

Tipo de ar inicial	De oito a dez dias do ar em contato com:	Teste com rato
J Ar viciado pela respiração de ratos	Sem planta	Morre
L	Ramos de hortelã	Vive
M Viciado pela putrefação	Sem planta	Morre
N de restos animais ou vegetais	Ramos de hortelã	Vive

Tabela 1: Alguns dos experimentos de Priestley. Fonte: tabela elaborada pela autora a partir de Nash (1957).

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. Qual era a hipótese de Priestley antes da experiência? Priestley pode confirmar sua hipótese? Justifique sua resposta.
2. Como você explicaria o resultado desta experiência? Assim como Priestley faça uma relação entre o ar e as plantas.
3. Qual nova hipótese Priestley poderia testar com esses outros experimentos?
4. Quais conclusões podemos chegar através do trabalho de Priestley?

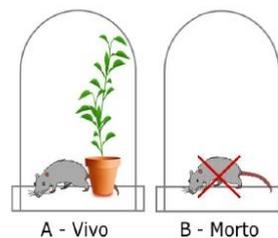


Figura 2: Nesse experimento peguei uma quantidade de ar, tornado completamente nocivo, por ratos respirando nele até sufocarem, e o dividi em duas partes. Numa coloquei um ramo de hortelã, depois de oito ou nove dias, coloquei um camundongo e descobri que ele vivia perfeitamente bem naquela parte do ar em que o ramo de hortelã havia crescido (A), mas morria quando colocado na outra que continha o ar original (B). FONTE: Adaptado de Baker e Allen (1975), p. 183.

COMENTÁRIOS



1. Priestley acreditava inicialmente que plantas e animais afetariam da mesma maneira o ar. Assim, ele não confirmou sua hipótese inicial, pois descobriu que o ar no qual uma planta ficou crescendo por meses não apagava uma vela. Pois, se a respiração das plantas fosse semelhante à dos animais, então seria de esperar que o ar que esteve por muito tempo em contato com a planta fosse tão "viciado" que não suportasse mais a combustão de uma vela.
2. Espera-se que os alunos demonstrem conhecimentos prévios sobre o processo de combustão de uma vela, que consome gás oxigênio e libera gás carbônico. Assim, quando o suprimento de gás oxigênio na campânula de vidro é totalmente consumido pela combustão a vela se apaga. Porém, como as plantas realizam a fotossíntese irão capturar o gás carbônico e liberar gás oxigênio, restabelecendo os níveis do comburente para que uma nova chama possa ser acesa no interior da redoma de vidro.
3. Priestley descartou sua primeira hipótese de que as plantas viciavam o ar, e adotou uma nova, de que havia algo na vegetação, que restaurou o ar "danificado" pela chama de uma vela ou pela respiração.
4. Espera-se que os alunos mencionem a capacidade das plantas de restaurar o ar viciado pela chama de uma vela e/ou pela respiração dos animais.

JAN INGEN-HOUSZ (1730-1799)

Sou um médico holandês e me baseei nos trabalhos de Priestley para testar a hipótese da purificação da atmosfera pelos vegetais.

Os métodos experimentais que utilizei foram desenvolvidos por outros cientistas, mas fiz uma série de pequenas modificações muito significativas no projeto experimental e com isso consegui realizar várias descobertas importantes. Cortei partes do vegetal e testei separadamente ao invés de usar a planta inteira como Priestley havia feito.

Utilizei um sistema para isolamento do material vegetal, semelhante ao que Hales e Priestley usavam. O material que estudei ficava imerso em água coberto por uma campânula de vidro deixada invertida sobre um prato com água (Figura 3).

A tabela 2 mostra um resumo de experimentos baseados em alguns dos 500 experimentos realizados por mim ao longo de três meses de verão em 1779.



Figura 3: Ilustração da campânula de vidro invertida com água e material vegetal. Fonte: adaptado de Baker e Allen (1975), p. 185.

Material	Condições testadas	Teste do gás liberado com vela		
		Dia		Noite
		Luz	Sombra	
Folhas		Acende	Não acende	Não acende
Flores		Não acende	Não acende	Não acende
Frutos		Não acende	Não acende	Não acende
Talos verdes		Acende	Não acende	Não acende
Raízes		Não acende	Não acende	Não acende
Flores		Não acende	Não acende	Não acende

Tabela 2: Experimento de Ingen-Housz. Fonte: Elaborado pela autora adaptado de Ingen-Housz (1779), p 149-288.

FONTE: Texto adaptado de Baker e Allen (1975), p. 185.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. O que os resultados dos experimentos da Tabela 2 sugerem?
2. O que é possível deduzir quando comparamos os resultados das diferentes condições de iluminação nos diversos tipos de materiais vegetais?
3. Os resultados seriam os mesmos se Ingen-Housz usasse a planta inteira, ao invés de isolar as partes dos vegetais?

COMENTÁRIOS



1. Ingen-Housz pode notar que as partes verdes de uma planta, como folhas e talos, liberavam um gás que tornava o ar mais puro, capaz de sustentar a

chama de uma vela. Já as raízes, flores e frutos não apresentavam essa capacidade.

2. A luz é um fator imprescindível para que a purificação do ar ocorresse, no teste da vela as partes verdes da planta (folhas e talos) eram capazes de produzir um gás que mantinha a chama de uma vela acesa. À noite, em ausência de luz, nem mesmo as partes verdes das plantas restauravam o ar.

3. Não, esta alteração no esquema experimental reduziu consideravelmente a complexidade do sistema analisado. A atividade das folhas iluminadas seria parcialmente revertida pela respiração das raízes, galhos e outras partes não verdes das plantas. Possivelmente teria sido difícil que Ingen-Housz descobrisse essa capacidade das partes verdes se tivesse conduzido seus experimentos com plantas completas, como Priestley.

JEAN SENEBIER (1742 - 1809)

Sou um padre católico suíço, pesquisei e fiz experimentos sobre a interação das plantas com a atmosfera de 1782 à 1788. Repeti praticamente todos os experimentos de Ingen-Housz e também me interessei pelos trabalhos de Priestley. Ele sugeriu a ideia de que as folhas depuravam o "ar" da água com a qual estavam em contato, então me perguntei se esse "ar fixo" não seria o precursor imediato do "ar deflogisticado". Assim, elaborei testes para essa hipótese (Tabela 3). A metodologia empregada nesses experimentos está descrita na Figura 4.



Tipo de água na qual folhas foram imersas	Teste do gás liberado com chama de vela	
	Folha iluminada	Folha não iluminada
Fervida	Não acende	Não acende
Destilada	Não acende	Não acende
Poço	Acende	Não acende
Água gaseificada artificialmente	Acende com brilho intenso	Não acende

Tabela 3. Esquemas experimentais inspirados nos trabalhos de Senebier. Fonte: elaborada pela autora adaptado de Nash (1957).

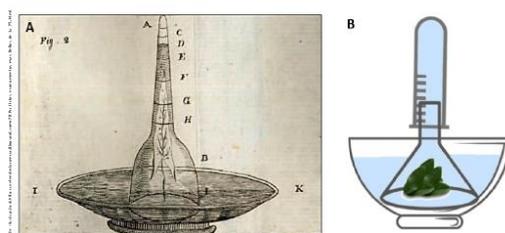


Figura 4: A. Equipamentos utilizados por Senebier em seus experimentos, composto de uma vidraria com formato de funil com fundo vedado, onde colocava os materiais testados em seu interior, preenchido com água. Depois, invertia esse funil sobre um prato, assim os gases produzidos pelo material ficavam presos. B. Equivalente dos materiais modernos que podem ser utilizados para reproduzir esses experimentos, como funil e tubo de ensaio. Fonte: Ilustração B elaborada pela autora baseado em Baker e Allen (1975), p. 187-188.

Constatei pelos resultados anteriores (tabela 3) que, após um tempo prolongado de exposição à luz, folhas deixaram de produzir "ar deflogisticado" em amostras de água de poço ou água gaseificada. Para estudar essa questão, elaborei um segundo experimento (Figura 5)

Sabia pelos estudos químicos do investigador escocês Joseph Black (1728-1799), que na presença de "ar fixo" um precipitado branco insolúvel se formava em água de cal, assim, realizei outros testes (Figura 6).

Ainda aprofundi minhas pesquisas comparando a produção de gás deflogisticado em folhas verdes e folhas esbranquiçadas do mesmo tipo de planta criadas no escuro (estioladas). Depois submeti as plantas estioladas à luz solar por alguns dias até as folhas assumirem sua pigmentação normal, obtendo os mesmos resultados que folhas originalmente verdes (Figura 7).

Fonte Texto adaptado de Nash, 1957.



Figura 5: Para investigar a razão pela qual folhas deixavam de produzir ar deflogisticado após iluminação prolongada (A), Senebier idealizou dois modelos experimentais: B - trocando a água e mantendo as folhas; C - mantendo a água e trocando as folhas. Fonte: Elaborado pela autora baseado em Baker e Allen (1975), p. 187-188.

TESTE COM ÁGUA DE CAL



Figura 6: Resultados do teste com água de cal usando amostras antes da etapa A da figura 5 e utilizando a mesma água ao final do experimento. Fonte: Elaborado pela autora baseado em Nash, 1957.

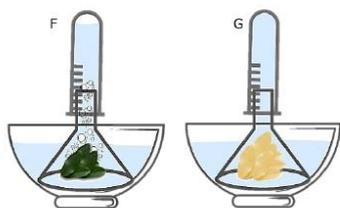


Figura 7: Esquema experimental inspirado no trabalho de Senebier onde ele comparou folhas verdes (F) e folhas esbranquiçadas (G) do mesmo tipo de planta imersas em água de poço e iluminadas. Fonte: Elaborado pela autora baseado em Nash, 1957.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. Pensando na hipótese que estava sendo testada, o que os dados de Senebier (Tabela 3) sugerem sobre a transmutação da água em ar deflogisticado?
2. O que os resultados dos experimentos de A e E podem sugerir?
3. Em relação à importância da cor verde, o que os dados de F e G sugerem?

COMENTÁRIO



1. Ele percebeu que nenhum ar deflogisticado (rico em oxigênio) era produzido pela iluminação de folhas imersas em água fervida, pois o calor diminui a solubilidade dos gases naturalmente dissolvidos no líquido que escapam para atmosfera.

O mesmo ocorre com a água destilada que apresenta poucos gases dissolvidos. Porém, na água de poço há liberação de ar deflogisticado, por isso esse ar pode suportar a chama de uma vela. Isso também ocorre com folhas iluminadas e imersas em água impregnada artificialmente com ar fixo (água com gás) liberando

grandes quantidades de ar deflogisticado, produzindo um brilho mais intenso na chama da vela

2. Os dados reforçam a hipótese de que as plantas retiram algo do ar, pois param de produzir bolhas pelo esgotamento do ar fixo dissolvido na água (A). Quando a água é trocada as folhas voltam a produzir gás ar deflogisticado (B). Porém, folhas frescas imersas em água na qual outras folhas já haviam sido mergulhadas e iluminadas, não liberam nenhum tipo de ar (C). Isso sugere que a produção de bolhas cessa devido ao esgotamento de algum material essencial que as folhas extraem da água no processo de produção do ar deflogisticado; excluindo a hipótese de paralisação da produção por comprometimento da função das folhas. Ao aplicar o teste do cal à água fresca da bomba, Senebier descobriu, como esperado, que a água continha muito ar fixo, por isso havia um precipitado no fundo do tubo (D); e que praticamente nenhum ar fixo foi deixado na água depois que as folhas foram iluminadas por um tempo prolongado (E). Desta forma, Senebier pode associar a produção de ar deflogisticado pelas folhas ao suprimento de ar fixo ao qual elas são submetidas.

3. De acordo com os resultados F e G percebemos que há uma relação entre a cor verde das folhas e a produção de gás deflogisticado quando elas são iluminadas. Hoje sabemos que a cor verde das folhas normais se deve à presença de clorofila.

NICOLAS THÉODORE DE SAUSSURE (1767-1845)

Sou um investigador suíço. Estudei a função da água e dos gases na nutrição das plantas, além das mudanças que elas produzem na atmosfera. Fiz experimentos bem planejados de caráter quantitativo. Conhecia as observações de Priestley, Senebier e Ingen-Housz. Também estava familiarizado com a nova teoria do oxigênio de Lavoisier, ao contrário Senebier e seus predecessores, que trabalharam sobre a ótica da Teoria Flogística.



Montei um experimento em que colocava vários reagentes químicos que podiam absorver o oxigênio, o gás carbônico, ou ambos, assim que eles fossem emitidos pelas plantas. Também preparei sistemas idênticos, exceto pela ausência dos agentes absorptivos. As plantas sem os agentes químicos cresciam e prosperavam. Nos sistemas que continham esses agentes, o vigor das plantas foi logo prejudicado e, particularmente na ausência de gás carbônico, sua vida era rapidamente extinta, mas elas também necessitavam de oxigênio para sobreviver. Assim, aprofundi meus estudos sobre influência da concentração de gás carbônico nas plantas (Tabela 4) e sabia que o peso seco da planta era em sua maioria formado por moléculas que continham carbono em sua composição.

Ainda trouxe contribuições sobre papel nutritivo do solo no crescimento das plantas. Fiz uma análise cuidadosa da composição dos vegetais para determinar quais materiais foram extraídos da terra. No entanto essa ideia de que a terra fornece materiais minerais para as plantas contrasta com o resultado do experimento de van Helmont (figura 8).

FONTE: Textos retirados e adaptados de Nash, 1957.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. O que o texto e os dados da Tabela 4 sugerem em relação ao metabolismo das plantas?
2. Analise o texto e a Figura 8 e diga em que o pensamento dos dois cientistas contrastavam.

Composição dos gases na atmosfera	Ganho em peso	Observações
Ar puro (0,03 % CO ₂)	425 mg	-
100,0%	0	Morreu quase imediatamente
75,0%	0	Morreu quase imediatamente
66,0%	0	Morreu quase imediatamente
50,0%	0	Cresceu durante 7 dias, depois cessou
25,0%	205 mg	Cresceu durante 10 dias, ligeiramente apenas
12,5%	371 mg	Sem observações
8,5%	583 mg	Desenvolveu-se melhor do que na atmosfera normal

Tabela 4: Resultados da influência da concentração de CO₂ no crescimento das plantas. Fonte: Baker e Allen (1975), p.189.



Figura 8: Nesse experimento de van Helmont, que durou 5 anos, ele concluiu que o crescimento da planta era exclusivamente proveniente da água e que o solo não trazia contribuição na nutrição delas.

COMENTÁRIOS



1. Foi demonstrado que os processos metabólicos das plantas são sustentados apenas se elas tiverem acesso à concentrações mínimas de gás carbônico e oxigênio. Hoje sabemos que elas realizam tanto a fotossíntese que depende do CO_2 , como a respiração que consome O_2 , por isso necessitam de ambos os gases. Saussure descobriu, como mostram os dados da tabela, que se o gás carbônico é adicionado ao ar, em concentrações de até cerca de 8%, as plantas expostas a um ciclo normal de luz e escuridão crescem com extrema rapidez na atmosfera enriquecida.

2. Os experimentos de Saussure (1767-1845) foram feitos muito tempo depois de van Helmont (1577-1644) – um dos primeiros cientistas a estudar a nutrição das plantas. Os experimentos de van Helmont mostram que quase não houve diminuição na quantidade do solo ao longo de 5 anos, fazendo com que ele concluísse que o solo não contribuía com a nutrição da planta. Isso contrastou com os achados de Saussure, que mais tarde demonstrou que além de água, luz e gás carbônico as plantas também precisam de pequenas quantidades de nutrientes do solo, por isso a perda de solo demonstrada por van Helmont foi pequena.

Ficha Complementar: A TEORIA FLOGÍSTICA

"Flogisto" vem do grego e significa "passado pela chama" ou "queimado". A teoria do flogisto (ou do flogístico) foi desenvolvida pelo químico e médico alemão Georg Ernst Stahl (1659-1734).

De acordo com Stahl os corpos combustíveis possuíam uma matéria chamada flogisto, liberada ao ar durante os processos de combustão de material orgânico ou da calcinação de metais. Por exemplo: ao queimar o carvão o flogisto escaparia e se combinaria com o ar tornando-o flogisticado.

Para Stahl as substâncias que queimavam no ar eram ricas em flogisto e o ar poderia se tornar completamente flogisticado pela combustão num espaço confinado, e não serviria mais para sustentar a queima de qualquer material. O ar flogisticado também não poderia sustentar a vida, pois naquela época o papel do ar para respiração era remover o flogisto do corpo.

Assim, nas fichas o dióxido de carbono (CO_2) também é referido como "ar fixo" ou ar "flogisticado". Muitos cientistas ao fazerem estudos sobre a relação das plantas com a atmosfera perceberam que elas absorviam o flogisto do ar, tornando-o "deflogisticado", que hoje sabemos que estava rico em gás oxigênio.

Fonte: Texto adaptado de CONANT, James Bryant (Ed.). Harvard case histories in experimental science. Harvard University Press, 1957. p.65-73



COMENTÁRIOS



Essa Teoria influenciou os trabalhos de diversos cientistas Priestley, Senebier, Ingen-Housz e Senebier.

Ficha Complementar: A TEORIA DO OXIGÊNIO DE LAVOISIER

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) foi um químico francês considerado o "pai da química moderna"

As ideias de Lavoisier foram cruciais para a revolução química no século XVIII a partir da descoberta do gás oxigênio, levando a derrubada da teoria do flogisto.

Lavoisier acreditava que a combustão e a calcinação retiravam algo do ar, mas isso era o oposto, da doutrina do flogisto. Ele construiu um novo esquema conceitual capaz de explicar o que ocorria na combustão da forma como acreditamos ainda hoje.

Em maio de 1777, Lavoisier comunicou à Academia Francesa suas memórias sobre a respiração dos animais, com suas ideias sobre o papel do oxigênio.

A Priestley também deu enormes contribuições sobre esse tema, ele que efetivamente descobriu o gás oxigênio, mas até o fim de sua vida chamava sua descoberta de "ar deflogisticado".

Fonte: Texto adaptado de CONANT, James Bryant (Ed.). Harvard case histories in experimental science. Harvard University Press, 1957. p.65-73



COMENTÁRIOS



Senebier e seus sucessores, que trabalharam sobre a ótica da Teoria do Oxigênio.

REFERÊNCIAS DAS FICHAS DA ATIVIDADE 1

BAKER, Jeffrey JW; ALLEN, Garland E. Fotossíntese. In: Estudo da Biologia. Vol 1. 1ed. Editora Edgard Blücher. 1975. São Paulo.

CONANT, James Bryant. The overthrow of the phlogiston theory: the chemical revolution of 1775-1789. In: Harvard case histories in experimental science, Vol. I. Cambridge: Harvard University Press, 1957. p.65-73

INGENHOUSZ, Jan. Experiments Upon Vegetables, Discovering Their Great Power of Purifying the Common Air in the Sun-shine, and of Injuring it in the Shade and at Night: To which is Joined, a New Method of Examining the Accurate Degree of Salubrity of the Atmosphere. P. Elmsly, and H. Payne, 1779.

NASH, L. K.; Plants and the Atmosphere. In: Harvard Case Histories in Experimental Science, Vol. II. Cambridge: Harvard University Press, 1957.

ATIVIDADE 2: LUZ, CÂMERA E FOTOSSÍNTESE EM AÇÃO

FICHA TÉCNICA

Descrição da atividade:

Essa atividade foi idealizada em formato de projeto para os estudantes aprimorarem competências e conhecimentos sobre a bioquímica da fotossíntese por meio da produção de um vídeo de animação quadro-a-quadro (*stop motion*), representando as etapas desse processo, seus reagentes, produtos e transformações energéticas. Caso não seja possível que os estudantes produzam vídeos, este roteiro pode servir de base para o desenvolvimento de *storyboards* (tipo de história em quadrinhos para elaboração de filmes).

Requisito:

É importante que o professor se familiarize com a técnica de animação, caso deseje produzir o vídeo com seus estudantes. Para isso, recomenda-se a videoaula "Stop motion com objetos - Aula 02", disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=HhKItFkXV-k>.

Objetivo de aprendizagem:

Espera-se que, ao término desta atividade, o estudante seja capaz de:

- Compreender as transformações da matéria e energia que ocorrem na fotossíntese.

Competências e habilidades:

Competências		Habilidades	Temas contemporâneo e transversais
Gerais	Específicas		
2, 4, 5, 7, 10	1, 2 e 3	EM 13CNT101, EM 13CNT301, EM 13CNT302, EM 13CNT309.	Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente

Conteúdos: estrutura do cloroplasto, fases fotoquímica e química.

Tempo estimado: Por ser um projeto envolvendo fases em sala de aula e fora dela, sugere-se que essa atividade seja dividida em 4 aulas de 80 minutos.

Materiais:

- Para uso do professor: projetor, quadro, roteiro.
- Para uso do aluno: celular ou câmera fotográfica, tripé ou suporte de papelão para o celular, fita crepe, luminária e materiais variados utilizados na produção dos elementos animados que aparecerão no vídeo, como: cartolina, massinha de modelar, papéis coloridos, tesoura, cola etc. A escolha desses materiais é livre e dependerá da preferência dos discentes e dos recursos disponíveis, mas é importante que o professor estimule o uso e reaproveitamento de materiais de baixo custo, como papel de revista, tampinhas plásticas, caixa de papelão, entre outros.

AULA 1 - AULA DIALOGADA E CONTEXTUALIZAÇÃO

Essa atividade se inicia com uma aula dialogada que incorpora elementos das fases de orientação e contextualização do ciclo investigativo. A temática do preço da gasolina e sua influência no dia a dia será usada como forma de trabalhar um assunto cotidiano. O professor pode fazer perguntas para que os alunos se engajem na discussão.



ATENÇÃO

Os materiais da atividade 2, se encontram em formato para impressão no Apêndice 2 do livro.

PERGUNTAS DE ORIENTAÇÃO:

1. Em que o aumento da gasolina influencia no seu dia a dia?
2. Por que esse combustível aumenta?
3. Do que a gasolina é feita?
4. Existem alternativas ao uso da gasolina?

COMENTÁRIOS



Não há um padrão de resposta esperada a serem manifestadas pelos alunos.

Após os estudantes apresentarem suas considerações, sugiro indagá-los sobre as possíveis soluções para esse problema e seguir a aula com a leitura e interpretação do texto "Transformando luz e gás carbônico em combustível" sobre fotossíntese artificial.

TRANSFORMANDO LUZ E GÁS CARBÔNICO EM COMBUSTÍVEL

Os cientistas há muito tempo sonham em imitar a fotossíntese, usando a energia da luz solar para unir hidrocarbonetos (moléculas ricas em carbono e hidrogênio), usando dióxido de carbono (CO_2) e água para formar combustíveis.

Isso agora é possível utilizando a energia captada por um pequeno painel solar para dividir o CO_2 em monóxido de carbono (CO), que é rico em energia. O CO_2 é decomposto em oxigênio e CO que, por sua vez, pode ser combinado com hidrogênio para fazer uma variedade de combustíveis. Por exemplo, a adição de quatro átomos de hidrogênio ao CO cria o metanol, um tipo de álcool que pode servir como combustível líquido para abastecer carros. Esse novo método de produção renovável de combustível

ainda não é eficiente o suficiente para competir com combustíveis fósseis, como a gasolina. Mas, um dia, essa tecnologia pode levar à produção de quantidades essencialmente ilimitadas de combustíveis líquidos a partir da luz solar, água e CO₂, um dos principais fatores relacionados ao aquecimento global.

Texto adaptado de: Science - Cheap catalysts turn sunlight and carbon dioxide into fuel (<https://www.science.org/content/article/cheap-catalysts-turn-sunlight-and-carbon-dioxide-fuel>). Acesso em: 20/03/2022.

Depois ou durante a leitura do texto, o professor pode explorar os conhecimentos prévios dos alunos sobre a fotossíntese com as questões sugeridas a seguir:

PERGUNTAS PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS:

- Quais seres vivos realizam a fotossíntese?
- O que é preciso para que a fotossíntese aconteça?
- O que é produzido nesse processo?
- Qual a diferença da fotossíntese artificial para a natural?

COMENTÁRIOS



Não há um padrão de resposta esperado nas manifestações dos alunos.

No Ensino Investigativo é importante que os estudantes sejam estimulados a elaborar hipóteses, a partir de seus conhecimentos prévios, para explicar fenômenos observados. Isso pode ser realizado individualmente ou em grupos, mas é importante que haja o registro por escrito das respostas, que pode ser feita no caderno. A concepção das hipóteses pode partir de uma pergunta de investigação, como a sugerida a seguir.

PERGUNTA DE INVESTIGAÇÃO

Na fotossíntese, como ocorre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento e moléculas que compõem a massa corporal das plantas?



SUGESTÃO DE LEITURA

Para conhecer mais sobre novas formas de produção de biocombustível e se atualizar sobre a temática leia o texto "Catalisadores baratos transformam luz solar e dióxido de carbono em combustíveis" da Revista *Science*.

Acesse o texto já traduzido em: https://www-science-org.translate.googleusercontent.com/content/article/cheap-catalysts-turn-sunlight-and-carbon-dioxide-fuel?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=wapp.

COMENTÁRIOS



Com a pergunta problematizadora centrada na ação de transformação, deseja-se que os alunos foquem suas explicações nas mudanças nas moléculas e na conversão da energia luminosa em energia química.

Para finalizar o primeiro encontro o docente pode solicitar que os estudantes comentem suas hipóteses a fim de discuti-las coletivamente.

AULA 2 - ELABORANDO O ROTEIRO

Nesta etapa, os alunos devem ser divididos em grupos de 4 a 6 componentes para trabalharem na elaboração do roteiro de animação ou do *storyboard*.

Esse segundo encontro servirá para que alunos façam a investigação a partir da análise a Figura 1, que mostra uma visão geral da fotossíntese e as interdependências entre as reações da fase luminosa e química. O professor também pode optar por usar apenas a equação geral da fotossíntese. Com a imagem ou a equação geral os alunos poderão coletar dados e informações para preencher uma ficha que ajudará na criação e elaboração do roteiro.

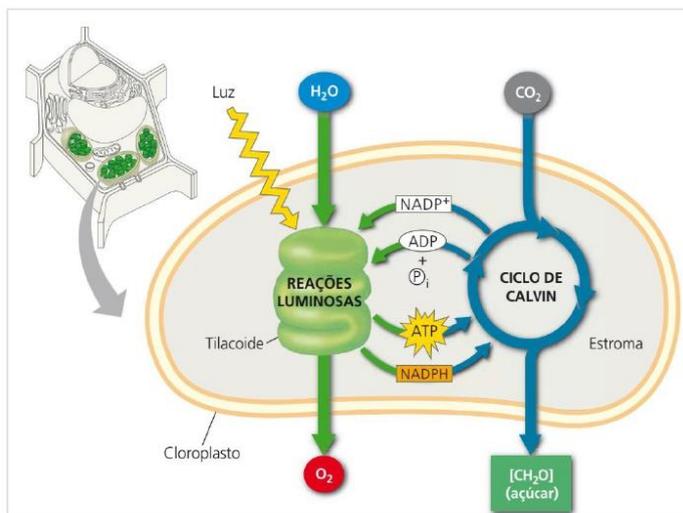


Figura 1: Uma visão geral da fotossíntese. Fonte: REECE, 2015. p 189

A ficha de elaboração do roteiro conta com perguntas que guiarão os alunos no processo de tomada de consciência para resolverem a pergunta de investigação.

FICHA DE ELABORAÇÃO DE ROTEIRO

O grupo deve criar um roteiro, ou seja, uma espécie de texto que conta uma história, que vocês usarão para criar um *storyboard* ou pequeno filme de animação.

O roteiro será composto por três elementos básicos: personagens, cenário e ação. Também é possível acrescentar a descrição de imagens e sons, além de fornecer todos os dados necessários para que os membros do grupo possam desenvolver seus respectivos trabalhos.

Use as perguntas abaixo para estruturar o seu roteiro:

Vocabulário: *storyboard* é um tipo de história em quadrinhos visualização das cenas de filmes.

PERSONAGENS:

- Quais são os personagens (elementos/moléculas e formas de energia) envolvidos?

AÇÃO/CRIAÇÃO DAS CENAS:

- Qual o papel de cada personagem?
- Como eles interagem?
- O que cada um faz?

CENÁRIO:

- Onde as cenas irão ocorrer?
- Quando ocorrem?

COMENTÁRIOS



Por meio dos “personagens” espera-se que os discentes relembrem os elementos envolvidos na fotossíntese. Ao pensar sobre a “ação” deseja-se que notem quais transformações na matéria e energia estão ocorrendo em cada fase. Por meio da reflexão sobre o “cenário” devem observar em qual local do cloroplasto essas reações ocorrem. Por fim, ao refletirem sobre o comando “quando ocorrem” poderão notar a necessidade de luz na fase fotoquímica e a dependência dos produtos da primeira reação para ocorrência da fase química.

Ao final do primeiro encontro é importante que o professor estabeleça um prazo para entrega dos roteiros para serem feitas sugestões e correções necessárias.

AULA 3 - ELABORAÇÃO DAS ANIMAÇÕES OU STORYBOARDS

A produção de vídeos de animação envolve muitas etapas e pressupõe a execução de diversas tarefas, assim o professor deve solicitar que os alunos pensem na divisão de tarefas entre os componentes do grupo. Para isso os estudantes podem utilizar a ficha de pré-produção. Ela não será necessária caso o professor opte por produzir o *storyboard*.

FICHA DE PRÉ-PRODUÇÃO

- A pré-produção envolve toda a preparação para execução do roteiro durante a gravação da animação, assim um passo importante será a definição das funções de cada membro da equipe. Exemplos de atividades:
- Separação do material necessário para a animação.
- Elaboração e montagem do cenário.
- Animador (responsável por movimentar os elementos que serão animados).
- Câmera e luz (responsável por tirar as fotos e controlar a luz durante o processo de animação).
- Edição do vídeo (responsável pela edição final, adição de sons, falas, legendas, créditos finais e etc).

Nome dos componentes do grupo	Funções

Também é importante que o grupo faça uma lista de materiais que irão utilizar, bem como quem será o responsável por trazer o item no dia e local da gravação.

Lista de materiais:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Antes dessa etapa também é importante que os alunos se familiarizem com as técnicas de animação quadro-a-quadro. Para isso recomenda-se que o professor solicite que os discentes assistam previamente ou exiba em sala de aula a videoaula “*Stop motion* com objetos - Aula 02”, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=HhKItFkXV-k>.

Caso o professor opte pela realização da animação deve se certificar previamente que ao menos um componente do grupo tenha à disposição um smartphone. Além disso, o docente também pode sugerir que os alunos baixem previamente os aplicativos de celular:

- Stop Motion Studio - permite a montagem e edição das animações stop motion.
- InShot - permite a edição de vídeos com adição de efeitos sonoros, adição de textos, adesivos, entre outros.

Os professores que não trabalharem com a animação usarão esse encontro para que os alunos preparem o *storyboard*. Para facilitar a confecção dos *storyboard* o professor pode oferecer aos estudantes a ficha a seguir.



SUGESTÃO DE LEITURA

O docente também pode consultar o livro “Movimento parado passo a passo: um guia para animação em *stop motion*” de Rosana van der Meer e Fabrício Tacahashi.

Disponível em:
<https://drive.google.com/file/d/155VTx1dQEbrPoX9IDXNfonjsS1Lh70oN/view>

AULA 4 - EXIBIÇÃO DAS ANIMAÇÕES OU EXPOSIÇÃO DOS STORYBOARDS.

Esse encontro servirá para exibir os trabalhos realizados pelos grupos, com conclusão da atividade. O professor deve promover uma roda de conversas com os alunos, solicitando que cada grupo apresente o que produziu, dando oportunidade para que os outros grupos também façam comentários, críticas ou sugestões. Assim o docente deve fomentar o diálogo e discutir sobre as correções necessárias nas obras produzidas pelos alunos.

Após a apreciação dos vídeos ou *storyboards*, o professor pode solicitar que os estudantes retomem as concepções iniciais para reavaliar suas respostas a pergunta de investigação, refletindo sobre os conhecimentos aprendidos.

PERGUNTA DE CONCLUSÃO:

Pensando novamente na sua resposta à pergunta de investigação, sobre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento, continua a mesma? O que você modificaria ou acrescentaria, por quê?

COMENTÁRIO:



Essa questão fará o aluno confrontar o que sabia anteriormente com o que aprendeu, dando ao discente a oportunidade de autocorriger inadequações notada por ele.

ATIVIDADE 3 - A FANTÁSTICA FÁBRICA MICROBIOLÓGICA DE PLÁSTICO

FICHA TÉCNICA

Descrição da atividade:

Essa atividade trabalha aspectos da fotossíntese a partir de uma perspectiva CSTA, instigando os estudantes a pensarem o problema do plástico a partir do vídeo "Poluição plástica em números e imagens" (elaborado pela Pesquisa FAPESP) e a possível relação da fotossíntese com esse problema a através da produção de bioplástico por cianobactérias. Os alunos serão guiados por uma experiência de aprendizagem utilizando o simulador virtual (*PhotoLab* da *KScience*). Eles investigarão quais seriam as melhores condições para o crescimento de seres fotossintetizantes, refletindo como fatores ambientais interferem esse processo, e pensar como seria possível maximizar a produção de bioplástico.

Objetivos de aprendizagem:

Espera-se que, ao término desta atividade, o estudante seja capaz de:

- Compreender como a cor da luz utilizada, a intensidade luminosa, a concentração de CO₂ e a temperatura influencia na fotossíntese.
- Coletar dados para construção de tabelas e gráficos.
- Refletir sobre formas de intensificar os processos fotossintéticos a fim de buscar soluções para problemas ambientais.

Competências e habilidades:

Competências		Habilidades	Temas contemporâneo e transversais
Gerais	Específicas		
2, 4, 5, 7, 10	1, 2 e 3	EM13CNT101, EM13CNT105, EM13CNT202, EM13CNT203, EM13CNT301, EM13CNT302.	Ciência e Tecnologia; Meio Ambiente

Conteúdo: Fatores ambientais que influenciam a fotossíntese.

Tempo estimado: Dois tempos de aula de 80 minutos.

Materiais: Roteiro da prática, *smartphones* e simulador virtual Photolab.

É importante que o professor pense previamente como irá realizar essa atividade, que pode ocorrer num laboratório de informática com uso de computadores ou em sala de aula, necessitando para isso que os alunos utilizem seus próprios *smartphones*. O professor também deve se familiarizar como abrir e utilizar os programas sugeridos.

COMO ABRIR O SIMULADOR

EM COMPUTADORES:

Opção 1 - Baixe Simulador PhotoLab e o programa leitor de flash player (Adobe Flash Player 32) no computador.

- Photolab - <http://www.kscience.co.uk/animations/photolab.htm>
- Adobe Flash Player 32
- ✓ Abra o Adobe Flash Player 32 na aba "Arquivo", clique em "Abrir" e aparecerá uma caixa de comando.
- ✓ Na caixa de comando clique em "Procurar" e selecione "photolab.swf" na pasta de downloads do computador.

Opção 2 - Instale uma extensão no navegador de *internet*:

- No Google Chrome: abra o link abaixo e clique em "Instalar" <https://chrome.google.com/webstore/detail/ruffle/donbcfbmhbcapadipfkeojnmajbakjdc>
- No navegador Mozilla Firefox: abra o link abaixo e clique em "Adicionar os Firefox" https://addons.mozilla.org/pt-BR/firefox/addon/ruffle_rs/
- Após a adição da extensão no navegador desejado abra o simulador através do link: <http://www.kscience.co.uk/animations/photolab.htm>

NO SMARTPHONE:

- Baixe o Simulador PhotoLab para o smartphone pelo link <http://www.kscience.co.uk/animations/photolab.htm>
- Abra o website no navegador do celular: <https://ruffle.rs/demo/>
- ✓ Em "Local SWF" clique em "escolher arquivo".
- ✓ Encontre e selecione o arquivo "photolab.swf" na pasta de downloads ou arquivos do celular.

ETAPA 1 - O PROBLEMA DO PLÁSTICO

Essa aula se inicia com uma atividade que mescla orientação e contextualização, sobre o problema do plástico, para isso o professor irá convidar os estudantes assistirem o vídeo "Poluição plástica em números e imagens" (elaborado pela Pesquisa FAPESP). O vídeo tem duração aproximadamente de 3 minutos, mas sugere-se que se faça uma exibição em etapas, para ir explorando o material audiovisual dialogicamente com os estudantes, conforme a proposta de intervenções a seguir.

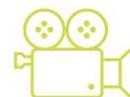


ATENÇÃO

Os materiais da atividade 3, se encontram em formato para impressão no Apêndice 3 do livro.

POLUIÇÃO PLÁSTICA EM NÚMEROS E IMAGENS

Assista ao vídeo disponível em: <https://youtu.be/AVkd26YzP54> (Fonte: adaptado pela autora de Pesquisa FAPESP).



PERGUNTAS PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS:

1. O que você acredita que acontece com todo esse material plástico?
2. Qual o problema envolvido nessa situação?
3. O que você entende com a palavra biodegradável? O plástico pode ser considerado um material biodegradável?
4. Você concorda com o termo "planeta plástico" usado no vídeo? Por quê?
5. Como seria possível resolver o problema do plástico?

COMENTÁRIOS



1. Respostas pessoais, mas é provável que alguns discentes comentem que é a maior parte do plástico é descartada no lixo e no ambiente.
2. Podem surgir diversas respostas, como o fato de o plástico possuir um longo tempo de degradação, muitas vezes apenas se quebrando em pedaços menores (os microplásticos, que estão contaminando a água e os seres vivos); nos oceanos podem formar ilhas de plástico, entre outras respostas.
3. Com essa pergunta espera-se que os discentes exponham os seus conhecimentos prévios sobre uma palavra cotidiana e reflitam sobre o seu significado.
- 3 e 4. Respostas pessoais.
5. Espera-se que os alunos proponham diversas respostas, que podem envolver os cinco R's (repensar, reduzir, recusar, reutilizar e reciclar). No entanto, o foco da próxima etapa será pensar em possibilidades de substituição do plástico derivado do petróleo, por novos materiais, com características similares ao plástico sintético, mas de fácil degradação. Para ajudar nessa reflexão o professor pode usar tabelas ou imagens que mostrem o tempo de decomposição de diferentes tipos de materiais (figura 1), incluindo o plástico que pode levar centenas de anos para se decompor.



SUGESTÃO DE LEITURA

O professor pode se atualizar sobre a temática do plástico através das reportagens a seguir:

- Planeta Plástico: <https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>
- A ameaça dos microplásticos <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ameaca-dos-microplasticos/>
- Reutilizar, substituir, degradar <https://revistapesquisa.fapesp.br/reutilizar-substituir-degradar/>



Figura 1: Exemplo de imagem que pode ser usada para ilustrar o tempo de decomposição de diversos materiais que usamos no nosso dia a dia. Fonte: Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB.

ETAPA 2: TRATANDO A FOTOSSÍNTESE COMO PARTE DA SOLUÇÃO DO PROBLEMA.

Após discutir com os alunos quais são as possíveis soluções para o problema do plástico, o professor pode utilizar o texto sobre produção de bioplástico por cultivo de cianobactérias, mostrando assim uma nova solução no futuro.

SUGESTÃO DE SIMULADORES

“Pegada Plástica” é uma calculadora virtual da *Omni Calculator*[®], que mensura a média de consumo anual de plástico de uma pessoa. A sensibilização dos estudantes também pode ser realizada utilizando esse recurso. O docente pode sugerir que os estudantes acessem a calculadora e depois realizar uma roda de conversa sobre as impressões dos alunos sobre o assunto.

Acesse o site já traduzido em: https://www-omnicalculator-com.translate.google.com/ecology/plastic-footprint?x_tr_sl=en&x_tr_tl=pt&x_tr_hl=pt-BR&x_tr_pto=wapp

A FANTÁSTICA FÁBRICA MICROBIOLÓGICA DE PLÁSTICO

Atualmente, são produzidas cerca de 370 milhões de toneladas de plásticos por ano. De acordo com previsões, a produção global de plástico deve aumentar em mais de 40% na próxima década, sendo a causa de crescentes problemas ambientais.

Cada vez mais resíduos plásticos vão para o ambiente, poluindo os oceanos e invadindo a cadeia alimentar na forma de microplásticos. Além disso, o plástico é feito principalmente de derivados de petróleo, que, durante a queima, libera CO₂ adicional na atmosfera, contribuindo para o agravamento das mudanças climáticas e do aquecimento global.

Uma solução para esses problemas pode estar nas cianobactérias. Elas também são conhecidas como microalgas ou algas azuis, apesar de serem organismos procariontes. Atribui-se à elas a liberação

de O₂ na atmosfera por meio da fotossíntese há cerca de 2,3 bilhões de anos, que culminou na criação da camada de ozônio, protegendo a vida na Terra da radiação ultravioleta.

As cianobactérias do gênero *Synechocystis* produzem polihidroxibutirato (PHB), uma forma natural de plástico, como um subproduto da fotossíntese, utilizando apenas água, CO₂ e luz solar em sua síntese. O PHB pode ser usado de modo semelhante ao polipropileno proveniente do petróleo, mas é rapidamente degradado no meio ambiente.

Pesquisadores da Universidade de Tubinga, na Alemanha, estudaram como fatores ambientais influenciam a produção de bioplástico e modificaram geneticamente o metabolismo de cianobactérias para produzir o PHB em quantidades que permitam seu uso industrial. O novo plástico poderá, no futuro, competir com os plásticos à base de petróleo, que são extremamente prejudiciais ao meio ambiente.

Outro projeto, realizado no Instituto de Química (IQ-USP) em São Paulo, tem os mesmos objetivos que a equipe alemã. A produção de PHB brasileira ainda está no início e hoje acontece apenas em uma fábrica no interior de São Paulo, onde é feito com substrato da cana-de-açúcar, competindo pelas matérias-primas para consumo humano e produção de etanol.

Um dos desafios para a expansão do uso do PHB é o seu custo elevado. Hoje ele é considerado um plástico nobre, que vale cinco vezes mais do que plásticos derivados de petróleo, como o das garrafas PET.

Fonte: Texto adaptado de:
<https://agencia.fapesp.br/projeto-investiga-como-transformar-co2-de-algas-e-cianobacterias-em-bioetanol-e-plastico-verde/37957/>
<https://www.ecycle.com.br/cianobacterias-sao-a-nova-aposta-da-ciencia-para-revolucionar-a-industria-do-plastico/>
<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/metodo-bioplastico-gas-carbonico/>

O professor pode fazer uma breve discussão do texto com os discentes após a leitura. Neste ponto também é importante que os alunos explorem o texto respondendo à pergunta de investigação a seguir.



SUGESTÃO DE VÍDEOS

Saiba mais sobre o processo de produção de bioplástico com o vídeo "Usando estratégias de engenharia metabólica para melhorar cianobactérias fototróficas para a produção de bioplásticos sustentáveis e biodegradáveis" de Moritz Koch.

Acesso em:
<https://www.youtube.com/watch?v=Rk9RSnC8mnI>

Se desejar acione o modo de legenda automática no menu Definições/Legendas/Traduzir automaticamente/Português.

Uma das principais etapas do estudo da equipe alemã e brasileira, além de trabalhar com o melhoramento genético das cianobactérias, é estabelecer quais as condições ambientais intensificam a produção do bioplástico.

PERGUNTA DE INVESTIGAÇÃO

Quais condições de luminosidade (intensidade e cor), concentração de CO₂ e temperatura favorecem o aumento da fotossíntese?

PERGUNTAS AUXILIARES

1. Proponha uma hipótese, a partir dos seus conhecimentos, para responder à questão de pesquisa.
2. Forneça uma justificativa para sua hipótese, ou seja, por que você acha isso?

COMENTÁRIOS



1 e 2. É importante que os estudantes registrem suas respostas por escrito. Neste momento, não há um padrão de resposta.



ETAPA 3: INVESTIGANDO COMO OS FATORES AMBIENTAIS AFETAM A FOTOSSÍNTESE USANDO O SIMULADOR VIRTUAL PHOTOLAB E CONCLUINDO A ATIVIDADE

O simulador Photolab, elaborado por KScience, é um *software* gratuito destinado a professores e estudantes de ciências.

Nessa etapa os alunos podem trabalhar em grupos, trios ou duplas, conforme a disponibilidade de computadores ou *smartphones*.

Os discentes irão acessar o simulador de acordo com as instruções do quadro "COMO ABRIR O SIMULADOR". Sugere-se que o professor também forneça a ficha de instrução para o uso do simulador aos discentes.

SUGESTÃO DE SIMULADORES

É possível encontrar outros simuladores gratuitos em:

- http://www.kscience.co.uk/animations/anim_1.htm

Com simulações de biologia, química e física em língua inglesa produzidas em *flash play*.

- https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Com simulações de física, química, matemática, ciências da terra e biologia em português. Algumas simulações são produzidas no formato HTML5 que permite a utilização diretamente no navegador no computador ou celular.

- <https://www.jondarkow.com/home>

São disponibilizadas simulações sobre transporte celular, ecologia, enzimas, evolução, genética, metabolismo celular, entre outros temas, em língua inglesa.

ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO - PHOTOLAB

Utilizaremos um simulador virtual que reproduz um laboratório, onde iremos trabalhar com uma planta aquática *Elodea sp.* (Michx). Nessa atividade a fotossíntese será medida em função do número de bolhas de oxigênio liberadas por intervalo de tempo. Assim, quanto maior o número de bolhas liberadas, maior a taxa fotossintética da planta.

Vocês irão avaliar quais condições/fatores abióticos irão favorecer a taxa fotossintética. No simulador é possível controlar a temperatura, quantidade de CO_2 dissolvido na água, a intensidade luminosa e a cor da luz (branca, verde, azul e laranja). Os comandos e o modo de utilização do simulador são mostrados na Figura 2.

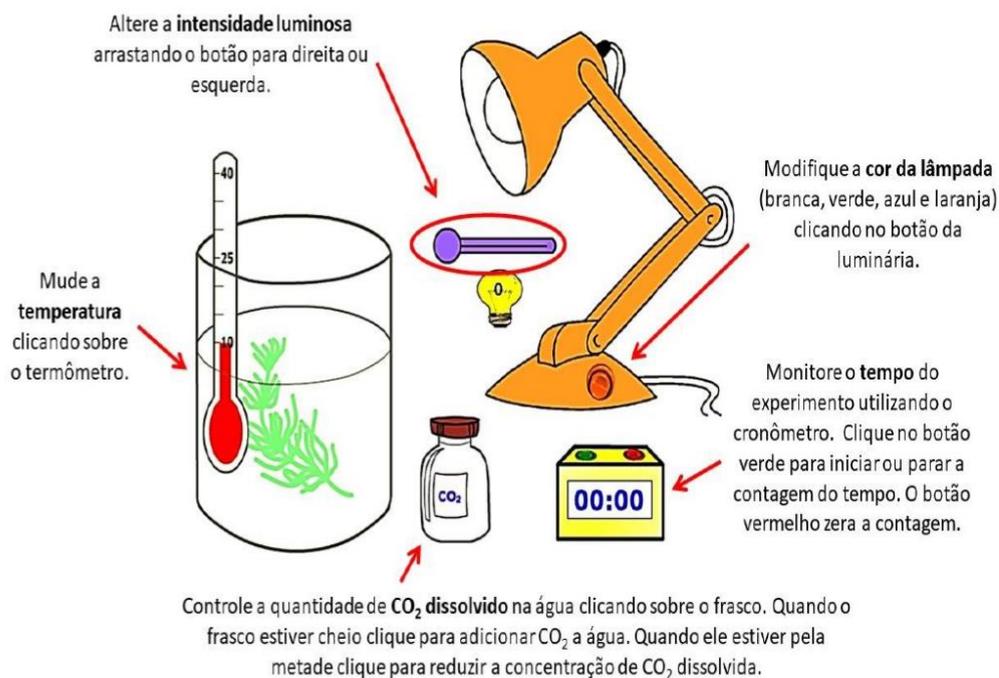


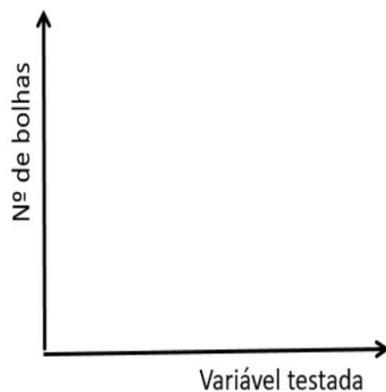
Figura 2: Localizando e compreendendo os comandos no simulador Photolab. Fonte: imagem extraída de Photolab e legendas criadas pela autora.

DICAS:

- É possível trabalhar com um tempo de 30 segundos em cada experimento.
- Planeje previamente as simulações que serão realizadas, pense em qual parâmetro irá variar e quais serão mantidos constantes.
- Registre as condições experimentais testadas e anote os resultados, como mostrado na sugestão a seguir:

	Variável alterada	Variáveis Constante	Nº de bolhas	Interpretação do resultado
Condição 1				
Condição 2				
Condição 3				
Condição 4				

- Crie tabelas ou gráficos que mostrem os resultados. Vocês podem se inspirar no exemplo abaixo:



Após a utilização do simulador o professor pode fazer a discussão das respostas com a turma.

PERGUNTAS DE CONCLUSÃO:

3. Após obter os resultados dos experimentos compare-os com as suas hipóteses iniciais. O que você imaginava que aconteceria antes de realizar investigação pôde ser confirmado pelos testes no simulador? O que você modificaria? Justifique sua resposta baseado nos dados coletados durante a simulação.

4. O simulador foi capaz de ajudar a responder todas as questões levantadas por você? Ou há aspectos que esta atividade não esclareceu, que necessitariam de estudos futuros?
5. Agora que já compreendemos como alguns fatores podem influenciar a fotossíntese, maximizando a produtividade dos seres fotossintetizantes, voltaremos à discussão a inicial sobre o plástico. Vocês acreditam que a produção em larga escala de bioplástico resolve o problema estudado?

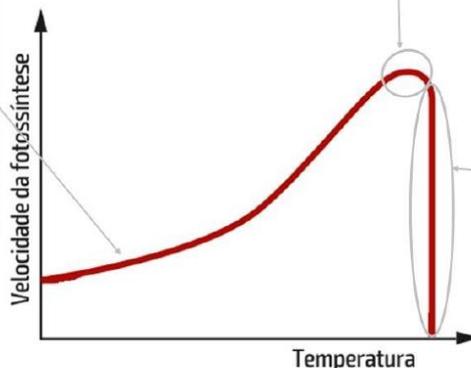
COMENTÁRIOS



3. Com essa pergunta espera-se que os discentes comparem suas respostas iniciais baseadas em seus conhecimentos prévios com os dados obtidos a partir do simulador. O docente também pode utilizar gráficos para trabalhar os fatores que afetam a fotossíntese, para ajudar os discentes a pensar sobre os resultados (Figura 3).

TEMPERATURA COMO FATOR LIMITANTE

1. O aumento da temperatura faz aumentar a velocidade da fotossíntese. Lembre que em baixas temperaturas as moléculas se movem pouco, o que dificulta o encontro da enzima com o seu substrato!



2. A velocidade aumenta a taxa de fotossíntese até o ponto onde atinge a velocidade máxima (ponto ótimo).

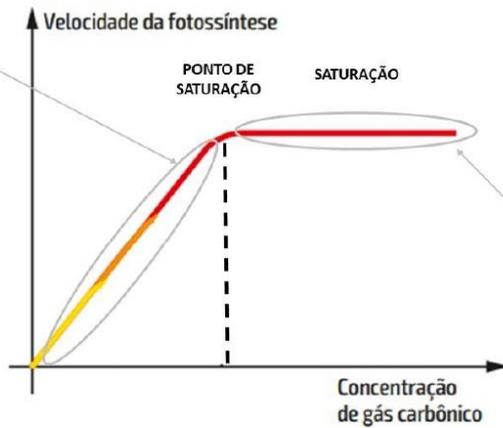
3. A partir desse ponto as enzimas começam a desnaturar, devido a enorme agitação interna, que leva ao rompimento das ligações que mantêm a forma da enzima. Com isso, a velocidade da reação cai.

Fonte: Adaptado pela autora de LINHARES, GEWANDSZNAJDER; PACCA, 2016, p.113.

GÁS CARBÔNICO COMO FATOR LIMITANTE

1. O aumento da concentração de CO₂ faz aumentar a velocidade da fotossíntese.

2. A velocidade aumenta até um ponto onde a velocidade se torna constante (ponto de saturação).

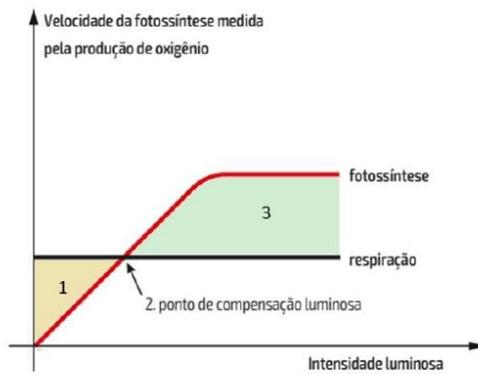


3. A partir desse ponto as enzimas do ciclo das pentoses estão todas "ocupadas" (saturadas).

Fonte: Adaptado pela autora de LINHARES; GEWANDSZNAJDER; PACCA, 2016, p.113.

LUZ COMO FATOR LIMITANTE - INTENSIDADE

1. Quando está no escuro a planta não faz fotossíntese, mas está respirando; ela consome oxigênio em vez de produzi-lo.



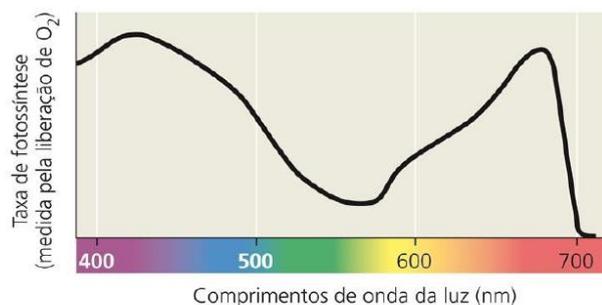
2. Indica determinada intensidade de luz na qual a quantidade de oxigênio consumida é igual à produzida. Isso significa que a fotossíntese atingiu velocidade igual à da respiração.

3. Quando a intensidade de luz é superior à do ponto de compensação, há saldo de oxigênio, que é liberado pela planta.

Fonte: Adaptado pela autora de LINHARES; GEWANDSZNAJDER; PACCA, 2016, p.113.

LUZ COMO FATOR LIMITANTE - COR

O gráfico apresenta a taxa de fotossíntese *versus* absorção de diferentes cores (comprimentos de onda) pelos pigmentos que captam a luz durante a fotossíntese.



Fonte: Adaptado pela autora de REECE, 2015, p. 192.

Figura 3: Exemplos de gráficos que podem ser usados nessa atividade.

COMENTÁRIOS



4. Almeja-se que os alunos reflitam sobre as limitações da simulação. O professor deve discutir com os estudantes sobre as metodologias e/ou tecnologias e os avanços da ciência.

5. A partir dessa questão será possível retomar a discussão inicial sobre o problema do plástico. É importante salientar com os estudantes que o bioplástico não é a única resposta, que este é um problema complexo que envolve recursos tecnológicos. No entanto a chave dessa questão também passa pelo consumo sustentável, visto que, o uso do bioplástico na mesma escala do plástico comum requer a utilização de grande quantidade de recursos e energia.

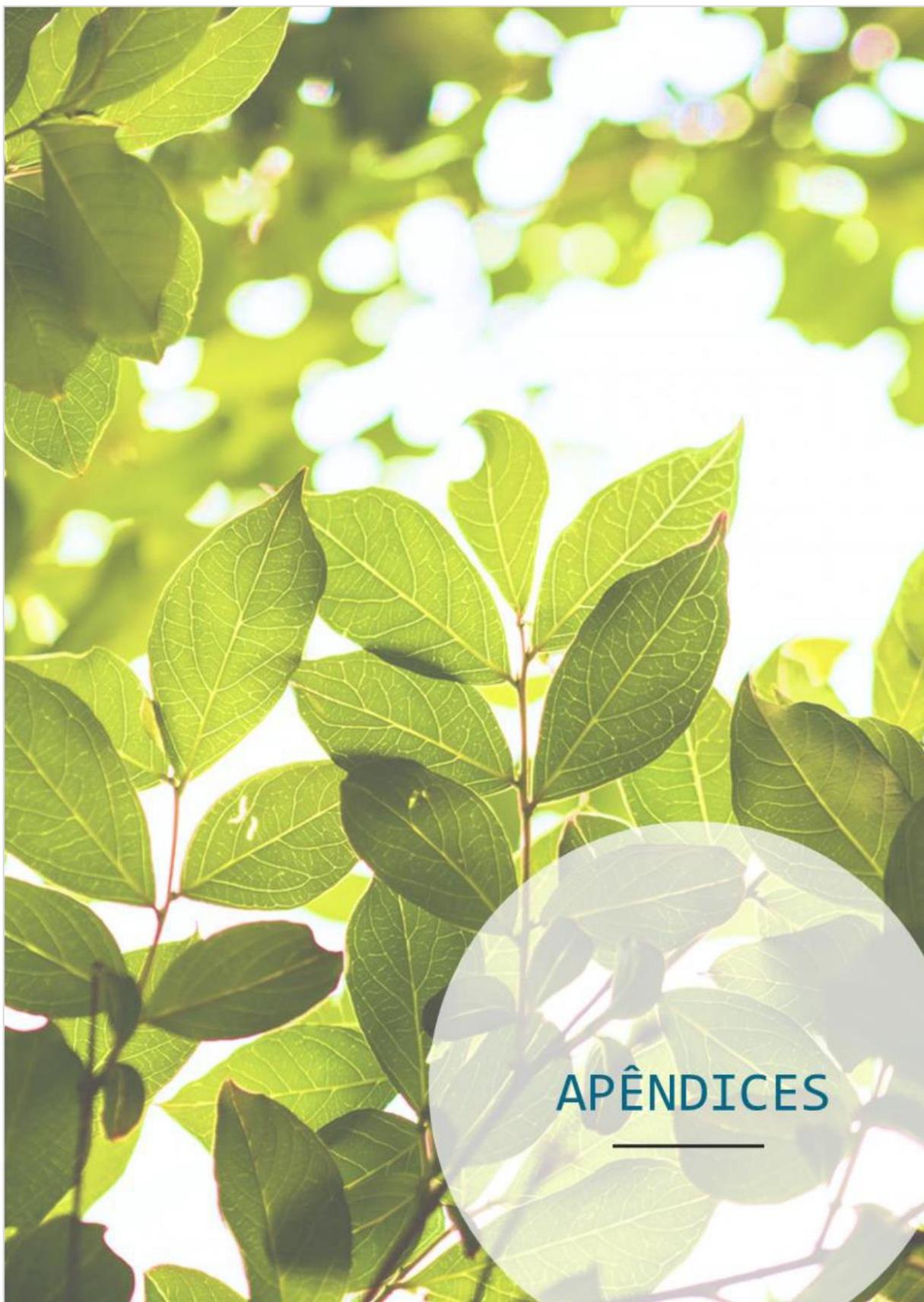


REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- 1 ZÔMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.
- 2 ANDRADE, Guilherme Trópia Barreto de. Percursos históricos de ensinar ciências através de atividades investigativas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 13, n. 1, p. 121-138, 2011.
- 3 BATISTA, Renata FM; SILVA, Cibelle Celestino. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos avançados**, v. 32, p. 97-110, 2018.
- 4 KRASILCHIK, Myriam. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 85-93, 2000.
- 5 BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.
- 6 BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf
Acesso em: 20/02/2020.
- 7 BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192
Acesso em: 20/02/2020.
- 8 ALVES, Milena; BEGO, Amadeu Moura. A Celeuma em Torno da Temática do Planejamento Didático-Pedagógico: Definição e Caracterização de seus Elementos Constituintes. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 71-96, 2020.
- 9 SOLINO, Ana Paula; FERRAZ, Arthur Tadeu; SASSERON, Lúcia Helena. Ensino por investigação como abordagem didática: desenvolvimento de práticas científicas escolares. **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, p. 1-6, 2015.
- 10 SCARPA, Daniela Lopes. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia - Aula 13 - Por que Ensino de Ciências por Investigação?** Youtube, 13/06/2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kM6WgTzkN1A>
Acesso em: 02/05/2022.
- 11 SCARPA, Daniela Lopes; CAMPOS, Natália Ferreira. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 25-41, 2018.
- 12 CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 765-794, 2018.
- 13 COSTA, David Gadelha da; SALVADOR, Maria Aparecida Tenório. Concepções de estudantes do curso de licenciatura em Ciências Biológicas acerca do ensino por investigação. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 3, p. 1-25, 2021.

- 14 ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Penso Editora, 2008.
- 15 SASSERON, Lúcia Helena. **O ensino por investigação: pressupostos e práticas. In: Fundamentos Teórico-Metodológico para o Ensino de Ciências**. Licenciatura em Ciências. USP/Univesp. [2012?].
Disponível em: https://midia.atp.usp.br/plc/plc0704/impressos/plc0704_12.pdf
Acesso em: 04/05/2022.
- 16 CARVALHO, Anna Maria Pessoa de *et al.* **O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, p. 1-20, 2013.
- 17 PEDASTE, Margus *et al.* Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational research review**, v. 14, p. 47-61, 2015.
- 18 SCARPA, Daniela Lopes. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia – Aula 14 – O ciclo investigativo e suas etapas – Parte 1**. Youtube, 13/06/2017.
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mv5rIQbRPsE>
Acesso em: 02/05/2022.
- 19 SCARPA, Daniela Lopes. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia - Aula 15 - O ciclo investigativo e suas etapas - Parte 2**. Youtube, 13/06/2017.
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Asc5n-9c0A>
Acesso em: 02/05/2022.
- 20 SCARPA, Daniela Lopes. UNIVESP. **Planejamento para o Ensino de Biologia - Aula 16 - O ciclo investigativo e suas etapas - Parte 3**. Youtube, 13/06/2017.
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=z2eRLcslc1E>
Acesso em: 02/05/2022.
- 21 REECE, Jane B. *et al.* **Biologia de Campbell**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- 22 TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017
- 23 CRUZ, Jeffrey A.; AVENSON, Thomas J. Photosynthesis: a multiscopic view. **Journal of plant research**, v. 134, n. 4, p. 665-682, 2021.
- 24 LIMONGI, C. *et al.* O que pensam os alunos sobre o ensino de Ciências e Biologia – um diagnóstico do Campus Tijuca II. **Anais da V Jornada Pedagógica do Ensino de Ciências e Biologia do CPII**. Rio de Janeiro, 2018.
- 25 TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciências & Cognição**, v.12. 2007.
Disponível em: <http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/641>
Acesso em: 02/05/2022.
- IMAGENS DA CAPA E ABERTURA DOS CAPÍTULOS - Plataforma Bing



APÊNDICES

APÊNDICE ATIVIDADE 1

PRESENTE E PASSADO

O aquecimento global e as mudanças climáticas, consequência dele, são assuntos recorrentes atualmente. As atividades humanas como a industrialização, agropecuária e o uso de energias de fontes não renováveis, como o petróleo, entre outras, potencializaram e continuam impulsionando o aquecimento atmosférico através do efeito estufa. Esses processos liberam os gases, que constituem a principal fonte de absorção de calor na atmosfera, de forma desequilibrada e, assim, tornam um fenômeno natural de regulação térmica em um processo alarmante para a população mundial.



O químico inglês Joseph Priestley, em 1772, já se interessava e realizava estudos sobre os gases, a atmosfera e os processos de restauração do ar. Segundo ele: *"A quantidade de ar que mesmo uma pequena chama requer se manter acesa é prodigiosa. Costuma-se dizer que uma vela comum consome (...) cerca de um galão de ar por minuto. Considerando esse espantoso consumo de ar, por incêndios de todos os tipos, vulcões etc., torna-se um grande objeto de investigação filosófica verificar que mudança é feita na constituição do ar pela chama e descobrir que provisão existe na natureza para remediar o dano que a atmosfera recebe por este meio.* Ao longo de sua carreira Priestley descreveu um método para a restauração do "ar viciado". Em suas palavras se dizia *"lisonjeado por ter encontrado acidentalmente um método de restaurar o ar que foi danificado pela queima de velas e por ter descoberto pelo menos um dos restauradores que a natureza emprega para esse fim"*.

Fonte: Texto extraído e adaptado de

ROUBUSTE, Roberta Rodrigues et al. Mudanças climáticas e o mercado de carbono. **Iheringia, Série Botânica.**, v. 77, 2022.

CONANT, James Bryant. The overthrow of the phlogiston theory: the chemical revolution of 1775-1789. In: **Harvard case histories in experimental science, Vol. I.** Cambridge: Harvard University Press, 1957.

PERGUNTAS PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Qual restaurador natural você acredita que Priestley estava se referindo?

Qual processo e quais elementos estariam envolvidos para que a restauração do ar ocorresse?

PERGUNTA DE INVESTIGAÇÃO: Como o ar é restaurado na natureza?

FOTOSÍNTESE EM AÇÃO

77

Vários cientistas ao longo da história realizaram estudos que contribuíram com as peças de um complexo quebra cabeça. Algumas dessas pesquisas não estavam relacionadas diretamente com o estudo dos gases, pois há tempos atrás os cientistas desenvolviam investigações interdisciplinares, ou seja, que envolviam diversas áreas de conhecimento. Muitos registros de experimentos sobre a restauração do ar datam do século XVII, mas essa questão só foi completamente compreendida mais de dois séculos depois. Agora é a sua vez de "refazer" o caminho percorrido por eles!

PERGUNTAS DE CONCLUSÃO

1. Pensando novamente na sua resposta à questão de investigação, sua explicação continua a mesma? O que você modificaria com os conhecimentos adquiridos ao longo da rotação por estações e das apresentações dos grupos?
2. Agora elabore um mapa conceitual mostrando como as plantas/fotossíntese estão relacionadas com a restauração do ar e as relações no equilíbrio e manutenção do clima do planeta.

JAN BAPTISTA VAN HELMONT (1577-1644)

Sou médico, nascido na Bélgica. Fui um dos últimos e maiores alquimistas, mas também um dos primeiros praticantes da química que conhecemos hoje. Iniciei um extenso estudo sobre os elementos da atmosfera e cunhei a palavra "gás".

Muitos de meus estudos eram sobre a natureza dos elementos químicos, mas realizei uma experiência importante com a planta salgueiro. Nesse experimento pretendia descobrir a fonte dos nutrientes vegetais.

Tomei um vaso de barro, no qual coloquei 100 quilogramas de terra que havia secado em um forno e que umedeci com água da chuva, e ali plantei o caule de um salgueiro que pesava dois quilogramas e meio. E eis que, passados cinco anos, a árvore que ali se originou pesava cerca de 80 quilogramas. Quando era necessário, sempre umedecia o vaso de barro com água da chuva ou água destilada, e o vaso era grande e estava implantado na terra. Para que a poeira levada pelo vento não se misturasse à terra do vaso, cobri-lhe a abertura com uma placa de ferro revestida de estanho e com múltiplas perfurações. Não computei o peso das folhas que caíram em quatro outonos. Por fim, tomei a secar a terra do vaso e ali encontrei os mesmos 100 quilogramas, com algumas gramas a menos.

Acreditava que a matéria vegetal responsável pela diferença de peso era proveniente unicamente da água, visto que, a terra não havia sofrido perda de peso significativa. "Portanto, 80 quilogramas de madeira, cortiça e raízes, surgiram unicamente a partir da água", supôs assim que a água se havia transmutado em madeira.

FONTE: Texto retirado de Baker e Allen (1975), p.179.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. Qual hipótese estava sendo investigada sobre a nutrição das plantas?
2. Quais pontos da descrição mostram um cuidado experimental?
3. A partir dos resultados obtidos por van Helmont qual conclusão é possível?



STEPHEN HALES (1677-1761)

Sou inglês e estudei o papel do ar e da água na manutenção da vida animal e vegetal. Também me interessei pelo problema do fluxo de substâncias pelas plantas. Talvez tenha sido um dos primeiros a notar que a água não fosse a única substância envolvida na nutrição dos vegetais e que a atmosfera desempenha um papel importante no metabolismo deles.

"Há alguma razão para se suspeitar que as folhas e caules dos vegetais absorvem ar com base no seguinte experimento: coloquei uma planta de hortelã bem enraizada em um recipiente de vidro cheio de terra e depois o enchi de água até à borda. Sobre esse recipiente coloquei uma campânula de vidro invertida zz, sendo a água aspirada para cima através de um sifão para aa. Ao mesmo tempo, coloquei também outra campânula de vidro de tamanho igual ao da anterior, mas sem a planta. No decorrer de um mês, a planta havia produzido vários brotos delgados, fracos e muitas raízes pilosas pequenas... A água nos dois frascos invertidos elevava-se e abaixava-se segundo diferenças na atmosfera acima de aa (Figura 1).

Mas a água no vaso em que se achava a planta de hortelã finalmente elevou-se tanto acima de aa e acima da superfície da água do outro vaso, que uma parte daquele ar deve ter sido reduzida ao estado fixo, seja por absorção à substância da planta, ou seja, pelos vapores que se emanavam da planta."

"No início de abril, na primavera seguinte, retirei a planta antiga e a substituí por uma nova (em B) para ver se esta absorveria mais ar, mas ela feneceu em quatro ou cinco dias. No entanto, uma nova planta colocada no outro recipiente (A), cujo ar também havia sido mantido confinado durante nove meses, viveu durante quase um mês, quase tanto quanto outra planta colocada em ar fresco recém-confinado".

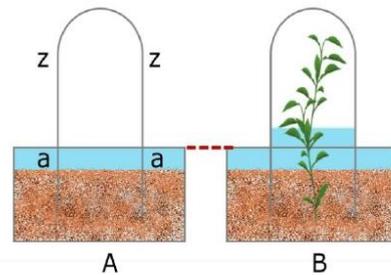
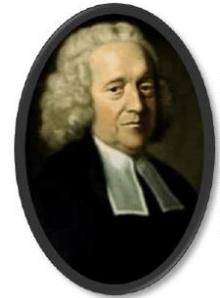


Figura 1: Ilustração do experimento de Hales, é possível perceber que o volume da água, marcado pela linha pontilhada, é diferente em A e B. Fonte: adaptado pela autora de Baker e Allen (1975), p.181.

FONTE: Texto retirado de Baker e Allen (1975), p. 180-182.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. A partir do texto e da observação das imagens qual possível hipótese estava sendo investigada por Hales?
2. Quais pontos da descrição mostram um cuidado experimental?
3. Com os últimos resultados de Hales quais conclusões são possíveis?

JOSEPH PRIESTLEY (1733-1804)

Sou um químico inglês e me interesso pelos processos de restauração do ar. Meu trabalho lançou luz sobre a relação das plantas com a atmosfera.

"O ar comum é necessário para a vida vegetal, assim como para a vida animal, e tanto as plantas quanto os animais o afetam da mesma maneira".

"No dia 7 de agosto de 1771, coloquei um ramo de hortelã em certa quantidade de ar onde uma vela ardera até apagar-se, e verifiquei que no dia 27 do mesmo mês, outra vela ardia perfeitamente no seu interior. Repeti essa experiência, sem a menor variação no fenômeno, não menos de oito a dez vezes no resto do verão. Várias vezes dividi a quantidade do ar em que a vela ardera até a extinção, em duas partes, e colocando a planta em uma delas, deixava a outra, o controle, na mesma exposição, contida também em frasco de vidro imerso em água, mas sem a planta. Nunca deixei de verificar que uma vela se acendia no primeiro, mas não no segundo. Geralmente, observei que cinco ou seis dias bastavam para restaurar esse ar, quando a planta estava em pleno vigor; de outro lado, conservei esse tipo de ar em recipientes de vidro durante meses, sem conseguir observar que se verificasse nele a menor alteração".



Após a análise dos experimentos anteriores abandonei minha primeira hipótese de trabalho e adotei uma nova hipótese e montei os experimentos resumidos na Tabela 1 e Figura 2:

FONTE: Texto adaptado de Baker e Allen (1975), p. 183.

	Tipo de ar inicial	De oito a dez dias do ar em contato com:	Teste com rato
J	Ar viciado pela respiração de ratos	Sem planta	Morre
L		Ramos de hortelã	Vive
M	Viciado pela putrefação de restos animais ou vegetais	Sem planta	Morre
N		Ramos de hortelã	Vive

Tabela 1: Alguns dos experimentos de Priestley. Fonte: tabela elaborada pela autora a partir de Nash (1957).

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. Qual era a hipótese de Priestley antes da experiência? Priestley pode confirmar sua hipótese? Justifique sua resposta.
2. Como você explicaria o resultado desta experiência? Assim como Priestley faça uma relação entre o ar e as plantas.
3. Qual nova hipótese Priestley poderia testar com esses outros experimentos?
4. Quais conclusões podemos chegar através do trabalho de Priestley?

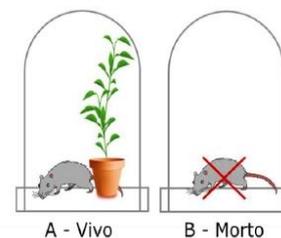


Figura 2: Nesse experimento peguei uma quantidade de ar, tornado completamente nocivo, por ratos respirando nele até sufocarem, e o dividi em duas partes. Numa coloquei um ramo de hortelã, depois de oito ou nove dias, coloquei um camundongo e descobri que ele vivia perfeitamente bem naquela parte do ar em que o ramo de hortelã havia crescido (A), mas morria quando colocado na outra que continha o ar original (B). FONTE: Adaptado de Baker e Allen (1975), p. 183.

JAN INGEN-HOUSZ (1730-1799)

Sou um médico holandês e me baseei nos trabalhos de Priestley para testar a hipótese da purificação da atmosfera pelos vegetais.

Os métodos experimentais que utilizei foram desenvolvidos por outros cientistas, mas fiz uma série de pequenas modificações muito significativas no projeto experimental e com isso consegui realizar várias descobertas importantes. Cortei partes do vegetal e testei separadamente ao invés de usar a planta inteira como Priestley havia feito.

Utilizei um sistema para isolamento do material vegetal, semelhante ao que Hales e Priestley usavam. O material que estudei ficava imerso em água coberto por uma campânula de vidro deixada invertida sobre um prato com água (Figura 3).

A tabela 2 mostra um resumo de experimentos baseados em alguns dos 500 experimentos realizados por mim ao longo de três meses de verão em 1779.



Figura 3: Ilustração da campânula de vidro invertida com água e material vegetal. Fonte: adaptado de Baker e Allen (1975), p. 185.

Material	Teste do gás liberado com vela		
	Dia		Noite
	Luz	Sombra	
Folhas	Acende	Não acende	Não acende
Flores	Não acende	Não acende	Não acende
Frutos	Não acende	Não acende	Não acende
Talos verdes	Acende	Não acende	Não acende
Raízes	Não acende	Não acende	Não acende
Flores	Não acende	Não acende	Não acende

Tabela 2: Experimento de Ingen-Housz. Fonte: Elaborado pela autora adaptado de Ingen-Housz (1779), p. 149-288.

FORTE: Texto adaptado de Baker e Allen (1975), p. 185.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. O que os resultados dos experimentos da Tabela 2 sugerem?
2. O que é possível deduzir quando comparamos os resultados das diferentes condições de iluminação nos diversos tipos de materiais vegetais?
3. Os resultados seriam os mesmos se Ingen-Housz usasse a planta inteira, ao invés de isolar as partes dos vegetais?

JEAN SENEBIER (1742 - 1809)

Sou um padre católico suíço, pesquisei e fiz experimentos sobre a interação das plantas com a atmosfera de 1782 à 1788. Repeti praticamente todos os experimentos de Ingen-Housz e também me interessei pelos trabalhos de Priestley. Ele sugeriu a ideia de que as folhas depuravam o "ar" da água com a qual estavam em contato, então me perguntei se esse "ar fixo" não seria o precursor imediato do "ar deflogisticado". Assim, elaborei testes para essa hipótese (Tabela 3). A metodologia empregada nesses experimentos está descrita na Figura 4.



Tipo de água na qual folhas foram imersas	Teste do gás liberado com chama de vela	
	Folha iluminada	Folha não iluminada
Fervida	Não acende	Não acende
Destilada	Não acende	Não acende
Poço	Acende	Não acende
Água gaseificada artificialmente	Acende com brilho intenso	Não acende

Tabela 3. Esquemas experimentais inspirados nos trabalhos de Senebier. Fonte: elaborada pela autora adaptado de Nash (1957).

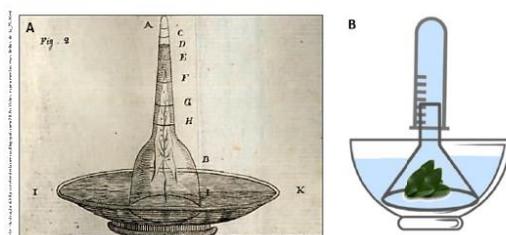


Figura 4: A. Equipamentos utilizados por Senebier em seus experimentos, composto de uma vidraria com formato de funil com fundo vedado, onde colocava os materiais testados em seu interior, preenchido com água. Depois, invertia esse funil sobre um prato, assim os gases produzidos pelo material ficavam presos. B. Equivalente dos materiais modernos que podem ser utilizados para reproduzir esses experimentos, como funil e tubo de ensaio. Fonte: Ilustração B elaborada pela autora baseado em Baker e Allen (1975), p. 187-188.

Constatei pelos resultados anteriores (tabela 3) que, após um tempo prolongado de exposição à luz, folhas deixaram de produzir "ar deflogisticado" em amostras de água de poço ou água gaseificada. Para estudar essa questão, elaborei um segundo experimento (Figura 5)

Sabia pelos estudos químicos do investigador escocês Joseph Black (1728-1799), que na presença de "ar fixo" um precipitado branco insolúvel se formava em água de cal, assim, realizei outros testes (Figura 6).

Ainda aprofundei minhas pesquisas comparando a produção de gás deflogisticado em folhas verdes e folhas esbranquiçadas do mesmo tipo de planta criadas no escuro (estioladas). Depois submeti as plantas estioladas à luz solar por alguns dias até as folhas assumirem sua pigmentação normal, obtendo os mesmos resultados que folhas originalmente verdes (Figura 7).

Fonte Texto adaptado de Nash, 1957.



Figura 5: Para investigar a razão pela qual folhas deixavam de produzir ar deflogisticado após iluminação prolongada (A), Senebier idealizou dois modelos experimentais: B - trocando a água e mantendo as folhas; C - mantendo a água e trocando as folhas. Fonte: Elaborado pela autora baseado em Baker e Allen (1975), p. 187-188.

TESTE COM ÁGUA DE CAL



Figura 6: Resultados do teste com água de cal usando amostras antes da etapa A da figura 5 e utilizando a mesma água ao final do experimento. Fonte: Elaborado pela autora baseado em Nash, 1957.

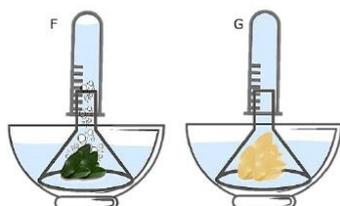


Figura 7: Esquema experimental inspirado no trabalho de Senebier onde ele comparou folhas verdes (F) e folhas esbranquiçadas (G) do mesmo tipo de planta imersas em água de poço e iluminadas. Fonte: Elaborado pela autora baseado em Nash, 1957.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. Pensando na hipótese que estava sendo testada, o que os dados de Senebier (Tabela 3) sugerem sobre a transmutação da água em ar deflogisticado?
2. O que os resultados dos experimentos de A a E podem sugerir?
3. Em relação à importância da cor verde, o que os dados de F e G sugerem?

NICOLAS THÉODORE DE SAUSSURE (1767-1845)

Sou um investigador suíço. Estudei a função da água e dos gases na nutrição das plantas, além das mudanças que elas produzem na atmosfera. Fiz experimentos bem planejados de caráter quantitativo. Conhecia as observações de Priestley, Senebier e Ingen-Housz. Também estava familiarizado com a nova teoria do oxigênio de Lavoisier, ao contrário Senebier e seus predecessores, que trabalharam sobre a ótica da Teoria Flogística.



Montei um experimento em que colocava vários reagentes químicos que podiam absorver o oxigênio, o gás carbônico, ou ambos, assim que eles fossem emitidos pelas plantas. Também preparei sistemas idênticos, exceto pela ausência dos agentes absorptivos. As plantas sem os agentes químicos cresciam e prosperavam. Nos sistemas que continham esses agentes, o vigor das plantas foi logo prejudicado e, particularmente na ausência de gás carbônico, sua vida era rapidamente extinta, mas elas também necessitavam de oxigênio para sobreviver. Assim, aprofundi meus estudos sobre influência da concentração de gás carbônico nas plantas (Tabela 4) e sabia que o peso seco da planta era em sua maioria formado por moléculas que continham carbono em sua composição.

Ainda trouxe contribuições sobre papel nutritivo do solo no crescimento das plantas. Fiz uma análise cuidadosa da composição dos vegetais para determinar quais materiais foram extraídos da terra. No entanto essa ideia de que a terra fornece materiais minerais para as plantas contrasta com o resultado do experimento de van Helmont (figura 8).

FONTE: Textos retirados e adaptados de Nash, 1957.

PERGUNTAS DE EXPLORAÇÃO DO TEXTO:

1. O que o texto e os dados da Tabela 4 sugerem em relação ao metabolismo das plantas?
2. Analise o texto e a Figura 8 e diga em que o pensamento dos dois cientistas contrastavam.

Composição dos gases na atmosfera	Ganho em peso	Observações
Ar puro (0,03% CO ₂)	425 mg	-
100%	0	Morreu quase imediatamente
75,0%	0	Morreu quase imediatamente
66,0%	0	Morreu quase imediatamente
50,0%	0	Cresceu durante 7 dias, depois cessou
25,0%	205 mg	Cresceu durante 10 dias, ligeiramente apenas
12,5%	371 mg	Sem observações
8,5%	583 mg	Desenvolveu-se melhor do que na atmosfera normal

Tabela 4: Resultados da influência da concentração de CO₂ no crescimento das plantas. Fonte: Baker e Allen (1975), p.189.

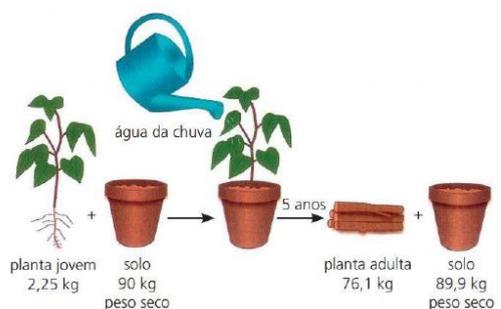


Figura 8: Nesse experimento de van Helmont, que durou 5 anos, ele concluiu que o crescimento da planta era exclusivamente proveniente da água e que o solo não trazia contribuição na nutrição delas.

FICHA COMPLEMENTAR: A TEORIA FLOGÍSTICA

"Flogisto" vem do grego e significa "passado pela chama" ou "queimado". A teoria do flogisto (ou do flogístico) foi desenvolvida pelo químico e médico alemão Georg Ernst Stahl (1659-1734).

De acordo com Stahl os corpos combustíveis possuíam uma matéria chamada flogisto, liberada ao ar durante os processos de combustão de material orgânico ou da calcinação de metais. Por exemplo: ao queimar o carvão o flogisto escaparia e se combinaria com o ar tornando-o flogisticado.

Para Stahl as substâncias que queimavam no ar eram ricas em flogisto e o ar poderia se tornar completamente flogisticado pela combustão num espaço confinado, e não serviria mais para sustentar a queima de qualquer material. O ar flogisticado também não poderia sustentar a vida, pois naquela época o papel do ar para respiração era remover o flogisto do corpo.

Assim, nas fichas o dióxido de carbono (CO_2) também é referido como "ar fixo" ou ar "flogisticado". Muitos cientistas ao fazerem estudos sobre a relação das plantas com a atmosfera perceberam que elas absorviam o flogisto do ar, tornando-o "deflogisticado", que hoje sabemos que estava rico em gás oxigênio.

Fonte: Texto adaptado de CONANT, James Bryant (Ed.). Harvard case histories in experimental science. Harvard University Press, 1957. p.65-73



FICHA COMPLEMENTAR: A TEORIA DO OXIGÊNIO DE LAVOISIER

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) foi um químico francês considerado o "pai da química moderna"

As ideias de Lavoisier foram cruciais para a revolução química no século XVIII a partir da descoberta do gás oxigênio, levando a derrubada da teoria do flogisto.

Lavoisier acreditava que a combustão e a calcinação retiravam algo do ar, mas isso era o oposto, da doutrina do flogisto. Ele construiu um novo esquema conceitual capaz de explicar o que ocorria na combustão da forma como acreditamos ainda hoje.

Em maio de 1777, Lavoisier comunicou à Academia Francesa suas memórias sobre a respiração dos animais, com suas ideias sobre o papel do oxigênio.

A Priestley também deu enormes contribuições sobre esse tema, ele que efetivamente descobriu o gás oxigênio, mas até o fim de sua vida chamava sua descoberta de "ar deflogisticado".

Fonte: Texto adaptado de CONANT, James Bryant (Ed.). Harvard case histories in experimental science. Harvard University Press, 1957. p.65-73



APÊNDICE ATIVIDADE 2

PERGUNTAS DE ORIENTAÇÃO:

1. Em que o aumento da gasolina influencia no seu dia a dia?
2. Por que esse combustível aumenta?
3. Do que a gasolina é feita?

Existem alternativas ao uso da gasolina?

TRANSFORMANDO LUZ E GÁS CARBÔNICO EM COMBUSTÍVEL

Os cientistas há muito tempo sonham em imitar a fotossíntese, usando a energia da luz solar para unir hidrocarbonetos (moléculas ricas em carbono e hidrogênio), usando dióxido de carbono (CO_2) e água para formar combustíveis.

Isso agora é possível utilizando a energia captada por um pequeno painel solar para dividir o CO_2 em monóxido de carbono (CO), que é rico em energia. O CO_2 é decomposto em oxigênio e CO que, por sua vez, pode ser combinado com hidrogênio para fazer uma variedade de combustíveis. Por exemplo, a adição de quatro átomos de hidrogênio ao CO cria o metanol, um tipo de álcool que pode servir como combustível líquido para abastecer carros. Esse novo método de produção renovável de combustível ainda não é eficiente o suficiente para competir com combustíveis fósseis, como a gasolina. Mas, um dia, essa tecnologia pode levar à produção de quantidades essencialmente ilimitadas de combustíveis líquidos a partir da luz solar, água e CO_2 , um dos principais fatores relacionados ao aquecimento global.

Texto adaptado de: Science - Cheap catalysts turn sunlight and carbon dioxide into fuel (<https://www.science.org/content/article/cheap-catalysts-turn-sunlight-and-carbon-dioxide-fuel>). Acesso em: 20/03/2022.

PERGUNTAS PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS:

- Quais seres vivos realizam a fotossíntese?
- O que é preciso para que a fotossíntese aconteça?
- O que é produzido nesse processo?
- Qual a diferença da fotossíntese artificial para a natural?

PERGUNTA DE CONCLUSÃO:

Pensando novamente na sua resposta à pergunta de investigação, sobre a conversão de luz, água e gás carbônico em alimento, continua a mesma? O que você modificaria ou acrescentaria, por quê?

FICHA DE ELABORAÇÃO DE ROTEIRO

O grupo deve criar um roteiro, ou seja, uma espécie de texto que conta uma história, que vocês usarão para criar um *storyboard* ou pequeno filme de animação.

O roteiro será composto por três elementos básicos: personagens, cenário e ação. Também é possível acrescentar a descrição de imagens e sons, além de fornecer todos os dados necessários para que os membros do grupo possam desenvolver seus respectivos trabalhos.

Use as perguntas abaixo para estruturar o seu roteiro:

Vocabulário: *storyboard* é um tipo de história em quadrinhos visualização das cenas de filmes.

PERSONAGENS:

Quais são os personagens (elementos/moléculas e formas de energia) envolvidos?

AÇÃO/CRIAÇÃO DAS CENAS:

Qual o papel de cada personagem?

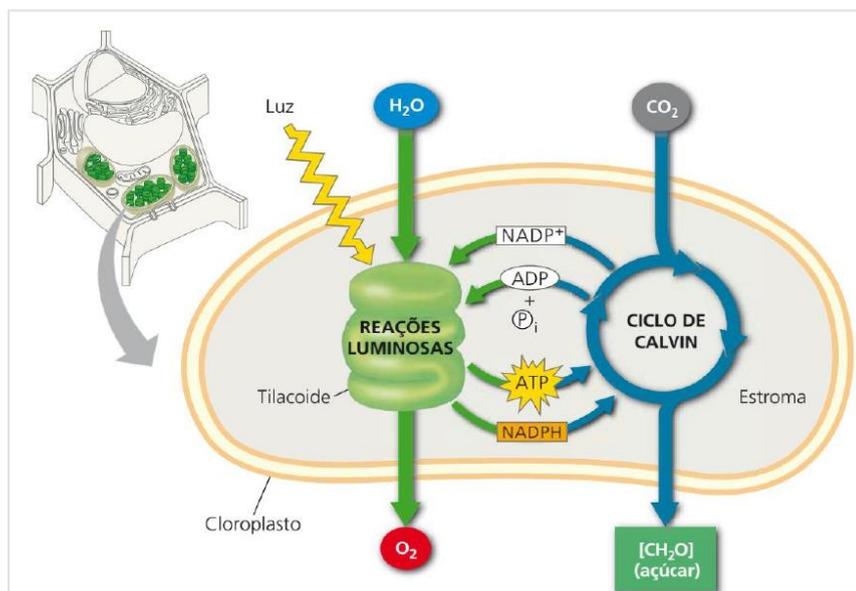
Como eles interagem?

O que cada um faz?

CENÁRIO:

Onde as cenas irão ocorrer?

Quando ocorrem?



FICHA DE PRÉ-PRODUÇÃO

- A pré-produção envolve toda a preparação para execução do roteiro durante a gravação da animação, assim um passo importante será a definição das funções de cada membro da equipe.

Exemplos de atividades:

- Separação do material necessário para a animação.
- Elaboração e montagem do cenário.
- Animador (responsável por movimentar os elementos que serão animados).
- Câmera e luz (responsável por tirar as fotos e controlar a luz durante o processo de animação).
- Edição do vídeo (responsável pela edição final, adição de sons, falas, legendas, créditos finais e etc).

Nome dos componentes do grupo Funções

Também é importante que o grupo faça uma lista de materiais que irão utilizar, bem como quem será o responsável por trazer o item no dia e local da gravação.

Lista de materiais:

APÊNDICE ATIVIDADE 3

POLUIÇÃO PLÁSTICA EM NÚMEROS E IMAGENS

Assista ao vídeo disponível em: <https://youtu.be/AVkd26YzP54> (Fonte: adaptado pela autora de Pesquisa FAPESP).



PERGUNTAS PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS:

1. O que você acredita que acontece com todo esse material plástico?
2. Qual o problema envolvido nessa situação?
3. O que você entende com a palavra biodegradável? O plástico pode ser considerado um material biodegradável?
4. Você concorda com o termo "planeta plástico" usado no vídeo? Por quê?
5. Como seria possível resolver o problema do plástico?



A FANTÁSTICA FÁBRICA MICROBIOLÓGICA DE PLÁSTICO

Atualmente, são produzidas cerca de 370 milhões de toneladas de plásticos por ano. De acordo com previsões, a produção global de plástico deve aumentar em mais de 40% na próxima década, sendo a causa de crescentes problemas ambientais.

Cada vez mais resíduos plásticos vão para o ambiente, poluindo os oceanos e invadindo a cadeia alimentar na forma de microplásticos. Além disso, o plástico é feito principalmente de derivados de petróleo, que, durante a queima, libera CO₂ adicional na atmosfera, contribuindo para o agravamento das mudanças climáticas e do aquecimento global.

Uma solução para esses problemas pode estar nas cianobactérias. Elas também são conhecidas como microalgas ou algas azuis, apesar de serem organismos procariontes. Atribui-se à elas a liberação de O₂ na atmosfera por meio da fotossíntese há cerca de 2,3 bilhões de anos, que culminou na criação da camada de ozônio, protegendo a vida na Terra da radiação ultravioleta.

As cianobactérias do gênero *Synechocystis* produzem polihidroxibutirato (PHB), uma forma natural de plástico, como um subproduto da fotossíntese, utilizando apenas água, CO₂ e luz solar em sua síntese.

O PHB pode ser usado de modo semelhante ao polipropileno proveniente do petróleo, mas é rapidamente degradado no meio ambiente.

Pesquisadores da Universidade de Tubinga, na Alemanha, estudaram como fatores ambientais influenciam a produção de bioplástico e modificaram geneticamente o metabolismo de cianobactérias para produzir o PHB em quantidades que permitam seu uso industrial. O novo plástico poderá, no futuro, competir com os plásticos à base de petróleo, que são extremamente prejudiciais ao meio ambiente.

Outro projeto, realizado no Instituto de Química (IQ-USP) em São Paulo, tem os mesmos objetivos que a equipe alemã. A produção de PHB brasileira ainda está no início e hoje acontece apenas em uma fábrica no interior de São Paulo, onde é feito com substrato da cana-de-açúcar, competindo pelas matérias-primas para consumo humano e produção de etanol.

Um dos desafios para a expansão do uso do PHB é o seu custo elevado. Hoje ele é considerado um plástico nobre, que vale cinco vezes mais do que plásticos derivados de petróleo, como o das garrafas PET.

Fonte: Texto adaptado de:
<https://agencia.fapesp.br/projeto-investiga-como-transformar-co2-de-algas-e-cianobacterias-em-bioetanol-e-plastico-verde/37957/>
<https://www.ecycle.com.br/cianobacterias-sao-a-nova-aposta-da-ciencia-para-revolucionar-a-industria-do-plastico/>
<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/metodo-bioplastico-gas-carbonico/>

Uma das principais etapas do estudo da equipe alemã e brasileira, além de trabalhar com o melhoramento genético das cianobactérias, é estabelecer quais as condições ambientais intensificam a produção do bioplástico.

PERGUNTA DE INVESTIGAÇÃO

Quais condições de luminosidade (intensidade e cor), concentração de CO₂ e temperatura favorecem o aumento da fotossíntese?

PERGUNTAS AUXILIARES

1. Proponha uma hipótese, a partir dos seus conhecimentos, para responder à questão de pesquisa.
2. Forneça uma justificativa para sua hipótese, ou seja, por que você acha isso?

ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO - PHOTOLAB

Utilizaremos um simulador virtual que reproduz um laboratório, onde iremos trabalhar com uma planta aquática *Elodea sp.* (Michx). Nessa atividade a fotossíntese será medida em função do número de bolhas de oxigênio liberadas por intervalo de tempo. Assim, quanto maior o número de bolhas liberadas, maior a taxa fotossintética da planta.

Vocês irão avaliar quais condições/fatores abióticos irão favorecer a taxa fotossintética. No simulador é possível controlar a temperatura, quantidade de CO₂ dissolvido na água, a intensidade luminosa e a cor da luz (branca, verde, azul e laranja). Os comandos e o modo de utilização do simulador são mostrados na Figura 1.

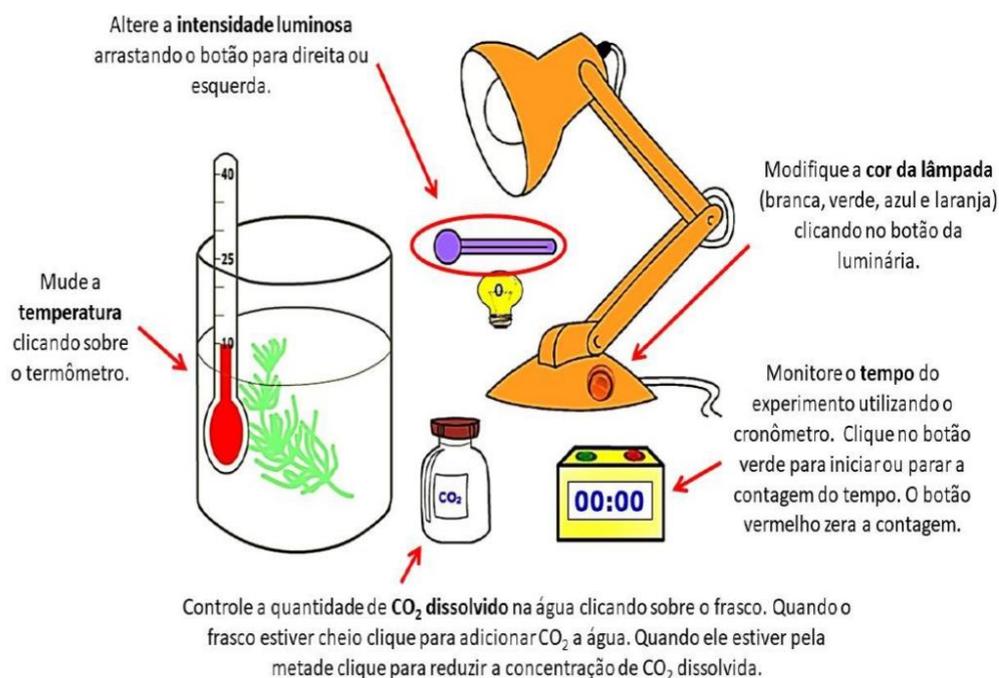


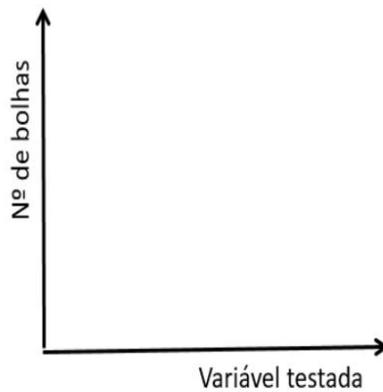
Figura 1: Localizando e compreendendo os comandos no simulador Photolab. Fonte: imagem extraída de Photolab e legendas criadas pela autora.

DICAS:

- É possível trabalhar com um tempo de 30 segundos em cada experimento.
- Planeje previamente as simulações que serão realizadas, pense em qual parâmetro irá variar e quais serão mantidos constantes.
- Registre as condições experimentais testadas e anote os resultados, como mostrado na sugestão a seguir:

	Variável alterada	Variáveis Constante	Nº de bolhas	Interpretação do resultado
Condição 1				
Condição 2				
Condição 3				
Condição 4				

- Crie tabelas ou gráficos que mostrem os resultados. Vocês podem se inspirar no exemplo abaixo:



PERGUNTAS DE CONCLUSÃO:

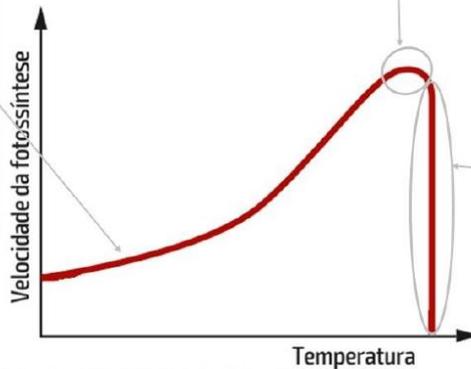
3. Após obter os resultados dos experimentos compare-os com as suas hipóteses iniciais. O que você imaginava que aconteceria antes de realizar investigação pode ser confirmado pelos testes no simulador? O que você modificaria? Justifique sua resposta baseado nos dados coletados durante a simulação.
4. O simulador foi capaz de ajudar a responder todas as questões levantadas por você? Ou há aspectos que esta atividade não esclareceu, que necessitariam de estudos futuros?

Agora que já compreendemos como alguns fatores podem influenciar a fotossíntese, maximizando a produtividade dos seres fotossintetizantes, voltaremos à discussão a inicial sobre o plástico. Vocês acreditam que a produção em larga escala de bioplástico resolve o problema estudo?

TEMPERATURA COMO FATOR LIMITANTE

1. O aumento da temperatura faz aumentar a velocidade da fotossíntese. Lembre que em baixas temperaturas as moléculas se movem pouco, o que dificulta o encontro da enzima com o seu substrato!

2. A velocidade aumenta a taxa de fotossíntese até o ponto onde atinge a velocidade máxima (ponto ótimo).



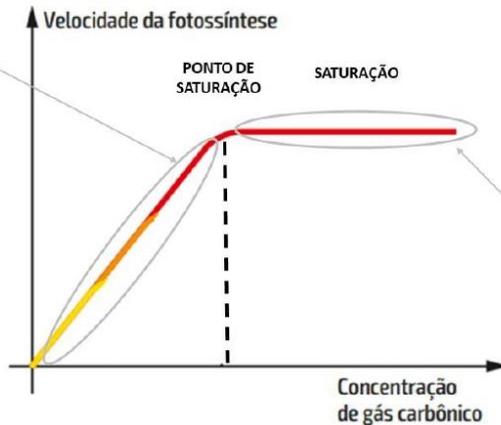
3. A partir desse ponto as enzimas começam a desnaturar, devido a enorme agitação interna, que leva ao rompimento das ligações que mantém a forma da enzima. Com isso, a velocidade da reação cai.

Fonte: Adaptado pela autora de LINHARES; GEWANDSZNAJDER; PACCA, 2016, p.113.

GÁS CARBÔNICO COMO FATOR LIMITANTE

1. O aumento da concentração de CO₂ faz aumentar a velocidade da fotossíntese.

2. A velocidade aumenta até um ponto onde a velocidade se torna constante (ponto de saturação).

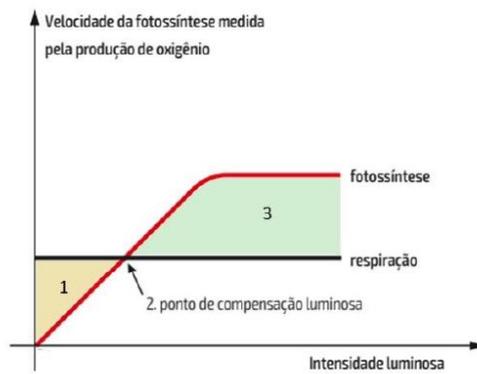


3. A partir desse ponto as enzimas do ciclo das pentoses estão todas "ocupadas" (saturadas).

Fonte: Adaptado pela autora de LINHARES; GEWANDSZNAJDER; PACCA, 2016, p.113.

LUZ COMO FATOR LIMITANTE - INTENSIDADE

1. Quando está no escuro a planta não faz fotossíntese, mas está respirando; ela consome oxigênio em vez de produzi-lo.



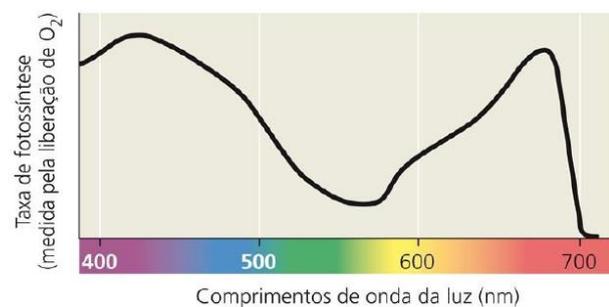
2. Indica determinada intensidade de luz na qual a quantidade de oxigênio consumida é igual à produzida. Isso significa que a fotossíntese atingiu velocidade igual à da respiração.

3. Quando a intensidade de luz é superior à do ponto de compensação, há saldo de oxigênio, que é liberado pela planta.

Fonte: Adaptado pela autora de LINHARES; GEWANDSZNAJDER; PACCA, 2016, p. 113.

LUZ COMO FATOR LIMITANTE - COR

O gráfico apresenta a taxa de fotossíntese *versus* absorção de diferentes cores (comprimentos de onda) pelos pigmentos que captam a luz durante a fotossíntese.



Fonte: Adaptado pela autora de REECE, 2015, p. 192.

ANEXO A - APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA

<p>UFRJ - HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO / HUCFF- UFRJ</p>	
---	---

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA PARA O ESTUDO DA FOTOSÍNTESE COM USO DE ESTRATÉGIAS DIVERSIFICADAS

Pesquisador: ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 47799221.7.0000.5257

Instituição Proponente: Universidade Federal Do Rio de Janeiro

Patrocinador Principal: Universidade Federal Do Rio de Janeiro

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.076.539

Apresentação do Projeto:

Protocolo 137-21. Respostas recebidas em 15/09/2021.

As informações colocadas nos campos denominados "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo intitulado

"PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO Avaliação da frequência e dos fatores de risco para neoplasia colorretal na acromegalia 1703545.pdf ", postado em 15/09/2021

Introdução:

A fotossíntese tem um papel central na vida de todos os seres vivos da Terra, pois ela é fonte direta ou indiretamente de alimentação da maior parte das formas de vida do nosso planeta (REECE et al., 2015). Assim, ela tem uma importância ecológica ímpar por se tratar do único processo biológico capaz de aproveitar a energia vinda do sol (TAIZ et al., 2017). É um tema bastante complexo, que envolve transformações de matéria e energia, sendo necessários conhecimentos de biologia, física e química para compreendê-la. Esse processo bioquímico também é essencial para o entendimento de muitos assuntos em biologia, por exemplo, compreender como o alimento é produzido pelos produtores nas cadeias alimentares, o papel da

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E	
Bairro: Cidade Universitária	CEP: 21.941-913
UF: RJ	Município: RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480	Fax: (21)3938-2481 E-mail: cep@hucff.ufrj.br

UFRJ - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
FRAGA FILHO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO / HUCFF-
UFRJ



Continuação do Parecer: 5.076.539

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	7_TCLE.docx	19/05/2021 19:39:57	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	5_Questionario_Formulario_Google.pdf	19/05/2021 19:34:27	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	5_Questionario.docx	19/05/2021 19:33:55	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	4_Curriculos_dos_pesquisadores_com_assinatura.pdf	19/05/2021 19:31:26	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	4_Curriculos_dos_pesquisadores_sem_assinatura.docx	19/05/2021 19:30:59	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	3_Termo_de_compromisso_sem_assinatura.docx	19/05/2021 19:30:03	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	3_Termo_de_compromisso_com_assinatura.pdf	19/05/2021 19:29:42	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Declaração de concordância	2_CartadeConcordanciadoDiretor_com_assinatura.pdf	19/05/2021 19:29:06	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	1_Carta_de_apresentacao_com_assinatura.pdf	19/05/2021 19:28:38	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	1_Carta_de_apresentacao_sem_assinatura.docx	19/05/2021 19:27:58	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito
Outros	Relacao_dos_documentos_enviados.docx	19/05/2021 19:26:16	ANA CAROLINA DA SILVA CUNHA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 03 de Novembro de 2021

Assinado por:
Carlos Alberto Guimarães
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 21.941-913
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 **Fax:** (21)3938-2481 **E-mail:** cep@hucff.ufrj.br

ANEXO B - DESPACHO - PRÓ-REITOR DO COLÉGIO PEDRO II SOBRE A SOLICITAÇÃO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO

12/05/2022 19:09

Yahoo Mail - RE: Solicitação de Ciência: Processo Eletrônico 23040.000586/2022-55

RE: Solicitação de Ciência: Processo Eletrônico 23040.000586/2022-55

De: SGP TIJUCA II (sgpt2@cp2.g12.br)

Para: anacscunha@yahoo.com.br

Data: terça-feira, 22 de março de 2022 10:58 GMT-3

Despacho:

À pesquisadora informo que em função da Portaria nº 94/2021, as pesquisas envolvendo alunos da Educação Básica estão temporariamente suspensas.

Despacho assinado eletronicamente por:

- Marcia Martins de Oliveira, PRO-REITOR - CD2 - PROPGPEC, PROPGPEC, em 10/02/2022 12:38:12.



FUNDADO EM 2 DE DEZEMBRO DE 1837

Atenciosamente,

SGP - CAMPUS TIJUCA II

Adriano C. de Souza & Kelly R. de A. Rocha

Rua São Francisco Xavier, 204/208

Telefone: (21) 3978-6905