

PRODUTO EDUCACIONAL



ENSINO INTERDISCIPLINAR DA FOTOSSÍNTESE: INTERFACES ENTRE A
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA E AS COMUNIDADES DE
INVESTIGAÇÃO

Galina Gulis

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho

Brasília, DF

Maior de 2022

Produto Educacional

Prezados(as) Colegas - Professores(as),

O produto educacional, apresentado aqui, foi desenvolvido no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade de Brasília (UnB), com o objetivo de fornecer as informações necessárias para a aplicação de uma sequência didática de ensino multidisciplinar de física no ensino médio. Para mais detalhes vocês podem consultar a dissertação correspondente a este produto educacional ou o artigo “Ensino Interdisciplinar da Fotossíntese: Interfaces Entre a Aprendizagem Significativa Crítica e as Comunidades de Investigação” (GULIS *et al*, 2021).

Introdução

Este produto educacional busca desenvolver conhecimentos e a aprendizagens mais amplos e profundos do processo de fotossíntese a partir de uma perspectiva interdisciplinar; para tanto, apresenta como interligados conceitos e os fenômenos que costumeiramente se mostram compartimentados nas áreas de física, química e biologia.

De fato, em uma abordagem interdisciplinar, vários conceitos importantes de diferentes disciplinas podem ser inter-relacionados com o objetivo de mobilizar um conhecimento mais aprofundado, multifacetado e articulado dos conceitos (MOZENA, OSTERMAN, 2014). Acrescenta-se, ainda, que a interdisciplinaridade “pressupõe uma convergência, uma complementaridade, o que significa, de um lado, a transferência de conceitos teóricos e de metodologias e, de outro, a combinação de áreas” (FIORIN, 2008, p. 38).

Por este motivo, o presente produto se desenvolve a partir de uma estratégia que busca:

1. identificar e localizar os conflitos entre os conceitos e a terminologia da física, da química e da biologia, envolvidos no estudo da fotossíntese;
2. desenvolver uma terminologia harmônica (o processo de fotossíntese);

3. produzir uma compreensão interdisciplinar do processo de fotossíntese – adaptado de Repko (2008, p. 247);
4. identificar a estrutura conceitual do processo de fotossíntese e organizar tais conceitos, partindo dos mais gerais até os mais específicos;
5. descobrir os subsunçores desse tópico de estudo;
6. diagnosticar a presença ou ausência dos subsunçores relevantes dos conceitos do processo de fotossíntese, pela construção dos mapas conceituais pelos(as) discentes;
7. construir os mapas conceituais do processo de fotossíntese e apresentar o conteúdo das aulas;
8. avaliar o conhecimento desenvolvido pelos estudantes a partir dos mapas conceituais.

Resta claro, pois, que este produto educacional adota, como elemento metodológico central, os mapas conceituais, com vistas à construção do conhecimento durante o processo de aprendizagem e para sua avaliação. A ideia do uso de mapas conceituais como ferramenta didática no processo de educação foi proposta por Joseph D. Novak (1996; 2010) e explorada por Marco Antônio Moreira, que explica sua profundidade ao buscar relacionar e hierarquizar conceitos, ao invés de apenas classificá-los (MOREIRA, 2005).

O referencial teórico deste produto educacional se constitui a partir de uma síntese dos conceitos principais de aprendizagem significativa, de Ausubel (1978, 2003), da aprendizagem significativa crítica, de Moreira (2017), da teoria de educação de Mathew Lipman (1995) e do sociointeracionismo de Vygotsky (1988), cada um deles articulado com a questão, central neste produto educacional, da interdisciplinaridade.

Este trabalho, partindo de um referencial de Teoria da Educação (SILVA FILHO *et al.*, 2021; SILVA FILHO *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021a; FERREIRA *et al.*, 2021b; FERREIRA *et al.*, 2022a; FERREIRA *et al.*, 2022b), busca fortalecer e aproximar o processo de ensino-aprendizagem da realidade da sala de aula, ao procurar caracterizar adequadamente o próprio conceito de aprendizagem significativa crítica.

A partir desse referencial teórico, foi elaborada uma metodologia de ensino que se concretizou na sequência didática (SD) e nas atividades de roteiros que serão apresentados na

sequência. A referida SD foi aplicada na forma do ensino remoto, mas sua transposição para qualquer tipo de ensino pode ser feita sem grandes adaptações.

A estrutura deste produto educacional consiste desta primeira parte introdutória, que apresenta brevemente a fundamentação teórica e os critérios para a construção da metodologia e a SD, que revela as instruções e condições detalhadas para sua aplicação, assim como suas atividades de roteiros. Além dessas partes, o presente produto possui as referências, a lista curta dos artigos e livros usados (cf. lista completa na dissertação) e apêndices A e B com o conteúdo completo dos roteiros do 2º e 3º anos, incluindo figuras, esquemas de mapas conceituais e questionários. Finalmente, a última parte do trabalho é o apêndice C, que mostra, a título de exemplo, o mapa conceitual final preenchido pela professora.

Vale ressaltar, que esta obra é um trabalho independente da dissertação de mestrado da qual se originou, mas, para aqueles mais interessados em detalhes quanto aos referenciais teóricos e sua articulação metodológica, recomenda-se a leitura da dissertação.

Aproveitem a leitura, colegas!

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esta pesquisa desenvolveu a seguinte proposta de Sequência Didática (SD) para o ensino e a aprendizagem interdisciplinar de processo de fotossíntese no ensino médio. A SD foi construída e planejada para ter um total de três aulas consecutivas e ser aplicada a alunos dos segundo e terceiro anos do Ensino Médio.

De modo consistente com a adoção da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), de Ausubel, a primeira aula deve ser dedicada à detecção de subsunçores relativamente ao tema da fotossíntese ‘nas estruturas cognitivas dos estudantes’. Deve ser usada, também, para explicação do conceito e utilidade de mapa conceitual, de Novak, assim como de suas regras de construção e, de fato, para a construção de um primeiro mapa, chamado Mapa Conceitual Inicial (MCI) pelo aluno (exemplo conforme os apêndices A e B, esquema 1). Este ponto é relevante, já que se mostrará fundamental para o processo avaliativo posterior.

A segunda aula deve ter por objetivo amalgamar os conhecimentos das diferentes áreas simultaneamente, vinculando-os aos subsunçores detectados na primeira aula. Nesta aula, a professora indica a possibilidade de se aprender o processo de fotossíntese a partir de

sua compreensão nas escalas micro e macrosocial. A construção de um Mapa Conceitual Final (MCF) (exemplo conforme os apêndices A e B, esquema 2) também deve se iniciar nessa segunda aula: com os direcionamentos da professora, os estudantes devem ser solicitados a organizar e hierarquizar os conceitos, tendo por base as habilidades relacionadas ao pensamento de ordem superior, propostas por Lipman¹. Tais procedimentos foram desenvolvidos com o uso das Comunidades de Investigação, como em Silva Filho e Ferreira (2018) e Ferreira *et al.* (2021), que forneceram um ambiente cultural e social rico para a interação entre os estudantes e a professora na forma de discussões, diálogos e questionários mediados pela professora (questionário-guia, conforme com os apêndices A e B).

A terceira aula deve ter por objetivo a avaliação da aprendizagem e do ensino do processo de fotossíntese. Tal avaliação deve se basear na análise da evolução da construção do mapa conceitual inicial (MCI, desenvolvida pelos estudantes na primeira aula, conforme o apêndice A **Error! Reference source not found.**) e tendo por horizonte a relação com um mapa conceitual final (MCF, construído pelos estudantes com a mediação da professora na segunda aula). Também, a avaliação deve se incluir a análise de indicadores apresentados nos trabalhos de estudantes, tais como a evolução conceitual, a resolução de problema, a articulação entre conhecimentos, o desenvolvimento complexo de pensamento e a ampliação da crítica. Assim, a terceira aula tem por função corrigir eventuais inadequações conceituais que podem surgir durante o processo de aprendizagem, assim como para a análise de *feedback* (ou devolutivas) dos alunos acerca do método e a ferramenta de aprendizagem. Tem, portanto, o propósito de avaliar o processo de sistematização do conhecimento já desenvolvido.

A organização do plano de cada aula para sequência didática proposta foi adaptada da proposta de Silva Filho e Ferreira (2019). No quadro 1, apresenta-se o plano da SD.

Quadro 1 – Sequência didática proposta para ensino e aprendizagem de processo de fotossíntese no ensino médio.

Identificação da Sequência Didática
--

¹ Habilidade de raciocínio, de formação de conceitos, de investigação e de tradução, relacionadas aos pensamentos de ordem superior: pensamento crítico, criativo e cuidadoso.

Nível de ensino	Ensino Médio (2º ou 3º ano), de acordo com Currículo em Movimento da Educação Básica Ensino Médio ² .
Instituição	Escola privada ou pública, cursos integrados com ensino médio.
Natureza	Sequência didática (aulas 1, 2 e 3).
Modalidade	Presencial (preferencialmente) ou remota.
Área de conhecimento	Interdisciplinar: física, química e biologia.
Tema da aula	Ondas (2º ano) ou Eletromagnetismo (3º ano).
Tipo predominante	Teórico.
Duração prevista	50 minutos por aula.
AULA 1	
Título da aula 1	<i>O processo de fotossíntese é fonte de vida</i>
Objetivos Gerais	<p>a) Construção dos primeiros conceitos gerais do processo de fotossíntese: a importância da energia eletromagnética, solar, o processo de conversão de energia solar na energia química e biológica, resultados da fotossíntese e importância deles para os seres vivos;</p> <p>b) Explicação das etapas principais de construção de mapas conceituais;</p> <p>c) Identificação dos subsunçores possíveis para uso no futuro nas aulas seguintes, por meio do estudo do MCI, de diálogos com alunos e do questionário.</p>

² Disponível em: http://paulofreire.se.df.gov.br/ead/pluginfile.php/7088/mod_resource/content/0/5-Curriculo_em_Movimento_-_Ensino_Medio.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

Objetivos específicos	<p>I. Explicar as etapas principais de construção de mapas conceituais;</p> <p>II. Usar a ferramenta como um mapa conceitual no exemplo construído com professor(a);</p> <p>III. Identificar os subsunçores por meio da construção de mapas conceituais dos conhecimentos de física, química e biologia, realizados pelos alunos na primeira parte da aula;</p> <p>IV. Familiarizar os(as) alunos(as) com os conceitos principais do processo de fotossíntese:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● a energia solar como a fonte elementar de toda a energia química e biológica; ● as reações luminosas da fotossíntese geram moléculas ricas em energia que servem como combustível para outras reações às custas da energia solar e ● a importância deles para os seres vivos e para a atmosfera da Terra; <p>V. Discutir os conceitos gerais do processo de fotossíntese que foram aprendidos antes dessa aula e os estudados durante a primeira aula.</p>
Conhecimentos	<p>Os conceitos gerais do processo de fotossíntese:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● a importância da energia eletromagnética, solar, ● o processo de conversão de energia solar na energia química e biológica, ● resultados da fotossíntese e importância deles para os seres vivos e a Terra.
Metodologia	<p>Construção de MCI por grupos de 3-5 estudantes, com mediação da professora, que servirá como método de identificação dos subsunçores.</p> <p>Discussão dos conceitos gerais do processo de fotossíntese por meio de diálogos com os estudantes ou seus grupos.</p> <p>Discussão das respostas do questionário, que servirá como guia de aprendizagem de novos conceitos.</p>
Recursos necessários	<p>Quadro branco, marcadores, livros didáticos, computador e projetor multimídia .</p>
Proposta de avaliação	<p>Avaliação preliminar: diálogo e questionário. Importância de participação do(a) aluno(a) de modo individual ou em grupo.</p>
Leituras complementares	<p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, p.179-192, 2008.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica. v. 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>

Referências	<p>MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. Física - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016;</p> <p>BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013.</p> <p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>
AULA 2	
Título da aula 2	<i>O papel da luz, as reações químicas e as estruturas biológicas no processo de fotossíntese oxigênica</i>
Objetivos gerais	(a) Estabelecer relações importantes entre os conhecimentos das áreas usualmente consideradas em separado no ensino tradicional.
Objetivos específicos	<p>I. Hierarquizar e organizar os conhecimentos novos, assimilando com conhecimento prévio com suporte de construção de um mapa conceitual final (MCF).</p> <p>II. Demonstrar a importância de relações horizontais e verticais do conhecimento assimilado para a aprendizagem profunda do processo de fotossíntese.</p>

<p>Conhecimentos</p>	<p>Relações interdisciplinares horizontais,</p> <ul style="list-style-type: none"> ● primeira camada (1º “horizonte”), os conhecimentos/conceito gerais: a energia da luz absorvida pela seres fotossintetizantes e usada para dirigir as reações que servem para ciclagem dos gases da atmosfera e produção dos carboidratos; ● segunda camada (2º “horizonte”) os conhecimentos/conceitos subordinados intermediários: a energia da luz é a energia solar, radiação solar que alimenta as reações de claro e escuro, que acontecem em organismos fotossintetizantes nas organelas celulares especiais chamadas cloroplastos; ● terceira camada (3º “horizonte”) os conhecimentos/conceitos específicos: a partícula da luz chamada fóton fornece energia para etapa inicial da fotossíntese oxigênica, esta energia solar está absorvida pelos fotopigmentos, clorofilas que se localizam nas tilacóides do cloroplasto e inicial reações de claro, fotofosforilação e fotólise de água e fornecem a energia química na forma das moléculas NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) e ATP (adenosina trifosfato) para dirigir a reação de escuro, que é a reação de fixação do carbono. <p>Lista dos conhecimentos interdisciplinares no estudo da importância da luz para os organismos vivos, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● as propriedades físicas (dualidade: partícula (fóton) vs. onda eletromagnética) da luz (outros tipos de onda (transversal, longitudinal, mecânicas e eletromagnética) e propriedades; ● as reações químicas de fases de claro (fotofosforilação e fotólise de água) e escuro (fixação do carbono); Equação geral da fotossíntese: $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{energia (luz) clorofila} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; ● as características das estruturas e moléculas biológicas (cloroplasto, tilacóide e clorofila) e as relações entre eles. <p>É importante ressaltar conceitos dos tipos e propriedades do eletromagnetismo (cf. Apêndice B). Para desenvolver a interdisciplinaridade, sugere-se discutir acerca os conceitos de luz, onda, reações químicas e fotoquímicas, bem ressaltar a estrutura da célula, as etapas de fotossíntese e os comportamentos (cloroplasto, tilacóides).</p>
<p>Metodologia</p>	<p>Construção de mapas conceituais finais pelos grupos com 3-5 estudantes, com mediação da professora, que servirá como método para relacionar os subsunçores com novos conhecimentos.</p> <p>Discussão dos conceitos específicos do processo de fotossíntese a partir de diálogos com alunos ou em grupos de alunos.</p> <p>Discussão das respostas de questionário, que servirá como guia de aprendizagem de novos conceitos.</p>
<p>Recursos necessários</p>	<p>Quadro branco, marcadores, livros didáticos, computador e projetor multimídia.</p>
<p>Proposta de avaliação</p>	<p>Avaliação de aprendizagem a partir da construção do MCF, de discussões na Comunidade de Investigação, e do questionário. Importância de participação do aluno individual ou em grupo.</p>

Leituras complementares	<p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, p.179-192, 2008.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica. v. 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>
Referências	<p>MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. Física - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016;</p> <p>BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013.</p> <p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>
AULA 3	
Título da aula 3	<i>O processo de fotossíntese na interdisciplinaridade dos conhecimentos de física, química e biologia: o processo de fotossíntese na microescala de organismo e na macro escala do planeta Terra</i>
Objetivos gerais	<p>a) Verificar a efetividade do processo de aprendizagem do processo de fotossíntese pelos alunos, em função da aplicação da sequência didática;</p> <p>b) Demonstrar a interconexão dos conhecimentos usualmente separados pelo ensino tradicional;</p> <p>c) Discutir a importância do processo de fotossíntese na microescala de organismo e na macro escala do planeta Terra ;</p> <p>d) Corrigir eventuais erros no processo de aprendizagem ;</p> <p>e) Analisar o <i>feedback</i> dos alunos sobre o método escolhido para o processo de aprendizagem.</p>

Objetivos específicos	<p>Verificar a efetividade do processo de aprendizagem do processo de fotossíntese pelos alunos.</p> <p>Demonstrar, mais uma vez, a união dos conhecimentos antigamente mantidos separados pelo ensino tradicional, adotando, para isso, eixos verticais e horizontais usando um mapa conceitual final.</p> <p>Discutir a relevância do processo de fotossíntese na microescala do organismo e na microescala do planeta Terra, a partir de grupos de 3-5 alunos, e apresentar a conclusão final discutida em grupos.</p> <p>Corrigir eventuais erros no processo de aprendizagem.</p> <p>Analisar o <i>feedback</i> (as devolutivas) dos alunos sobre o método escolhido para o processo de ensino.</p>
Conhecimentos	<p>A interconexão de conhecimentos usualmente separados pelo ensino tradicional.</p> <p>A importância do processo de fotossíntese na microescala de organismo e na macro escala do planeta Terra.</p>
Metodologia	<p>Finalizar a construção do MCF, que permitirá hierarquizar e relacionar os conhecimentos prévios e novos.</p>
Recursos necessários	<p>Quadro branco, marcadores, livros didáticos, computador e projetor multimídia.</p>
Proposta de avaliação	<p>A avaliação foi construída usando a análise da evolução do desenvolvimento envolvido na construção do mapa conceitual inicial e a análise de indicadores apresentados nos trabalhos de estudantes, tais como a evolução conceitual, a resolução de problema, a articulação entre conhecimentos, o desenvolvimento complexo de pensamento e a ampliação da crítica.</p>
Leituras complementares	<p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, p.179-192, 2008.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica. v. 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>

Referências	<p>MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. Física - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016;</p> <p>BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013.</p> <p>LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192.</p> <p>NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759</p> <p>NUSSENZVEIG, M. Curso de física básica - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.</p>
--------------------	--

Fonte: A autora.

DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA POR MEIO DE ATIVIDADES DE ROTEIROS

A aplicação desta SD interdisciplinar de aprendizagem significativa e crítica na temática da fotossíntese foi feita no âmbito do ensino remoto no Instituto Federal de Brasília (IFB), no Curso Técnico em Eventos integrado ao Ensino Médio³, no período de 23/11/2020 a 22/01/2021. Contou com 103 alunos inscritos no curso de 2º (57 alunos) e 3º (46 alunos) ano, momento em que as turmas cursavam o 3º bimestre do ano letivo de 2020.

De acordo com o planejamento pedagógico do IFB, ajustado devido à Pandemia de covid-19⁴, as aulas presenciais foram substituídas pelos roteiros (terminologia definida por coordenação de IFB) gerais com conteúdo e atividades de todos os componentes disciplinares estudados. Nessa proposta, cada bimestre deve aplicar um roteiro, totalizando quatro roteiros por ano, os quais devem incluir os conteúdos de todas as disciplinas ofertadas. Esses roteiros foram postados no Moodle® – plataforma adotada pelo IFB para execução de suas atividades didático-pedagógicas – ou impressos para os alunos que não tinham acesso à internet. Esses materiais também foram utilizados nos atendimentos *on-line* aos alunos.

³ Mais detalhes sobre Curso Técnico em Eventos integrado ao Ensino Médio podem ser encontrados no Plano Pedagógico do Curso. Disponível em: <https://www.ifb.edu.br/attachments/article/22990/PPC%20eventos.pdf>
Acesso em: 10 set. 2021.

⁴ Desde 03/08/2020 e durante todo o processo de aplicação.

O roteiro do 3º bimestre do 2º ano incluía conteúdos e atividades do componente de Física acerca do tópico *Óptica e Ondas*. Separadamente, outro roteiro de 3º bimestre do 3º ano oferecia conteúdos e atividades de Física acerca do tópico *Eletromagnetismo e Ondas Eletromagnéticas*. Essas atividades do 2º e 3º anos de Física foram acolhidas por este estudo e interconectadas na SD com o título *A importância da luz para a vida na Terra no exemplo do processo de fotossíntese oxigênica*.

Foram desenvolvidas atividades que associavam os conteúdos dos dois roteiros para, assim, realizar a abordagem interdisciplinar proposta nesta investigação. Para isso, os conceitos envolvidos no processo de fotossíntese – tradicionalmente separados entre as disciplinas de física, química e biologia – foram integrados e unificados no ensino interdisciplinar aqui proposto, em sintonia com a proposta dos recentes documentos oficiais do MEC. Para tanto, o conteúdo da atividade do 3º ano foi ajustado para implementação dos conceitos de eletromagnetismo, os quais ainda não haviam sido estudados pelos alunos do 2º ano do Ensino Médio.

O conteúdo e a atividade do roteiro propunham um estudo de ondas, de reações químicas e das estruturas biológicas envolvidas no processo de fotossíntese. Essas atividades foram desenvolvidas tendo o mapa conceitual como ferramenta principal, para hierarquizar e organizar os novos conhecimentos.

No formato de ensino remoto em que ocorreu, o conhecimento prévio e os conceitos relevantes ao tópico a ser estudado foram, inicialmente, buscados por meio de um diálogo com os professores do IFB que atuavam nas turmas estudadas, nas disciplinas de biologia, química e física. Os temas e os conceitos foram, então, incorporados à construção do questionário-guia de MCI e MCF (cf. Apêndices A, B), sendo o primeiro usado como ferramenta para o levantamento dos subsunçores efetivamente presentes na estrutura cognitiva dos alunos. Nesse sentido, o MCI (cf. Apêndices A, B, esquema 1) foi preenchido no começo das atividades, ainda sem a leitura de seu conteúdo, de modo a revelar o conhecimento prévio dos estudantes. Já o mapa conceitual final (MCF, (cf. Apêndices A, B, esquema 2)) foi preenchido ao término do processo de ensino, evidenciando, assim, a eventual aquisição de conhecimento. O questionário-guia incluía as instruções de procedimento da atividade proposta e as questões. Os questionamentos foram inseridos em conformidade com as indicações dos professores do IFB.

As nove questões do questionário-guia e sua sequência não somente hierarquizam o conhecimento verticalmente, de cima para baixo, como abordam os conceitos seguindo-se do mais geral para o mais específico. Também evidenciam as relações horizontais entre os conhecimentos que foram divididos anteriormente por áreas diferentes. Esse questionário-guia cria, ademais, uma situação-problema para que o discente exerça o pensar crítico e criativo na leitura de conteúdo para achar as respostas dessas questões propostas.

De forma geral, a abordagem desenvolveu a autonomia dos alunos no processo de estudo e aprendizagem ao torná-los protagonistas e críticos, ao passo que tornou a professora uma guia para os estudantes em tal percurso. Para isso, a docente instruiu os alunos no planejamento de trabalhos autônomos no âmbito da atividade sugerida, guiando, passo a passo, a mobilização de conhecimentos e procedimentos necessários, a gestão do tempo, o controle da produtividade e a efetividade das ações de seus alunos.

Além disso, as atividades desenvolvidas e aplicadas buscaram construir um ambiente social e cultural de interações entre a professora e os estudantes, mesmo diante das adversidades da pandemia, constituindo a sala de aula como uma Comunidade de Investigação, como preconiza Lipman. Tais interações foram viabilizadas por meio de diversas ações como: elaboração de guias de estudo pela professora; promoção de discussões *on-line*; interações por meio de mensagens ou grupos de discussões na plataforma virtual Moodle®, dentre outras. Todas essas ações auxiliaram no desenvolvimento de um ambiente favorável para as interações produtivas no processo de aprendizagem de fenômenos complexos.

Também é necessário destacar que o método de atividade interdisciplinar demonstrou que os alunos podem construir relações produtivas, complexificadas e qualificadas dos conteúdos, usualmente separados por disciplinas diferentes. Essa atividade mostra aos estudantes que há inter-relacionamentos nos fenômenos do mundo natural, refletidos em seus paralelos teóricos e, com isso, indicia que a interdisciplinaridade em seu contexto escolar e no escopo da SD desenvolvida, pode ser concretizada e se mostrar efetiva no processo de ensino e aprendizagem.

Destaca-se que a avaliação da atividade proposta foi construída usando a análise da evolução do desenvolvimento envolvido na construção do mapa conceitual inicial e a análise de indicadores apresentados nos trabalhos de estudantes, tais como a evolução conceitual, a

resolução de problema, a articulação entre conhecimentos, o desenvolvimento complexo de pensamento e a ampliação da crítica.

Mesmo assim, os alunos que, por diferentes razões, não conseguiram participar na construção de mapas conceituais, mas responderam ao questionário-guia, também foram avaliados – para isso, a avaliação foi baseada na evolução das respostas iniciais e finais na referida atividade e na análise de indicadores de aprendizagem apresentados nas respostas de estudantes.

A etapa final da SD (atividade de roteiro no ensino à distância) foi a aplicação do questionário das opiniões dos alunos sobre o estudo apresentado (cf. Apêndices A, B).

Referências

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational Psychology: a cognitive view**. 2. ed. New York: Holt, Rinehart e Winston, 1978.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. 1.ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; SAMPAIO, L. A. A. **Física: Eletromagnetismo e Física Moderna - Ensino Médio - volume 3**. 2. ed.; São Paulo: FTD, 2013.

GULIS, G.; SILVA FILHO, O.; FERREIRA, M.; ANDRADE, V. C.; COSTA, M. R. M. Ensino interdisciplinar da fotossíntese: interfaces entre a aprendizagem significativa crítica e as comunidades de investigação. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 3, 2021.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, pg. 1-13, 2020 (e20200057). Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057>.

FERREIRA, M.; COUTRO, R. V. L.; SILVA FILHO, O. L.; PAULUUCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, pg. 1-13, 2021a (e20210157). Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. Ensino de física: fundamentos, pesquisas e novas tendências. **Plurais Revista Multidisciplinar**, v. 6(2), pg. 9-19, 2021b. Recuperado de <https://doi.org/10.29378/plurais.2447-9373.2021.v6.n1.12199>.

FERREIRA, M.; NOGUEIRA, D. X. P.; SILVA FILHO, O. L.; COSTA, M. R. M.; SOARES NETO, J. J. A WebQuest como proposta de avaliação digital no contexto da aprendizagem significativa crítica em ciências para o ensino médio. **Pesquisa e Debate em Educação**, v. 12(1), pg. 1–32, 2022a (e35023). Recuperado de <https://doi.org/10.34019/2237-9444.2022.v12.35023>.

FERREIRA, M.; SILVA, A. L. S.; SILVA FILHO, O. L.; PORTUGAL, K. O. Atividade Experimental Problematizada (AEP): asserções praxiológicas e pedagógicas no ensino

experimental das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n.1, p. 308-322, 2022b. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/2676>.

FIORIN, J. L. Linguagem e interdisciplinaridade. **Alea**, v. 10, n. 1, p. 29-53, jan.-jun. 2008.

LIPMAN, M. O. **O Pensar na Educação**. 2. ed. Tradução de Ann Mary Figueira Perpétuo. Petrópolis: Vozes, 1995.

LOPES, S. **Bio** - volume único. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008, p. 179-192.

MÁXIMO, A; ALVARENGA, B. **Física** - Ensino Médio - volume 2. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016.

MOZENA, E. R.; OSTERMAN, F. Uma revisão bibliográfica sobre a interdisciplinaridade no ensino das ciências da natureza. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 16, n. 2, p. 185-206, 2014.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de educação Científica**. 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/> Acesso em: 22 out. 2021.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 5. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2011, p. 742-759.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996. Tradução de Learning how to learn. Ithaca. Nova Iorque: Cornell University Press, 1984.

NOVAK, J. D. **Learning, Creating, and Using Knowledge**: concept maps as facilitative tools for schools and corporations. 2. ed. Nova Iorque: Routledge, Taylor & Francis Group, 2010.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de física básica** - volume 2 e 3. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2010.

REPKO, A. F. **Interdisciplinaridade Research**: process and theory. Los Angeles/Londres: Sage, 2008.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Teorias da aprendizagem e da educação como referenciais em práticas de ensino: Ausubel e Lipman. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 104-125, 2018.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2019.

SILVA FILHO, O. L. et al. Normatividade e descritividade em referenciais teóricos na área de ensino de Física. **Pesquisa e Debate Em Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-33, e32564, 2021.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Modelo teórico para levantamento e organização de subsunçores no âmbito da Aprendizagem Significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Aceito para publicação em 21 de janeiro de 2022.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. Tradução de Monica Stahel M. da Silva. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

Apêndice A

ATIVIDADE DO ROTEIRO DO 2º ANO

Para mais detalhes e informações veja:

- Capítulo 7 (pg. 191-217) do MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; Física - Ensino Médio - volume 2. 2 ed.; Editora Scipione: São Paulo, 2016;
 - LOPES, S. Bio - volume único. 2. ed.; Editora Saraiva: São Paulo, p.179-192, 2008.
- Atenção: Leia com muito cuidado o texto abaixo, preencha os mapas conceituais* (inicial e final) e responda as questões dessa atividade! Além disso, se identificam no trabalho e nomeiam o arquivo com seu nome também. Não copiam do livro, do roteiro ou de outros alunos.
- A avaliação dessa atividade é a evolução atingida entre os mapas conceituais: o mapa conceitual inicial (importante: antes de leitura do roteiro) e o mapa conceitual final (importante: feito depois de leitura).

*Veja a explicação do que é um mapa conceitual abaixo!

Plano de trabalho:

- a. Preencha o mapa conceitual inicial (esquema 1) antes da leitura do roteiro. Esse passo é baseado no estudo da fotossíntese no 1º ano de biologia do Ensino Médio. Não tenha receio ao preenche-lo; esse passo é realizado somente para aprimorar a eficiência do roteiro.
- b. Leia o roteiro.
- c. Preencha o mapa conceitual final (esquema 2) após a leitura do roteiro.
- d. Responda ao questionário de estudo.
- e. Envie os arquivos: o mapa conceitual inicial, o mapa conceitual final e as respostas do questionário de estudo (3 arquivos em total).

Vamos começar!

Por favor, leia sobre o conceito de mapa conceitual!

O uso de mapas conceituais no ensino foi proposto pelo pesquisador americano Joseph. J. Novak. De acordo com Novak e outros educadores, um mapa conceitual é capaz de hierarquizar e sistematizar o conhecimento dos conceitos complexos para um ensino efetivo e uma aprendizagem profunda. A construção de um mapa conceitual inclui as seguintes etapas: procure as palavras-chaves que estão associados com a terminologia mais complexa, coloca eles dos mais gerais até os mais específicos (de cima para baixo, em ordem de hierarquia) e conecta com setas as palavras-chaves relacionadas (veja exemplo abaixo, **figura 1**).

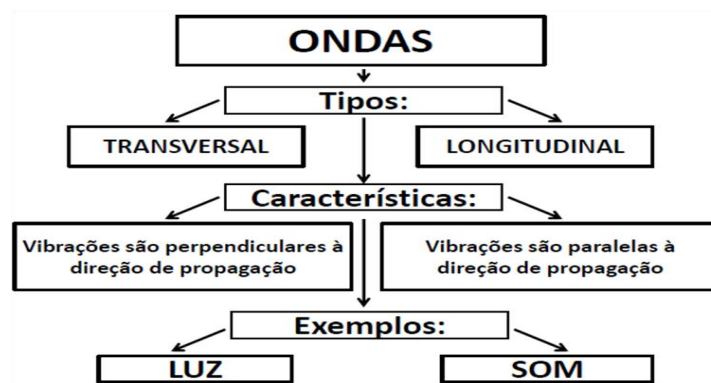


Figura 1. Um exemplo do mapa conceitual.

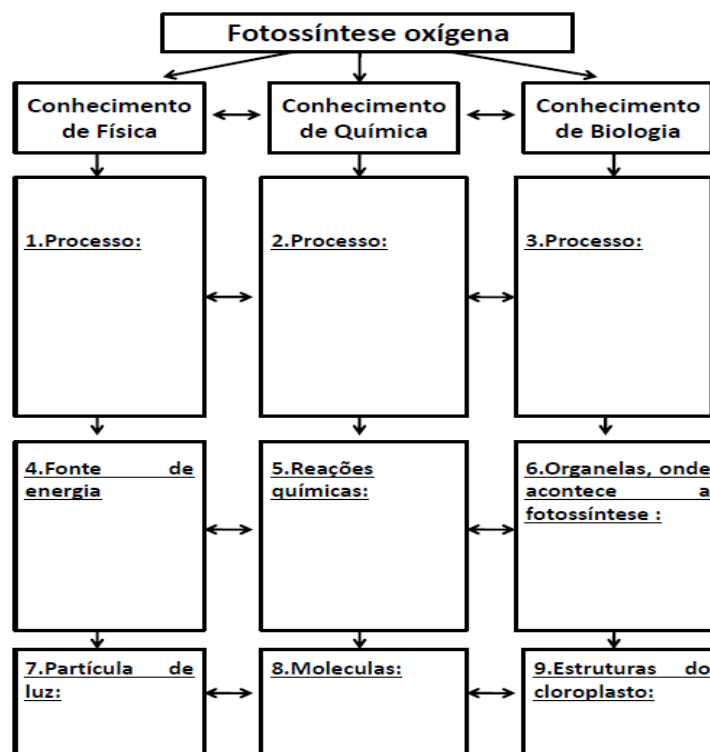
a. Primeiro passo!

Por favor, veja abaixo um mapa conceitual inicial (MCI, esquema 1) e preencha o espaço vazio (respondendo as questões abaixo) sem ler o conteúdo do roteiro! Recado importante! Não tenha receio ao realizar esta tarefa! Esse primeiro mapa conceitual (mapa conceitual inicial) vai ser parte da sua avaliação (na comparação futura com um mapa conceitual final (esquema 2), quando você já terá lido o conteúdo do roteiro).

Questionário para o mapa conceitual inicial:

1. Qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?
2. Quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
3. Qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxigênica?
4. Qual é a fonte de energia?

5. Quais reações químicas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
6. Quais organelas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica? Onde acontece a fotossíntese oxigênica?
7. Qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxigênica?
8. Quais moléculas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
9. Quais estruturas biológicas estão envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?



Esquema 1. Mapa conceitual inicial (MCI).

b. Segundo passo!

Leia com cuidado o texto abaixo!

A fotossíntese oxigênica é um processo fundamental para a manutenção da vida em nosso planeta. Esse processo é a base da maior parte das cadeias alimentares, uma fonte importante de oxigênio, um dos gases cruciais, mantidos na atmosfera e uma fonte valiosa da energia biológica. Para ocorrer fotossíntese, é necessária a presença de um pigmento verde, a clorofila, que é a molécula mais abundante nos cloroplastos de seres fotossintetizantes. O

processo de fotossíntese utiliza a energia solar, como a fonte de energia, e transforma ela para energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos captam a energia solar e formam ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), que são usados como fonte de energia para sintetizar carboidratos e outros compostos orgânicos a partir de CO_2 e H_2O ; simultaneamente, eles liberam O_2 na atmosfera. Heterótrofos aeróbicos (humanos, p. ex., assim como plantas durante períodos escuros) usam o O_2 formando desse modo para degradar os produtos orgânicos ricos em energia da fotossíntese em CO_2 e H_2O , gerando ATP. O CO_2 retorna à atmosfera, para ser usado novamente pelos organismos fotossintéticos (**figura 2**).

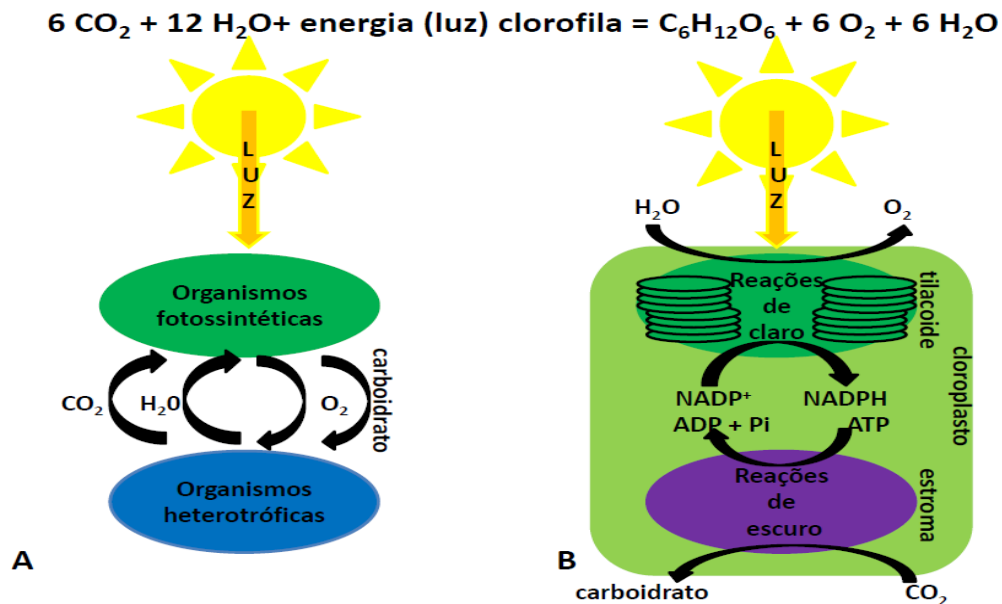


Figura 2. (A) A energia solar serve como uma fonte poderosa de toda a energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos utilizam a energia da luz para produzir carboidratos e para liberação do O_2 pela fotólise de água, os quais vão ser utilizados por organismos heterotróficos. (B) As reações luminosas da fotossíntese geram NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) e ATP (adenosina trifosfato) ricos em energia e produzem oxigênio, gás mantido na atmosfera, às custas da energia solar. As moléculas NADPH e ATP produzidas nas reações de claro são usadas nas reações de assimilação de carbono, que ocorrem na fase de escuro, para reduzir o CO_2 e formar carboidrato. Adaptada de Nelson e Cox (2011, p. 742-743).

Assim, a energia solar fornece a força propulsora para a ciclagem contínua de CO_2 e O_2 na biosfera, fornecendo também os substratos reduzidos - combustíveis como a glicose - dos quais dependem os organismos não fotossintéticos (**figura 2**).

O que é a energia solar?! A energia solar é a radiação que se propaga na forma das ondas eletromagnéticas (mais detalhes no 3º ano). A radiação solar é composta de vários comprimentos de onda, somente uma parte dela é a luz visível.

O que é a onda?! A onda é uma perturbação que se propaga, no espaço ou em meios materiais, transportando energia. As ondas podem ser classificadas para sua natureza em ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. As ondas mecânicas são ondas que se propagam nos meios materiais (como, por exemplo, o som). As ondas eletromagnéticas são resultado de combinação de campo elétrico e magnético, exemplo-luz (mais detalhes no 3º ano). Também, as ondas podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação: transversal (luz) ou longitudinal (som) (**figura 3**).

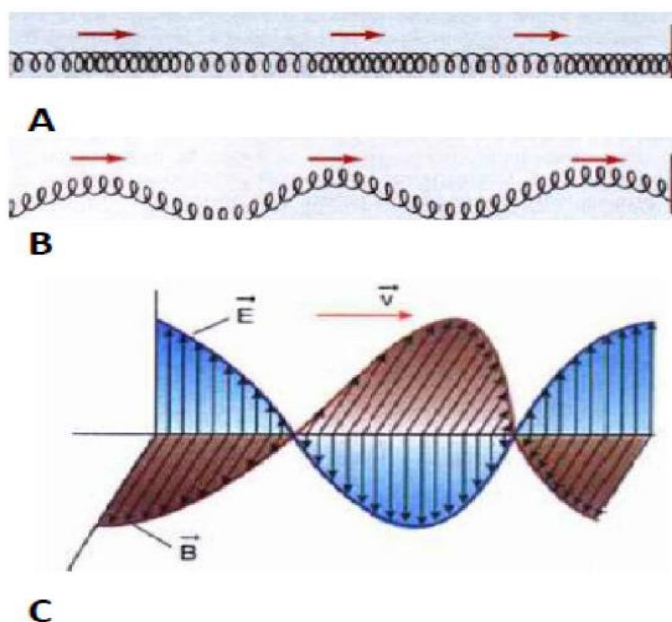


Figura 3. (A) Representação esquemática da onda longitudinal (por exemplo som), a vibração dela é paralelo à direção de propagação da onda. (B) Representação esquemática da onda transversal (por exemplo luz), a vibração dela é perpendicular à direção de propagação da onda. (C) Representação esquemática de onda eletromagnética. Adaptada do Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016, p. 197) e Bonjorno, Ramos e Sampaio (2013, p. 199).

O olho humano só consegue distinguir os que compõem a luz visível ou luz branca. Ao passar por um prisma, a luz branca é decomposta em luzes de sete cores, cada uma abrangendo determinados comprimentos de onda (**figura 4**).

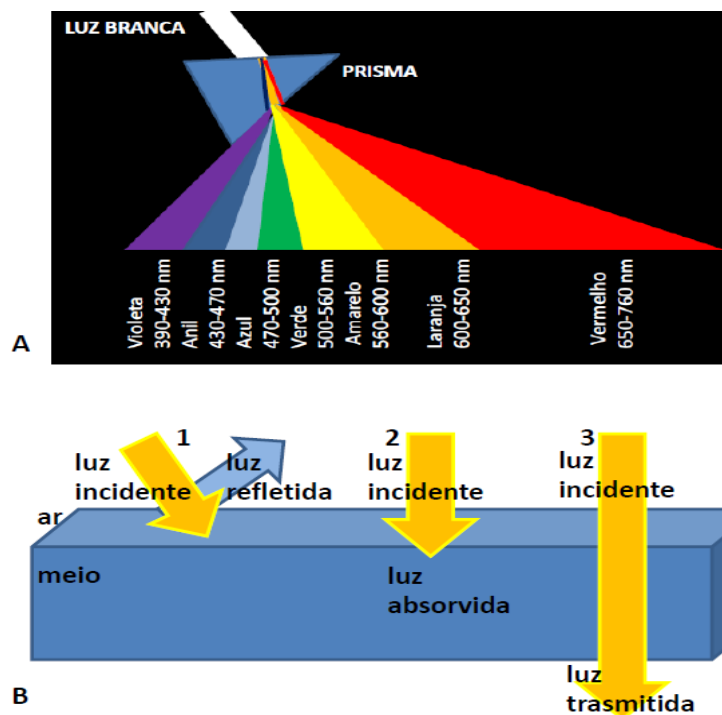


Figura 4. (A) Representação esquemática de espectro da luz visível. (B) Esquema de luz incidente sofrendo reflexão (1), absorção (2) e transmissão (3). Adaptada do Máximo, Guimarães e Alvarenga (2016, p. 125, 153, 164).

A luz só pode ser utilizada na fotossíntese graças à presença de pigmentos especializados que conseguem captar a energia luminosa. Os pigmentos têm a propriedade de absorver (o processo físico muito importante na fotossíntese, pelo qual a luz que incide sobre um corpo é convertida em energia, **figura 4-B-2**) apenas alguns comprimentos de onda, refletindo os demais (**figura 4-B-1**). A cor do pigmento é determinada pelo comprimento de onda refletida.

Um pigmento que reflete a luz verde e absorver com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha é a clorofila. As moléculas dos pigmentos fotossintetizantes, nos eucariontes, ficam nos tilacoides, partes internas, dos organoides, chamados cloroplastos (**figura 2-B**).

Os pigmentos fotossintetizantes presentes nos tilacoides estão organizados em conjuntos chamados complexo antena, funcionando como captadores de energia luminosa. Parte de clorofilas, chamadas de centro de reação, são excitadas pela energia da luz, liberam elétrons (partículas negativamente carregadas, estudo no 3 ano) que são transferidos para

substânciasceptoras de elétrons. Cada complexo-antena com seu centro de reação forma um fotossistema (**figura 2-B e 5**). Aqui (cloroplasto, tilacoides) acontece primeira etapa - a etapa fotoquímica da fotossíntese, as reações de claro (em presença de luz): a fotofosforilação (que é a adição de fosfato em presença de luz) e a fotólise de água (que é quebra da molécula de água em presença de luz).

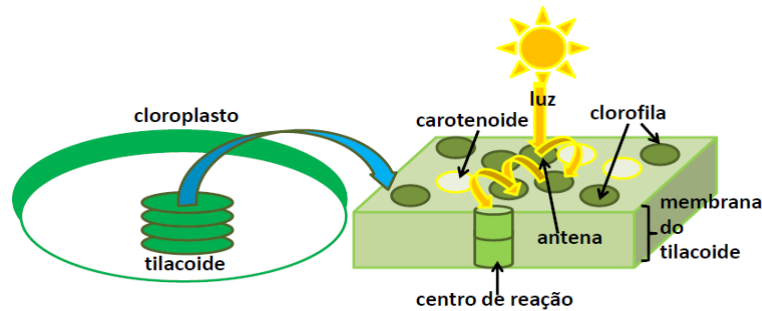
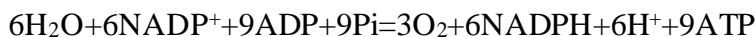


Figura 5. Representação esquemática do fotossistema nas membranas tilacoides. As moléculas de pigmentos (clorofila) que absorvem fótons e convertem em energia química são associadas ao centro de reação. As outras moléculas de pigmento (clorofila e carotenoide) que absorvem a energia luminosa e transferem ao centro de reação são chamadas antenas.

As reações de claro são representadas pela seguinte reação:



A segunda etapa é a etapa química, onde, as reações químicas, ocorrem no estroma do cloroplasto, são reações de escuro (sem necessidade direta de luz) (**figura 2-B**). Nela há participação do gás carbônico, que recebe o hidrogênio transportado pelas moléculas de NADPH provenientes da fotólise da água. Há formação de carboidratos, fixação do carbono, pois este elemento, presente no ambiente abiótico, passa a integrar as substâncias orgânicas do corpo dos seres vivos.

As reações de escuro são representadas pela seguinte reação:



Finalmente, as reações de claro e escuro são sumarizadas pela reação geral da fotossíntese:

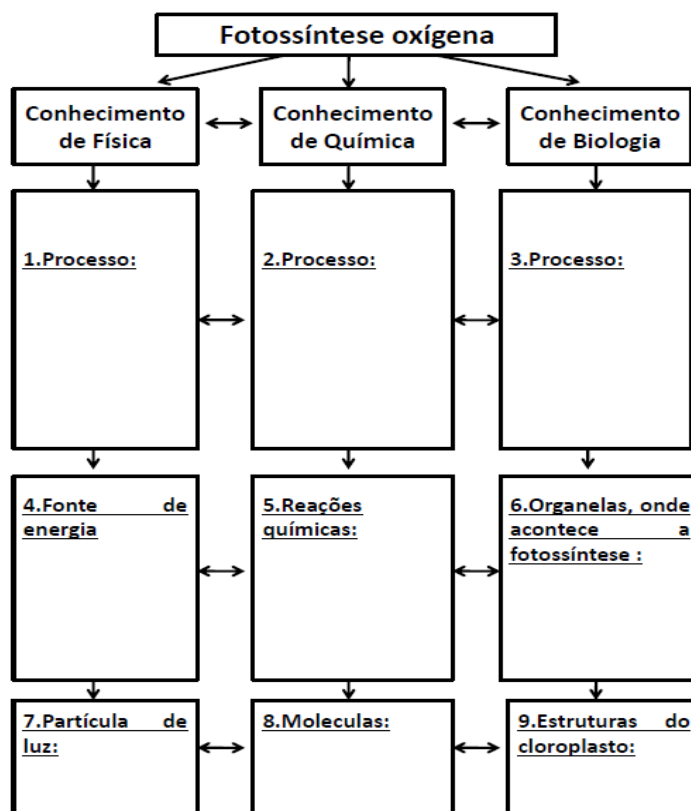


c. Terceiro passo!

Preenche o mapa conceitual final (MCF, esquema 2) depois da leitura do roteiro, baseado nas respostas de questionário do mapa conceitual final!

Questionário para o mapa conceitual final:

1. Qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?
2. Quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
3. Qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxigênica?
4. Qual é a fonte de energia?
5. Quais reações químicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
6. Quais organelas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica? Onde acontece a fotossíntese oxigênica?
7. Qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxigênica?
8. Quais moléculas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?
9. Quais estruturas biológicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxigênica?



Esquema 2. Mapa conceitual final (MCF).

d. Quatro passo!

Responda o questionário de estudo!

1. O método de mapa conceitual te ajudou no estudo de ondas e de processo de fotossíntese?
Escolha somente uma resposta: (a) Ajudou muito, (b) ajudou, (c) não fez nenhuma diferença e (d) complicou o estudo.
2. Depois do estudo, você entende melhor o papel da luz para vida na Terra! Sim ou Não!
3. 4. Você acha que o estudo do processo de fotossíntese é mais eficiente como um efeito interdisciplinar (abordado do ponto de vista física, química e biologia, no mesmo tempo) ou somente como efeito somente biológico (somente ponto de vista da biologia)? Sim ou Não?! Porque (explique)?
4. Você achou o estudo sozinho mais difícil comparando com os estudos junto com outros alunos? Sim ou Não? Porque (explique)?

e. Quinto passo!

Envie os arquivos: o mapa conceitual inicial (esquema 1), o mapa conceitual final (esquema 2) e as respostas do questionário de estudo (3 arquivos no total).

Apêndice B

ATIVIDADE DO ROTEIRO DO 3º ANO

Para mais detalhes e informações veja:

- Unidade III (pg. 149-212) do BONJORNO, José Roberto; RAMOS, Clinton Márcio; SAMPAIO, Luiz Augusto Alves. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna-Ensino Médio-volume 3. 2ª edição; FTD: São Paulo, 2013.
- LOPES, S. Bio - volume único. 2ª ed.; Editora Saraiva: São Paulo, p.179-192, 2008.
- Atenção: Leia com muito cuidado o texto abaixo, preencha os mapas conceituais* (inicial e final) e responda as questões dessa atividade! Além disso, se identificam no trabalho e nomeiam o arquivo com seu nome também. Não copiam do livro, do roteiro ou de outros alunos.
- A avaliação dessa atividade é a evolução atingida entre os mapas conceituais: o mapa conceitual inicial (importante: antes de leitura do roteiro) e o mapa conceitual final (importante: feito depois de leitura).

*Veja a explicação do que é um mapa conceitual abaixo!

Plano de trabalho:

- a. Preenche o mapa conceitual inicial (MCI, esquema 1) antes da leitura do roteiro. Esse passo é baseado no estudo de fotossíntese no 1 ano de biologia. Não tem que ter medo preenchido, esse passo somente para estabelecimento de eficiência do roteiro.
- b. Leia o roteiro.
- c. Preenche o mapa conceitual final (MCF, esquema 2) depois da leitura do roteiro.
- d. Responda o questionário de estudo.
- e. Envie os arquivos: o mapa conceitual inicial, o mapa conceitual final e as respostas do questionário de estudo (3 arquivos em total).

Vamos começar!

Por favor, leia sobre o conceito de mapa conceitual!

O uso de mapas conceituais no ensino foi proposto pelo pesquisador americano Joseph. J. Novak. De acordo com Novak e outros educadores, um mapa conceitual é capaz de hierarquizar e sistematizar o conhecimento dos conceitos complexos para um ensino efetivo e uma aprendizagem profunda. A construção de um mapa conceitual inclui as seguintes etapas: procure as palavras-chaves que estão associados com a terminologia mais complexa, coloca eles dos mais gerais até os mais específicos (de cima para baixo, em ordem de hierarquia) e conecta com setas as palavras-chaves relacionadas (veja exemplo abaixo, **figura 1**).

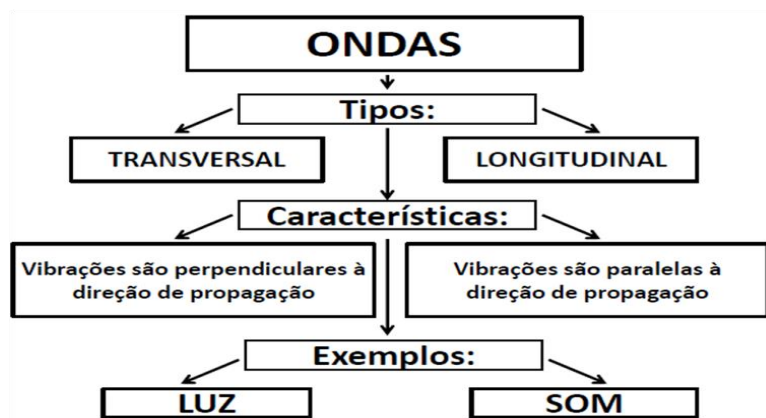


Figura 1. Um exemplo do mapa conceitual.

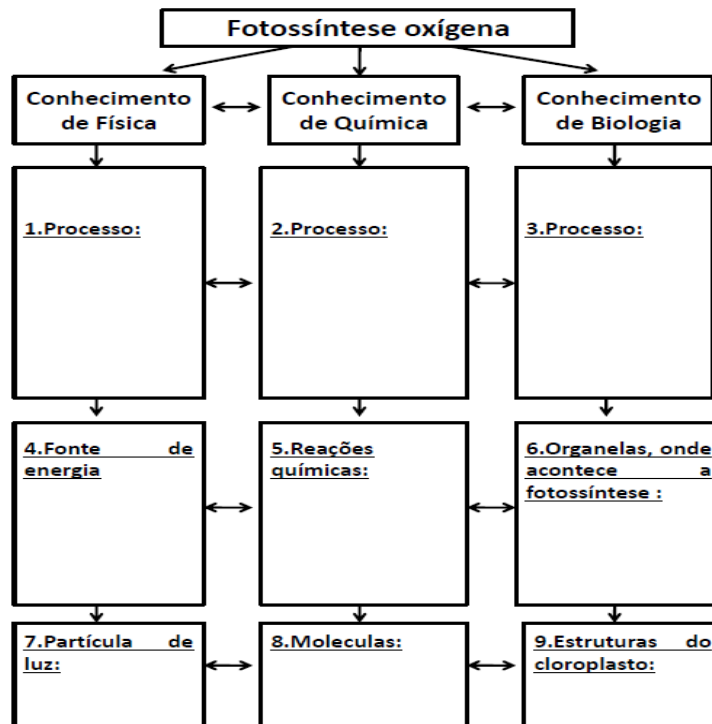
a. Primeiro passo!

Por favor, veja abaixo um mapa conceitual (MCI, esquema 1) e preencha o espaço vazio (respondendo as questões abaixo) sem ler o conteúdo do roteiro! Recado importante! Não precisa ter medo! Esse primeiro mapa conceitual (mapa conceitual inicial) vai ser parte da sua avaliação (comparação com um mapa conceitual final (esquema 2), depois que você leia o conteúdo do roteiro).

Questionário para o mapa conceitual inicial:

1. Qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?

2. Quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
3. Qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxígena?
4. Qual é a fonte de energia?
5. Quais reações químicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
6. Quais organelas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena? Onde acontece a fotossíntese oxígena?
7. Qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxígena?
8. Quais moléculas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
9. Quais estruturas biológicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?



Esquema 1. Mapa conceitual inicial (MCI).

b. Segundo passo!

Leia com cuidado o texto abaixo!

A fotossíntese oxigênica é um processo fundamental para a manutenção da vida em nosso planeta. Esse processo é a base da maior parte das cadeias alimentares, uma fonte importante de oxigênio, um dos gases cruciais, mantidos na atmosfera e uma fonte valiosa da energia biológica. Para ocorrer fotossíntese, é necessário a presença de um pigmento verde, clorofila, que é a molécula mais abundante nos cloroplastos de seres fotossintetizantes. O processo de fotossíntese utiliza a energia solar, como a fonte de energia, e transforma ela para energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos captam a energia solar e formam ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), que são usados como fonte de energia para sintetizar carboidratos e outros compostos orgânicos a partir de CO_2 e H_2O ; simultaneamente, eles liberam O_2 na atmosfera. Heterótrofos aeróbicos (humanos, p. ex., assim como plantas durante períodos escuros) usam o O_2 formando desse modo para degradar os produtos orgânicos ricos em energia da fotossíntese em CO_2 e H_2O , gerando ATP. O CO_2 retorna à atmosfera, para ser usado novamente pelos organismos fotossintéticos (**figura 2**).

Assim, a energia solar fornece a força propulsora para a ciclagem contínua de CO_2 e O_2 na biosfera, fornecendo também os substratos reduzidos - combustíveis como a glicose - dos quais dependem os organismos não fotossintéticos (**figura 2**).

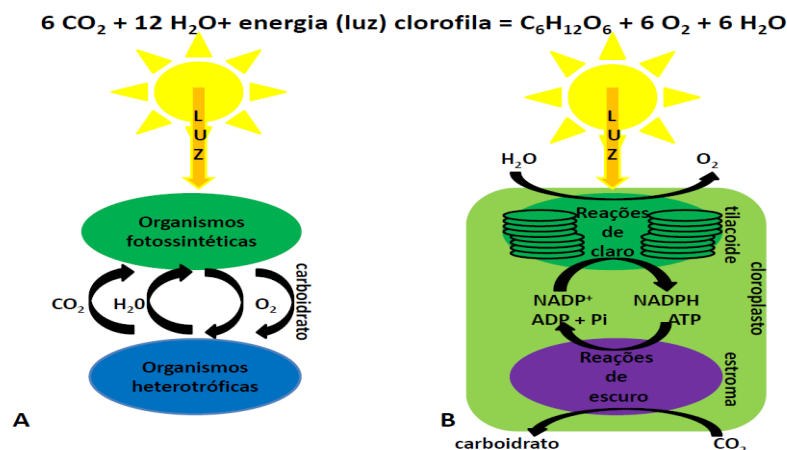


Figura 2. (A) A energia solar serve como uma fonte poderosa de toda a energia química e biológica. Os organismos fotossintéticos utilizam a energia da luz para produzir carboidratos e para liberação do O_2 pela fotólise de água, os quais vão ser utilizados por organismos heterotróficos. (B) As reações luminosas da fotossíntese geram NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) e ATP (adenosina trifosfato) ricos em energia e produzem oxigênio, gás mantido na atmosfera, às custas da energia solar. As moléculas NADPH e ATP produzidas nas reações de claro são usadas nas reações de assimilação de carbono, que

ocorrem na fase de escuro, para reduzir o CO₂ e formar carboidrato. Adaptada de Nelson e Cox (2011, p. 742-743).

O que é a energia solar?! A energia solar é a radiação que se propaga na forma das ondas eletromagnéticas. A radiação solar é composta de vários comprimentos de onda, somente uma parte dela é a luz visível.

O que é a onda?! A onda é uma perturbação que se propaga, no espaço ou em meios materiais, transportando energia. As ondas podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação: transversal (luz) ou longitudinal (som) (**figura 3-A e B**).

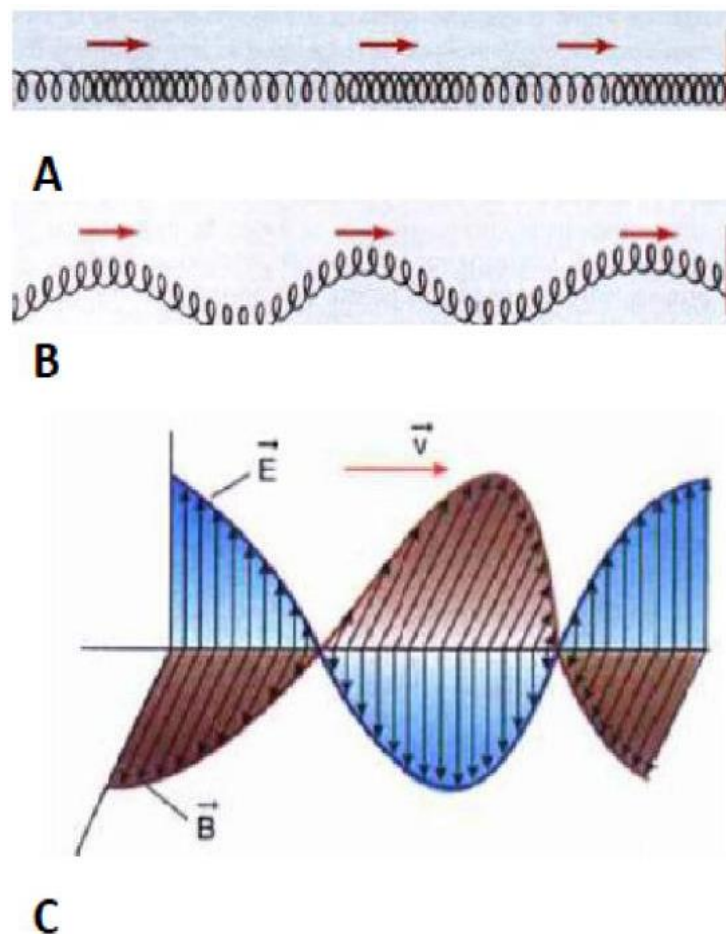


Figura 3. (A) Representação esquemática da onda longitudinal (por exemplo som), a vibração dela é paralelo à direção de propagação da onda. (B) Representação esquemática da onda transversal (por exemplo luz), a vibração dela é perpendicular à direção de propagação da onda. (C) Representação esquemática de onda eletromagnética. Adaptada do Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016, p. 197) e Bonjorno, Ramos e Sampaio (2013, p. 199).

Também, as ondas podem ser classificadas para sua natureza em ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. As ondas mecânicas são ondas que se propagam nos meios materiais, como, por exemplo, o som. As ondas eletromagnéticas são resultado de combinação de campo elétrico e magnético, exemplo-luz (**figura 3-C**).

O trabalho mais notável no campo do eletromagnetismo foi realizado na segunda metade do século XIX pelo físico James C. Maxwell. Apoiando-se nas leis experimentais descobertas por Coulomb, Ampère e Faraday e acrescentando a elas uma nova concepção criada por ele próprio, este cientista estruturou um conjunto de equações, atualmente denominadas equações de Maxwell, que sintetizam todos os conhecimentos sobre eletromagnetismo adquiridos até aquela época. A consequência mais importante obtida através dessas equações foi a previsão da existência das ondas eletromagnéticas (**figura 3-C**). Observe que ela é construída pelos campos elétrico (E) e magnético (B) que oscilam periodicamente, de maneira semelhante aos pontos de uma corda na qual se propaga uma onda mecânica. Veja (**figura 3-C**) os vetores E e B são perpendiculares entre si e ambos são perpendiculares à direção de propagação da onda.

É importante salientar que, ao contrário das ondas mecânicas, uma onda eletromagnética não necessita de um meio material para se propagar. Como um campo elétrico e um campo magnético podem ser estabelecidos mesmo em um espaço vazio, é claro que uma onda eletromagnética poderá se propagar no vácuo.

Um dos resultados de maior repercussão obtido por Maxwell, usando suas equações, foi determinação do valor da velocidade de propagação de uma onda eletromagnética. Seus cálculos mostraram que, no vácuo (ou no ar), estas ondas deveriam se propagar com uma velocidade v cujo valor é $3 \times 10^8 \text{ m}^2/\text{c}$.

A importância deste resultado se deve ao fato de que este valor coincide com a velocidade de propagação da luz no vácuo. Esta concordância levou Maxwell a suspeitar que a luz fosse uma onda eletromagnética.

Atualmente, sabemos que a suspeita de Maxwell era verdadeira: a luz é, realmente, uma onda eletromagnética.

O olho humano só consegue distinguir os que compõem a luz visível ou luz branca. Ao passar por um prisma, a luz branca é decomposta em luzes de sete cores, cada uma abrangendo determinados comprimentos de onda (**figura 4**).

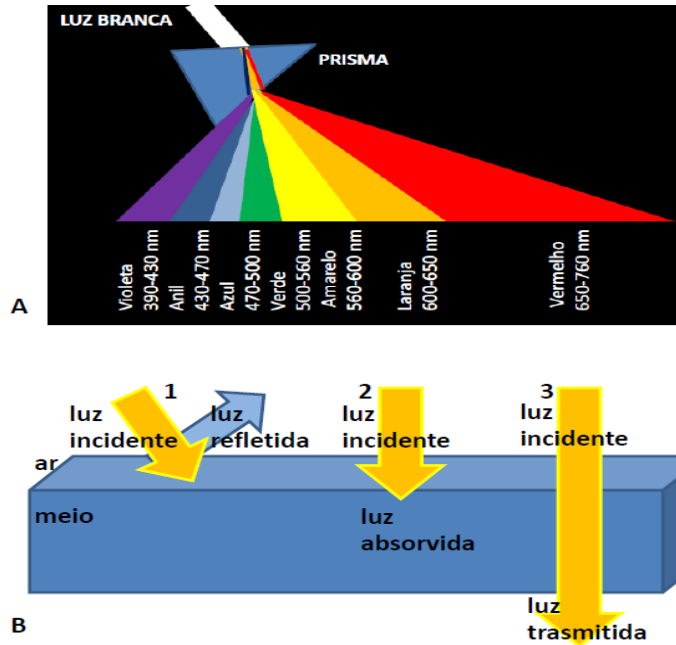


Figura 4. (A) Representação esquemática de espectro da luz visível. (B) Esquema de luz incidente sofrendo reflexão (1), absorção (2) e transmissão (3). Adaptada do Máximo, Guimarães e Alvarenga (2016, p. 125, 153, 164).

A luz só pode ser utilizada na fotossíntese graças à presença de pigmentos especializados que conseguem captar a energia luminosa. Os pigmentos têm a propriedade de absorver (o processo físico muito importante na fotossíntese, pelo qual a luz que incide sobre um corpo é convertida em energia, **figura 4-B-1**) apenas alguns comprimentos de onda, refletindo os demais (**figura 4-B-2**). A cor do pigmento é determinada pelo comprimento de onda refletida.

Um pigmento que reflete a luz verde e absorver com maior eficiência os comprimentos de onda das luzes azul e vermelha é a clorofila. As moléculas dos pigmentos fotossintetizantes, nos eucariontes, ficam nos tilacóides, partes internas, dos organoides, chamados cloroplastos (**figura 2-B**).

Os pigmentos fotossintetizantes presentes nos tilacoides estão organizados em conjuntos chamados complexo antena, funcionando como captadores de energia luminosa. Parte de clorofilas, chamadas de centro de reação, são excitadas pela energia da luz, liberam elétrons (partículas negativamente carregadas, estudo no 3 ano) que são transferidos para substânciasceptoras de elétrons. Cada complexo-antena com seu centro de reação forma um fotossistema (**figuras 2-B e 5**). Aqui (cloroplasto, tilacoides) acontece primeira etapa - a etapa fotoquímica da fotossíntese, as reações de claro (em presença de luz): a fotofosforilação (que é a adição de fosfato em presença de luz) e a fotólise de água (que é quebra da molécula de água em presença de luz).

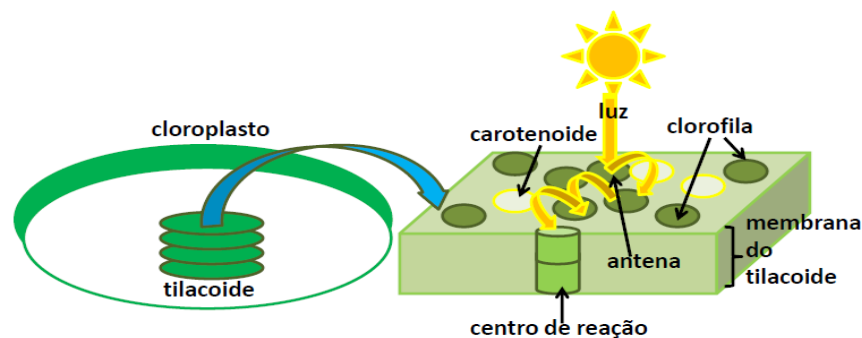
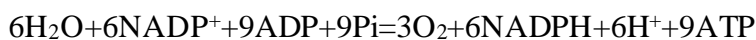


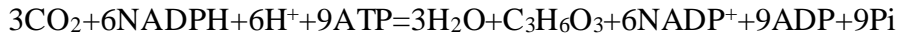
Figura 5. Representação esquemática do fotossistema nas membranas tilacoides. As moléculas de pigmentos (clorofila) que absorvem fótons e convertem em energia química são associadas ao centro de reação. As outras moléculas de pigmento (clorofila e carotenoide) que absorvem a energia luminosa e transferem ao centro de reação são chamadas antenas.

As reações de claro são apresentados pela seguinte reação:



A segunda etapa é a etapa química, onde, as reações químicas, ocorrem no estroma do cloroplasto, são reações de escuro (sem necessidade direta de luz) (**figura 2-B**). Nela há participação do gás carbônico, que recebe o hidrogênio transportado pelas moléculas de NADPH provenientes da fotólise da água. Há formação de carboidratos, fixação do carbono, pois este elemento, presente no ambiente abiótico, passa a integrar as substâncias orgânicas do corpo dos seres vivos.

As reações de escuro são apresentadas pela seguinte reação:



Finalmente, as reações de claro e escuro são sumarizadas pela reação geral da fotossíntese:

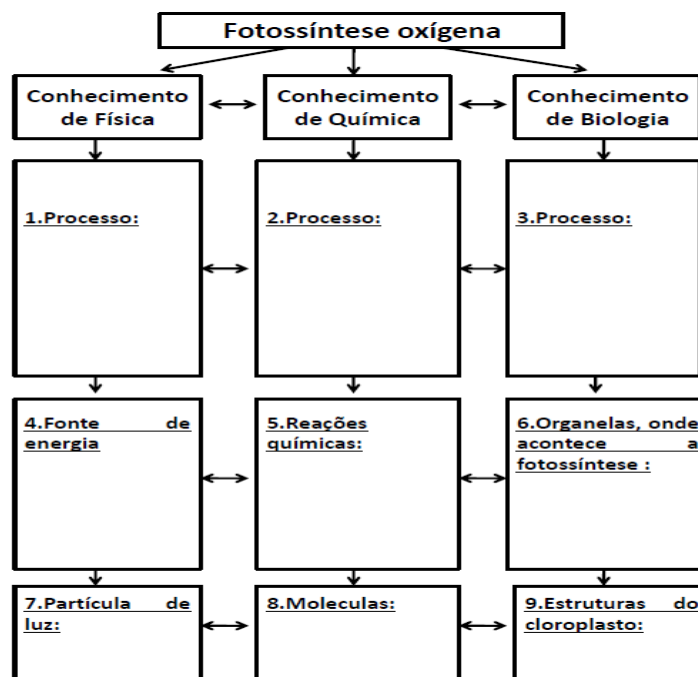


c. Terceiro passo!

Preenche o mapa conceitual final (MCF, esquema 2) depois da leitura do roteiro, baseado nas respostas de questionário do mapa conceitual final!

Questionário para o mapa conceitual final:

1. Qual é o processo de captura de energia solar que ocorre graças ao pigmento?
2. Quais são os processos importantes que envolvem água e gás carbônico?
3. Qual processo descreve a função biológica de fotossíntese oxígena?
4. Qual é a fonte de energia?
5. Quais reações químicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
6. Quais organelas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena? Onde acontece a fotossíntese oxígena?
7. Qual é a partícula de luz envolvida no processo de fotossíntese oxígena?
8. Quais moléculas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?
9. Quais estruturas biológicas são envolvidas no processo de fotossíntese oxígena?



Esquema 2. Mapa conceitual final (MCF).

d. Quarto passo!

Responda o questionário de estudo!

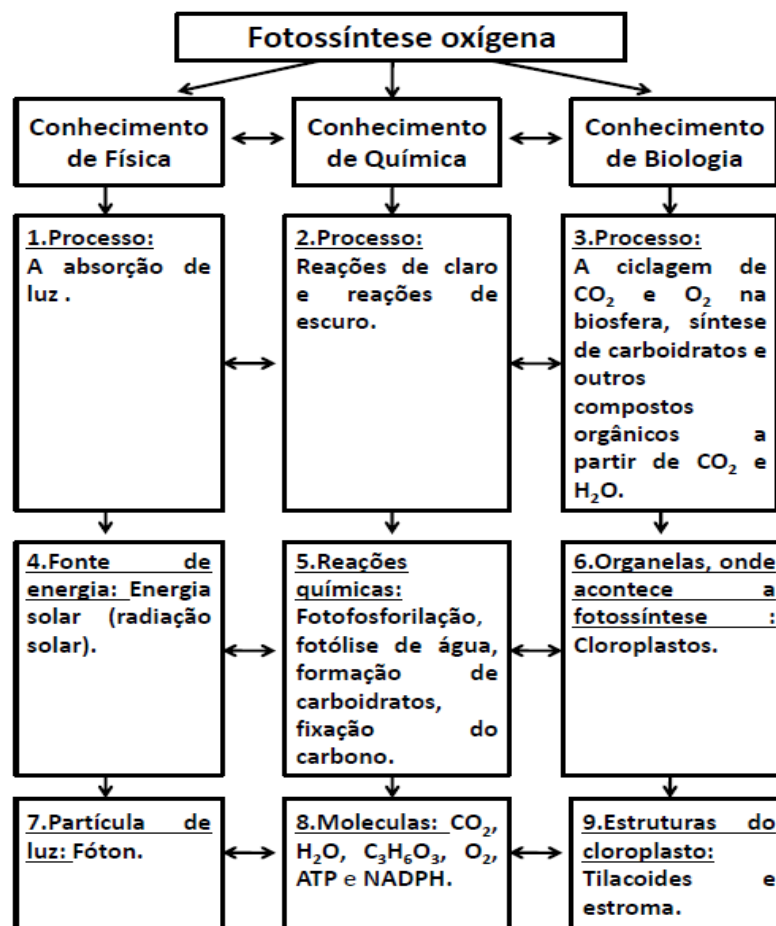
1. O método do mapa conceitual te ajudou no estudo de ondas e no processo de fotossíntese oxígena?
Escolha somente uma resposta: (a) ajudou, (b) não fez diferença, (c) complicou o estudo.
2. Depois do estudo, você compreendeu o papel da luz para a vida na Terra? Sim ou Não?
3. Você acha que o estudo do processo de fotossíntese oxígena é mais eficiente como um efeito interdisciplinar (abordado do ponto de vista física, química e biológica, ao mesmo tempo) ou somente como efeito biológico? Sim ou Não? Por quê (explique)?
4. Você acha que estudar sozinho é mais difícil comparado com estudar junto com outros alunos? Sim ou Não? Por quê (explique)?

e. Quinto passo!

Envie os arquivos: o mapa conceitual inicial, o mapa conceitual final e as respostas do questionário de estudo (3 arquivos em total).

Apêndice C

Exemplo de mapa conceitual final preenchido pela professora



Fonte: A autora.

Obs.: Os números de caixas de mapa conceitual correspondem aos números de questões do questionário.