REB na escola

Fotossíntese: superando barreiras no aprendizado por meio da utilização de modelos didáticos interativos

Photosynthesis: overcoming barriers in learning through the use of interactive didactic model

Fernanda Vidal de Campos ^{1*}; Nilhian Gonçalves de Almeida²

¹ Instituto Federal Fluminense Campus Avançado São João da Barra, RJ; ² Escola Estadual Fernando Lobo, Juiz de Fora, MG

* e-mail: fernanda.campos@ifff.edu.br

Abstract

Photosynthesis is an essential phenomenon for the maintenance of life, however many students have difficulties to understand it, creating a barrier in the teaching and learning process that needs to be overcome. Therefore, the objective of this work was to develop and apply to high school students, didactic models that present in a clear and interactive way the structure of the Chloroplast and the molecular processes involved in the Photochemical Stage and in the Calvin Cycle, using low-cost and accessible materials. Analyzing the pre-test and post-test, it was found that the didactic models helped students to understand the biochemical processes of sunlight absorption, oxygen release and carbon dioxide fixation, still allowed the deconstruction of erroneous concepts. Thus, the models proved to be effective in building complex knowledge related to photosynthesis by allowing the representation of reality in a simplified and dynamic way.

Keywords: Photosynthesis; Didactic Models; Learning

Resumo

A fotossíntese é um fenômeno essencial para a manutenção da vida, entretanto muitos estudantes apresentam dificuldades para compreendê-la, criando-se uma barreira no processo de ensino e aprendizagem que necessita ser superada. Logo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e aplicar para estudantes do ensino médio, modelos didáticos que apresentem de forma clara e interativa a estrutura do Cloroplasto e os processos moleculares envolvidos na Etapa Fotoquímica e no Ciclo de Calvin, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo. Analisando o pré-teste e o pós-teste verificou-se que os modelos didáticos auxiliaram os alunos na compreensão dos processos bioquímicos de absorção da luz solar, liberação de oxigênio e fixação do dióxido de carbono, ainda permitiu a desconstrução de conceitos errôneos. Assim, os modelos revelaram-se eficazes na construção de conhecimentos complexos relacionados à fotossíntese ao permitirem a representação da realidade de forma simplificada e dinâmica.

Palavras-chave: Fotossíntese; Modelos Didáticos; Aprendizagem

Ficha da Atividade Desenvolvida

Título	Fotossíntese: superando barreiras no aprendizado por meio da utilização de modelos didáticos interativos.
Público-alvo	Estudantes do 1º ano do Ensino Médio
Disciplinas relacionadas	Biologia
Objetivo educacional	Desenvolver e aplicar modelos didáticos interativos para estudantes do ensino médio, visando auxiliar o processo de ensino e aprendizagem sobre o conteúdo fotossíntese e suas etapas.
Justificativa para o uso	O entendimento sobre o conteúdo fotossíntese requer um certo nível de abstração dos estudantes, visto que envolve estruturas e processos bioquímicos que não podem ser visualizados. Assim, muitos estudantes acreditam que esse conteúdo esteja distante da sua vivência, o que torna o aprendizado desmotivante. Neste contexto, os modelos didáticos tornam-se uma estratégia eficiente para tornar tangível as estruturas e os processos que antes estavam no imaginário do estudante, aproximando-os de sua realidade.
Conteúdos trabalhados	Organela cloroplasto e sua organização; Processo Fotossintético (Etapa Fotoquímica, Fotofosforilação e Ciclo de Calvin-Benson).
Duração estimada	6 meses para a confecção dos modelos e 2 meses para aplicá-los nas escolas e realizar a análise dos dados, totalizando 8 meses de duração.
Materiais usados	Avaliações pré-teste e pós-teste, uma planta, quadro e materiais didáticos interativos.

1 Introdução

A fotossíntese é um processo em que os organismos clorofilados na presença de luz solar, água e gás carbônico, liberam oxigênio e produzem carboidratos, fundamentais para manutenção das diversas formas de vida [1]. O aprendizado desse tema é fundamental para compreensão dos fenômenos biológicos, pois possibilita ao estudante uma visão abrangente dos mecanismos e dos ciclos de vida dos seres vivos, composição das células vegetais, aquecimento global, bem como, relações de cadeia alimentar.

Apesar da sua relevância, muitos estudantes demonstram dificuldades na aprendizagem do conteúdo fotossíntese, apresentando inúmeras concepções sobre esse tema, diferentes das aceitas pela comunidade científica [2]. Muitos não compreendem como a água e a luz solar são utilizados na produção de açúcares, não discernem a fotossíntese da respiração e, acreditam que as plantas obtêm seu alimento do solo, não compreendendo o papel do dióxido de carbono na produtividade vegetal [3-4].

Essas diferentes interpretações são decorrentes, principalmente, do modelo de ensino descontextualizado e pautado na memorização dos conteúdos. Ausubel, Novak e Hanesian [5], demonstram que o estudante aprende um determinado conteúdo quando consegue relacioná-lo com sua vivência, sendo o conhecimento prévio fundamental na atribuição de significado no aprendizado. Desta forma, se os conhecimentos não são bem construídos junto aos estudantes, os mesmos, partindo de suas experiências, podem criar interpretações errôneas sobre os conteúdos apresentados em sala de aula. Por exemplo, muitos estudantes compreendem que a fotossíntese e a respiração são processos análogos, bem como o ato deglutir algo sendo absorvido posteriormente, os fazem acreditar que o alimento das plantas são nutrientes absorvidos do solo [6].

Aliada às dificuldades relacionadas ao modelo de ensino tradicional, os processos bioquímicos da fotossíntese requerem conhecimentos de outras disciplinas e abordam estruturas e processos que não se apresentam facilmente à observação, tornando-se o ensino abstrato ao estudante [7].

Neste sentido, torna-se de grande relevância o desenvolvimento de instrumentos metodológicos que permitem, de forma crítica e reflexiva, a construção de conhecimentos científicos. Considerando que muitas escolas brasileiras, especialmente as públicas, não contam com laboratórios e equipamentos especializados, o desenvolvimento de atividades experimentais simples aliadas ao uso de modelos didáticos, confeccionados com materiais de fácil acesso e baixo custo, tornam-se estratégias efetivas para aproximar o conteúdo exposto com a realidade [8].

As atividades experimentais, mesmo desenvolvidas no âmbito da sala de aula, são fundamentais no ensino de Biologia, pois estimulam o protagonismo dos estudantes, o desenvolvimento do olhar científico sobre os conteúdos abordados e os permitem relacionar a teoria com a prática. Neste contexto, os modelos didáticos viabilizam a experimentação, pois possibilitam a representação de conceitos/processos complexos de forma mais prazerosa e compreensível ao estudante, de forma que ao se apropriarem dos conhecimentos científicos são capazes de interpretar os fenômenos que ocorrem em seu cotidiano [9-10].

Desse modo, os impactos decorrentes dos modelos didáticos vão além dos aspectos visuais, sendo fundamentais no enriquecimento do processo de ensino e aprendizagem, ao permitirem a representação da realidade de forma esquematizada e intuitiva. Assim, estruturas que antes eram abstratas aos estudantes ou restritas ao livro didático tornam-se um objeto real que pode ser visualizado e tocado. Logo, a modelização de conhecimentos científicos em uma linguagem acessível aos estudantes desperta a curiosidade e o envolvimento dos mesmos para com o querer aprender [11-12].

Diante do exposto, esse trabalho teve por objetivo desenvolver e aplicar modelos didáticos interativos para estudantes do ensino médio, de modo a auxiliá-los no conhecimento do processo fotossintético. Ainda, apresenta uma proposta de modelos didáticos de baixo custo, que apesar da riqueza de detalhes, podem ser replicados ou adaptados para a realidade das diferentes escolas.

2 Percursos Metodológicos

2.1 Confeção dos modelos didáticos

Para o desenvolvimento dos modelos didáticos foi realizada revisão do conteúdo de fotossíntese em livros de biologia voltados ao ensino médio e análise das suas ilustrações, buscando a partir dessas informações elaborar modelos didáticos próprios que facilitassem a visualização e compreensão do processo fotossintético.

Os modelos didáticos foram confeccionados empregando materiais de baixo custo e fácil acesso, sendo utilizadas folhas de papel, bolas de isopor, palitos de madeira, tintas para artesanato, folhas de madeirite, papelão, folhas de isopor e fios de *nylon*.

Inicialmente foi desenvolvido um modelo em isopor representando o cloroplasto e as estruturas que o compõem: estroma (verde-claro) e os tilacóides (verde-escuro) (Figura 1A). O escopo deste modelo foi permitir aos estudantes compreender a estrutura dessa organela fotossintética, bem como visualizar onde se processam as etapas da

fotossíntese. Além disso, esse modelo teve por finalidade auxiliar na compreensão dos demais modelos didáticos desenvolvidos, de forma que o estudante tivesse primeiro o contato com a estrutura mais ampla, o cloroplasto, e posteriormente as estruturas e processos bioquímicos que ocorrem no interior desta organela, estabelecendo uma sequência favorável ao aprendizado.

Os processos bioquímicos da fotossíntese foram representados por três modelos didáticos, as quais se seguem: Etapa Fotoquímica, incluindo a Fotofosforilação e o Ciclo de Calvin-Benson. Os modelos foram desenvolvidos visando permitir ao professor explicar de forma simples e dinâmica esse conteúdo, considerado complexo.

O modelo da Etapa Fotoquímica foi confeccionado em madeirite, representando os fotossistemas I e II (FSI e FSII), o complexo de fotólise da água e os componentes da cadeia de transporte de elétrons (Figura 1B). Os fotossistemas apresentam um designer que se afunila de cima para baixo, através desse designer objetivou fazer analogia às antenas de televisão e rádio, possuindo a região superior mais larga para captar energia e direcioná-la para um ponto específico. Assim, no modelo didático o complexo antena (CA) capta a energia solar e a direciona para o centro de reação (CR).

No CA foram suspensas por fios de nylon, bolinhas verdes e laranjas, representando os pigmentos clorofila e carotenóides, respectivamente. O CR, local onde se encontram o par de clorofilas *a* especiais, foi representado por uma bola de isopor verde de maior dimensão, já que essas clorofilas funcionam como uma unidade, estando eletronicamente acopladas. Foi dado um maior destaque a esta clorofila, pois ao ser excitada pela luz, ela libera elétrons que irão caminhar por toda cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese.

Próximo ao FSII foi inserida uma placa de madeirite com o escrito " H_2O " e no outro verso foram introduzidas placas adaptadas a um palito de madeira escrito " O_2 " e outra representando um raio. Esse sistema foi elaborado para explicar o processo de fotólise da água (H_2O). Entre os fotossistemas e após o FSI, foram dispostas placas representando as moléculas envolvidas na cadeia de transporte de elétrons: aceptores primários, plastoquinonas, complexo citocromo *b6f*, plastocianina, ferredoxina e a enzima NADP^+ redutase. Com a finalidade de simular a passagem de elétrons de uma molécula à outra foi utilizado um sistema usando palitos de madeira com a inserção da letra "e". Os palitos ficaram conectados ao modelo por tarraxas, de modo que os mesmos ficavam ocultos e só apareciam quando era demonstrada a passagem dos elétrons de uma molécula a outra.

O processo de Fotofosforilação foi representado por um modelo do complexo enzimático ATP sintase confeccionado em papelão, evidenciando as regiões CFO e CF1 (Figura 1C). Os produtos da primeira etapa da fotossíntese (oxigênio (O_2), nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato reduzida (NADPH) e adenosina trifosfato (ATP)) foram representados por placas adaptadas a palitos de madeira que se encontravam ocultos atrás dos modelos e eram movimentadas à medida que ocorria a explicação.

O Ciclo de Calvin-Benson foi confeccionado em madeirite no formato de uma roleta, que girava manualmente representando a entrada de CO_2 e conseqüentemente, um ciclo de transformações químicas. Uma placa escrita “açúcar” foi inserida atrás no modelo, de forma que fosse liberada ao final de cada ciclo (Figura 1D).

Figura 1. Cloroplasto e sua organização, em verde escuro os tilacoides (Til.) e em verde claro o estroma (Est.) (A); Etapa fotoquímica da fotossíntese: Fotossistemas I e II (FSI e FSII) com seus respectivos complexos antena (CA) e centros de reação (CR); complexo de fotólise da água; cadeia de transporte de elétrons (B). Complexo enzimático ATP sintase com suas regiões CF1 e CF0 e o fluxo de prótons através desse complexo (C); Ciclo de Calvin-Benson (D).

2.2 Aplicação dos modelos didáticos

2.2.1. Metodologia de aplicação e público-alvo

Os modelos didáticos foram apresentados para 50 estudantes (A1 a A50) do 1º ano do Ensino Médio de duas escolas da rede estadual de ensino no município de Juiz de Fora-MG. O desenvolvimento da pesquisa seguiu o planejamento dos professores de Biologia das escolas contempladas, sendo realizada a apresentação dos modelos didáticos uma semana após os professores lecionarem o conteúdo de fotossíntese em suas aulas. Como parte do projeto, foi solicitado aos professores que, após terem ministrado o conteúdo, aplicassem um pré-teste para verificar o aprendizado dos estudantes a partir de uma aula expositiva e fornecer subsídios para quais conceitos enfatizar durante a explicação dos modelos didáticos. O pré-teste consistiu nas seguintes perguntas:

- 1- Explique o que você sabe sobre a fotossíntese.**
- 2- Como as folhas conseguem captar a luz solar durante a fotossíntese?**
- 3- Qual etapa da fotossíntese o açúcar é formado? Qual a sua importância?**
- 4- Como as plantas conseguem liberar oxigênio para a atmosfera durante a fotossíntese?**

Decorrida uma semana após a aula ser ministrada, foram aplicados os modelos didáticos desenvolvidos. A aplicação dos modelos seguiu um planejamento de forma que o estudante visualizasse inicialmente uma estrutura ampla (planta) e a partir dela fosse conhecendo as estruturas microscópicas, o cloroplasto e posteriormente os processos bioquímicos que nele se processam (Figura 2). Segundo Ausubel, Novak, Hanesian [5], para que se tenha à aquisição significativa do conhecimento, o mesmo deve ser organizado de forma hierárquica, sempre partindo do macro para o micro.

Figura 2. Sequência utilizada para abordar o tema fotossíntese utilizando os modelos didáticos confeccionados.

2.2.2. Cloroplasto

A explicação do processo fotossintético iniciou-se a partir da demonstração de uma planta e a seguir foi perguntando aos estudantes qual processo importante aquele organismo realizava. A maioria respondeu prontamente que era a fotossíntese e logo após foi escrita a equação geral da fotossíntese do quadro:

Posteriormente foi questionado aos estudantes como ocorrem a formação e consumo de todos aqueles elementos presentes na equação, ou seja, como a luz é utilizada, o açúcar é formado, o O₂ é liberado, o gás carbônico (CO₂) é incorporado e como a clorofila e a água atuam no processo.

A partir desse questionamento iniciou-se a explicação dos modelos didáticos. Inicialmente foi demonstrado o modelo do cloroplasto para explicar que se tratava de uma organela presente apenas na célula vegetal (Figura 1A). Assim, foi apresentado aos estudantes a estrutura desta organela, que apresenta um espaço preenchido por líquido denominado estroma (representado em verde claro) e um sistema de membranas, que se organizam em estruturas conhecidas como tilacoides. Por meio desse modelo didático foi demonstrado que a primeira fase da fotossíntese (etapa fotoquímica) ocorre na membrana dos tilacoides, enquanto a etapa do Ciclo de Calvin-Benson se processa no estroma.

2.2.3. Etapa Fotoquímica

A partir da equação geral da fotossíntese, foi esclarecido aos estudantes que a etapa fotoquímica seria o momento do processo fotossintético que atuariam diretamente a luz solar, o pigmento clorofila, a molécula de água seria utilizada e o O₂ liberado para a atmosfera.

Para simular a luz solar, foi acesa uma lâmpada sobre um suporte de madeira acima do FSII. Assim, foi demonstrada que a luz era absorvida pelos pigmentos do complexo antena (CA), que é uma estrutura formada por pigmentos clorofilas (bolinhas verdes) e carotenóides (bolinhas laranjas). Neste momento, foi feita uma analogia do CA com as antenas parabólicas, de modo que estas antenas estariam presentes no cloroplasto, mas ao invés de captar ondas da TV iriam captar a energia do sol. Desta forma, ao ser ligada a fonte de luz, foram movimentados manualmente as bolinhas de isopor do CA para simular a vibração destas moléculas ao receberem energia e a transferência dessa energia ao longo dos pigmentos do CA até chegar no par de clorofilas

a especiais (P680), presentes no centro de reação (CR) (Figura 1B).

Essas clorofilas do CR ao receberem energia tornam-se excitadas, liberando elétrons que são transferidos ao longo da cadeia de transporte de elétrons. A excitação das clorofilas P680 foi demonstrada através da movimentação manual dessas, que se encontravam suspensas em fio de *nylon*.

A demonstração da transferência de elétrons do CR para as demais moléculas foi realizada com o movimento manual de palitos de madeira contendo a letra “e”, que partiam de uma molécula em direção a outra. Assim, os estudantes visualizaram a transferência de elétrons do CR para os aceptores primários, plastoquinonas, complexo citocromo b6f, plastocianina e finalmente o FSI.

Além disso, foi explicado aos estudantes que ao receber energia e perder elétrons, as clorofilas do CR precisam repor esses elétrons perdidos. Assim, foi demonstrado que essa reposição ocorre devido ao processo de fotólise da água, em que são liberados o O₂ e elétrons. Esse processo foi demonstrado pela movimentação de um palito com o desenho de um raio sobre a placa escrita “H₂O”, que se encontrava ao lado do FSII. Quando o raio ficava sobre a H₂O, simulando a quebra desta molécula, outro palito que estava escondido foi movimentado aparecendo a escrita “O₂”, simulando a sua liberação para a atmosfera.

Também foi apresentado aos estudantes que a hidrólise da água juntamente com o processo de redução da plastoquinona desencadeava o movimento de prótons (H⁺) para o lúmen dos tilacóides.

Finalmente, foi exposto que o FSI também recebe a energia solar desencadeando os mesmos processos que ocorrem no FSII. Entretanto, os elétrons perdidos pelo par de clorofilas (P700) do CR do FSI são transferidos para aceptores primários, destes para ferredoxina e finalmente chegavam até oceptor final de elétrons, o NADP⁺, reduzindo-o a NADPH, molécula fundamental na próxima etapa da fotossíntese. Para simular a formação desta molécula um palito escondido atrás do modelo com a escrita “NADPH” foi movimentado ficando visível ao estudante.

2.2.4. Fotofosforilação

A fotofosforilação acíclica, síntese de ATP na fotossíntese envolvendo os FSI e FSII, foram demonstradas após a explicação da etapa fotoquímica, utilizando o modelo didático do complexo ATP sintase (Figura 1C). Foi demonstrado que os H⁺ acumulados no lúmen dos tilacóides, devido a hidrólise da água e redução da plastoquinona, tendem a

retornar para o estroma do cloroplasto a favor de seu gradiente de concentração. Assim, realizou-se o movimento de H^+ ligados a um fio de *nylon* pela ATP sintase e foi demonstrado que esse fluxo permitia a região CF1 movimentar formando o ATP. Nesse momento foi erguida uma plaquinha escrita “ATP” que se encontrava escondida no modelo, simulando sua formação.

Foi esclarecido aos estudantes que a fotofosforilação pode ocorrer de forma cíclica, envolvendo somente o FSI, assim os elétrons da clorofila do CR são transferidos para ferredoxina, que ao invés de os transferir para o $NADP^+$, os transfere para o citocromo b_6f , retornando à clorofila do FSI.

Ao final da explicação desse modelo, foi possível esclarecer aos estudantes como é liberado o O_2 para a atmosfera, como ocorre a formação do ATP, a importância da presença de luz e pigmentos fotossintéticos e também a utilização da H_2O nesse processo.

2.2.5. Ciclo de Calvin-Benson

Referenciando a equação geral da fotossíntese foi apresentado aos estudantes que a segunda etapa da fotossíntese, Ciclo de Calvin-Benson, era o momento em que o CO_2 seria utilizado e ocorreria a síntese de açúcar. Através do modelo didático do cloroplasto, foi exposto que essa etapa ocorre na região do estroma (Figura 1A).

Foi demonstrado aos estudantes que o Ciclo é iniciado com a fixação do CO_2 à molécula de ribulose-1,5-bifosfato, dando prosseguimento a um ciclo de transformações químicas. Foram erguidas plaquinhas com os dizeres “NADPH” e “ATP”, indicando que esses produtos formados na etapa anterior são utilizados no Ciclo, demonstrando que essas etapas estão diretamente interligadas.

O modelo didático do Ciclo de Calvin-Benson foi desenvolvido no formato de uma roleta, que manualmente girava simulando um ciclo de transformações químicas e ao final do giro uma placa escrita “açúcar”, que se encontrava escondida atrás do modelo, era liberada simulando a formação dos carboidratos. Desta forma, foi explicando aos estudantes que a fotossíntese é o processo que a “planta produz seu próprio alimento”, porque esses carboidratos seriam utilizados para sua nutrição e também como fonte energética para os demais seres vivos através da cadeia alimentar.

Ao final da apresentação dos modelos didáticos retornou-se à equação geral da fotossíntese para que os estudantes pudessem lembrar como cada componente estava envolvido no processo fotossintético e a sua importância.

Para verificar o processo de aprendizado através dos modelos didáticos, foi aplicado um pós-teste com as mesmas perguntas do pré-teste. Além disso, foi solicitado aos estudantes que respondessem uma pergunta para verificar a opinião dos mesmos em relação à metodologia aplicada:

Você conseguiu aprender melhor o processo fotossintético através desses modelos?

Os estudantes poderiam marcar a opção “sim” ou “não” e havia um local para deixar comentários sobre a atividade.

3 Resultados e Discussão

A primeira questão do pré e pós-teste solicitava aos estudantes que explicassem o seu entendimento sobre o processo fotossintético. Os resultados demonstraram que 68% apresentavam conhecimentos prévios satisfatórios sobre esse tema, em que relataram a importância da fotossíntese na formação de matéria orgânica e no enriquecimento de oxigênio para a atmosfera (Quadro 1 e Figura 3A).

Entretanto, as respostas apresentadas não evidenciaram entendimento bioquímico do processo fotossintético e a sua importância ecológica para a manutenção da cadeia alimentar. Alguns estudantes apontaram que a fotossíntese era um processo importante para os seres vivos, mas não souberam explicar essa relevância, por isso as respostas foram consideradas parcialmente satisfatórias.

Aproximadamente 18% das respostas avaliadas, revelaram interpretações errôneas sobre a fotossíntese, sendo destacada a dificuldade dos estudantes em discriminar o processo fotossintético da respiração (Quadro 1 e Figura 3A). Bianchi e Melo [13] relatam que muitos acreditam que as plantas não respiram, apenas fazem fotossíntese ou que a fotossíntese é um processo que a planta realiza durante o dia e a respiração à noite. Segundo esses autores, os estudantes constroem a associação que é mais significativa para eles, baseando em seus conhecimentos prévios e experiências. Assim a sua vivência com o ato de respirar o faz acreditar que a fotossíntese e a respiração sejam processos sinônimos, uma vez que ambos envolvem trocas gasosas.

A aula expositiva, unicamente, não garantiu a compreensão do processo de absorção de luz pelas plantas, o que foi constatado através das respostas referentes à segunda pergunta do pré-teste. Apenas 22% dos estudantes responderam que a absorção de luz pelas folhas ocorria por meio de pigmentos, sendo citado somente o papel da clorofila nesse processo, enquanto 58% apresentaram as folhas, células e os

cloroplastos como os componentes responsáveis por esse processo, demonstrando dificuldades para compreendê-lo a nível bioquímico (Quadro 2 e Figura 3B).

De forma geral, os estudantes apresentam dificuldades no entendimento das estruturas e processos bioquímicos, relatando que são conteúdos complexos e de pouca aplicação no cotidiano. Essas limitações estão relacionadas a dificuldade em abstrair e imaginar os fenômenos moleculares, visto que eles não podem ser visualizados. Além disso, no ensino médio a bioquímica é abordada de forma superficial e descontextualizada, sendo que os próprios livros didáticos apresentam poucos exemplos práticos nessa temática [14-15].

Quadro 1. Respostas selecionadas de alguns estudantes participantes da pesquisa, referentes à primeira pergunta do pré-teste e do pós-teste e suas respectivas avaliações.

Pergunta	Testes	Respostas destacadas dos estudantes	Avaliação
1º Explique o que você sabe sobre fotossíntese.	Pré-teste	A3; A5; A9; A12; A14; A16; A22; A23; A31; A36; A40; A48: <i>“É um processo de produção de açúcar e oxigênio na presença de luz”</i>	Satisfatória
		A1; A11; A20; A34: <i>“É um processo importante para os seres vivos”</i>	Parcialmente Satisfatória
		A2; A7; A21; A32; A43: <i>“É um processo de respiração das plantas”</i> A28: <i>“Fotossíntese é formada pela união de glicose e oxigênio na presença de luz”</i>	Não Satisfatória
	Pós-teste	A12: <i>“É um processo em que o complexo antena absorve luz e com isso há quebra da água, liberando oxigênio para atmosfera e no Ciclo o CO₂ passa por reações para formar o açúcar”</i>	Satisfatória
		A27: <i>“A fotossíntese é o processo que ocorre em duas etapas, na primeira absorve luz pelos pigmentos (bolinhas laranjas e verdes) e na segunda junto com o O₂, CO₂ e ATP produz açúcar.”</i>	Parcialmente Satisfatória

Quadro 2. Respostas selecionadas de alguns estudantes participantes da pesquisa, referentes à segunda pergunta do pré-teste e do pós-teste e suas respectivas avaliações.

Pergunta	Testes	Respostas destacadas dos estudantes	Avaliação
2º Como as folhas conseguem captar a luz solar durante a fotossíntese?	Pré-teste	A3; A8; A11; A13; A16; A22; A26; A35; A36; A43; A48: <i>“A luz é absorvida pela clorofila”</i>	Satisfatória
		A1; A9; A23: <i>“A luz é absorvida pelo cloroplasto da folha”</i>	Parcialmente Satisfatória
		A7: <i>“Ocorre quando a luz passa nas células”</i> A42: <i>“Ocorre através da síntese de ATP e NADPH”</i>	Não Satisfatória
	Pós-teste	A6: <i>“A luz é absorvida pelo complexo antena. Ele apresenta clorofilas e pigmentos laranjas que absorvem luz solar e transfere energia para as clorofilas especiais”</i>	Satisfatória

A terceira pergunta do pré-teste tinha por finalidade verificar a compreensão dos

estudantes sobre o Ciclo de Calvin-Benson e suas percepções a respeito da importância da síntese de açúcares neste Ciclo. Somente 14% das respostas analisadas apresentaram que a produção de açúcares ocorre na segunda etapa da fotossíntese e que se tratava de um processo importante para nutrição vegetal. Foram consideradas não satisfatórias 10% das respostas, pois revelaram confusão quanto aos reagentes e produtos da fotossíntese, dificuldades quanto a localização do processo a nível bioquímico e de órgão vegetal e limitações na compreensão da síntese de açúcares a partir do CO_2 (Quadro 3 e Figura 3C).

Apesar da maioria dos estudantes relatarem que a fotossíntese é o processo em que a planta “produz seu próprio alimento”, muitos não compreendem o que seria e como é formado esse alimento. Segundo Barker [16], para muitos estudantes é mais coerente que o alimento das plantas seja absorvido do solo, pelas raízes, em virtude da dificuldade em compreender que um gás, como o CO_2 , possa produzir um alimento sólido, o açúcar.

É amplamente conhecido pelos estudantes que o O_2 é um produto essencial da fotossíntese. Entretanto, a análise da quarta pergunta do pré-teste demonstrou que apenas 38% dos estudantes, tinham a compreensão de que o O_2 era produzido a partir da hidrólise da molécula de H_2O . E aproximadamente 8% apresentaram conceitos errôneos sobre esse processo, relacionando a origem do O_2 a partir do CO_2 (Quadro 4 e Figura 3D).

Quadro 3. Respostas selecionadas de alguns estudantes participantes da pesquisa, referentes à terceira pergunta do pré-teste e do pós-teste e suas respectivas avaliações.

Pergunta	Testes	Respostas destacadas dos estudantes	Avaliação
3º Qual etapa da fotossíntese o açúcar é formado? Qual a sua importância?	Pré-teste	A3; A16; A17; A23; A43; A48: “O açúcar é alimento das plantas e é formado na etapa escura”	Satisfatória
		A5: “Ele é energia para planta e é formando nas folhas”	Parcialmente Satisfatória
		A7: “A formação do açúcar ocorre através da glicose, CO_2 e H_2O ”	Não Satisfatória
		A4; A11: “O açúcar é formado na segunda etapa pelos nutrientes absorvidos no solo”	
	Pós-teste	A36: “No Ciclo de Calvin a planta pega o CO_2 da atmosfera e produz açúcar. O açúcar é energia para planta e outros seres vivos”	Satisfatória
		A37: “No Ciclo de Calvin que está no estroma do cloroplasto e é onde a planta produz açúcar para se alimentar”	
		A20: “Na etapa do Ciclo. É importante para produzir açúcar pra ela e ATP através da passagem dos H^+ ”	Parcialmente Satisfatória
		A29: “Nas duas etapas e produz alimento”	Não Satisfatória

Quadro 4. Respostas selecionadas de alguns estudantes participantes da pesquisa, referentes à quarta

pergunta do pré-teste e do pós-teste e suas respectivas avaliações.

Pergunta	Testes	Respostas destacadas dos estudantes	Avaliação
4º Como as plantas conseguem liberar oxigênio para a atmosfera, durante a fotossíntese?	Pré-teste	A1; A3; A6; A13; A22; A23; A31; A43; A48: <i>"O oxigênio é liberado na fotossíntese a partir da quebra da água"</i>	Satisfatória
		A7; A21: <i>"É produzido na fotossíntese, sendo importante para respiração de seres vivos".</i>	Parcialmente Satisfatória
		A19: <i>"É formado por uma queima, onde gás carbônico fica dentro da planta e o oxigênio sai"</i>	Não Satisfatória
	Pós-teste	A3: <i>"A clorofila quando perde elétrons fica instável, aí a molécula de água quebra e doa seus elétrons para a clorofila e libera oxigênio que respiramos"</i>	Satisfatória
		A5; A11; A18: <i>"Através da etapa fotoquímica"</i>	Parcialmente Satisfatória
		A2: <i>"A partir das trocas gasosas"</i>	Não Satisfatória

Muitas respostas apresentadas nesse estudo revelaram que os conhecimentos dos estudantes a respeito da fotossíntese eram frases e terminologias memorizadas, sem a compreensão do seu real significado, o que os levavam a utilizá-las de forma equivocada (Quadros 1, 2, 3 e 4). Segundo Zômpero e Laburú [17], o estudante só consegue aprender um conteúdo quando lhe atribui significado, aplicando-o a sua vivência. Caso isso não ocorra, o mesmo irá apenas memorizar conceitos e apresentará dificuldades para transpor os conhecimentos adquiridos para outros contextos.

Entretanto, após a aplicação dos modelos didáticos, foi observado que as respostas foram positivas em relação a avaliação inicial, sendo verificadas 85%, 96%, 74% e 84% de respostas satisfatórias para a primeira, segunda, terceira e quarta pergunta, respectivamente (Figura 3A, 3B, 3C e 3D). As respostas foram mais abrangentes e demonstraram compreensão do processo fotossintético a nível bioquímico. A maioria dos estudantes centralizaram suas respostas na etapa fotoquímica, possivelmente por ser o modelo mais dinâmico apresentado (Quadros 1, 2, 3 e 4).

Todos os estudantes identificaram a importância do CA na absorção de luz solar, evidenciando que esse modelo foi eficiente na compreensão desse processo (Figura 3B). Alguns fizeram analogia do CA as antenas de rádio e televisão, que era um dos objetivos do modelo didático. Esse tipo de associação é satisfatório na aprendizagem, pois ao reduzir o distanciamento entre o abstrato e o real, o conteúdo pode se tornar mais interessante para o estudante.

Apesar da avaliação pós-teste apresentar respostas não satisfatórias, a sua incidência foi inferior ao observado no pré-teste. Algumas interpretações errôneas sobre a

fotossíntese, como a origem do O_2 a partir do CO_2 e a utilização de nutrientes do solo para a produção de açúcares, foram pouco frequentes.

Além do ganho de aprendizado, foi verificada uma redução no percentual de estudantes que não responderam as perguntas no pós-teste, indicando que os mesmos se sentiram mais confiantes em relação ao conteúdo após a atividade desenvolvida. Liesenfeld et al. [18] observaram, também, resultados satisfatórios em relação ao uso de modelos didáticos para o ensino de fotossíntese. Segundo Silva e Catelli [12], os modelos didáticos são imprescindíveis no ensino de ciências, pois sem os mesmos a realidade fica mais complexa e inacessível. Assim afirmam que a modelização criativa, intuitiva e embasada em um modelo teórico, torna-se uma metodologia propulsora para a educação científica escolar.

Figura 3. Avaliação das respostas dos estudantes em relação à primeira (A), segunda (B), terceira (C) e quarta pergunta (D) do pré-teste (■) e do pós-teste (■). Foram consideradas respostas parcialmente satisfatórias aquelas em que os estudantes respondiam corretamente apenas uma parte da questão ou que apresentavam os conceitos de forma vaga, sem aprofundar na temática da pergunta.

Por meio da pesquisa de opinião, 92% dos estudantes afirmaram que uso dos modelos didáticos auxiliaram na compreensão do conteúdo (Figura 4). Alguns estudantes deixaram comentários positivos sobre a atividade realizada, como destacado nas falas a seguir:

A6: “Achei legal! Podíamos ter modelos assim para todas matérias”

A20: “Gostei da fotossíntese! Estou achando as plantas até mais legais”

Na última frase destacada, é notório que o estudante não se interessava pelo estudo das plantas até a aplicação dos modelos didáticos. O ensino de botânica em suas diversas dimensões é de grande relevância, pois apresenta ampla aplicação no cotidiano, se relacionando a aspectos ambientais, médicos e culturais. No entanto, muitos estudantes apresentam desinteresse por essa temática, por se tratar de organismos que apresentam pouca interação com homem e ainda, pelo ensino, na maioria das vezes, ser abordado de forma descontextualizada e com foco na memorização de nomenclaturas. Resultando no pouco interesse dos estudantes em relação a importância das plantas em seu cotidiano, a chamada “cegueira botânica” [19].

Além disso, Balas e Momse [20] relatam que o ensino de botânica é negligenciando não somente por alunos, mas também por professores e livros didáticos, em que geralmente o conteúdo é centralizado na zoologia. As dificuldades tornam-se maiores em relação a fisiologia vegetal, pois além do objeto de estudo ser um organismo que pouco desperta o interesse dos estudantes, o seu aprendizado exige abstração para compreensão dos processos bioquímicos que não podem ser visualizados.

Diversos recursos podem ser empregados para tornar a aprendizagem em Botânica, especialmente em fisiologia vegetal, mais prazerosa, sendo que a experimentação é relatada como uma metodologia fundamental para que o estudante possa atuar ativamente na construção dos conhecimentos e refletir sobre a importância das plantas para o ambiente [21]. Assim, é preciso observar, com outro olhar, os espaços disponíveis na escola, como a própria sala de aula e os demais ambientes (horta, jardim, cozinha, e etc.). Espaços esses que fazem parte do cotidiano dos estudantes e que são propícios ao aprendizado a partir de experimentos simples, que não requerem materiais especializados.

Resultados positivos foram encontrados na literatura ao utilizar um experimento simples de liberação de oxigênio por ramos de *Elodea sp* para explicação do processo fotossintético [22-24]. Neste contexto, os modelos didáticos apresentados nesse estudo, podem ser utilizados pelo professor como um recurso associado às atividades práticas, uma vez que permitem que os estudantes aproximem efetivamente dos conhecimentos científicos e possam associá-los com sua vivência. Assim, no contexto do experimento com a planta *Elodea sp*, o estudante ao compreender de forma realista o processo bioquímico de absorção da luz solar e fotólise da água, conseguirá ter subsídios para interpretar mais facilmente a liberação de oxigênio por essas plantas durante o

experimento.

Desta forma, o uso de modelos didáticos dinâmicos aliados a atividades contextualizadas e investigativas são fundamentais para estimular o envolvimento dos estudantes para compreensão do universo molecular das plantas.

Figura 4. Opinião dos estudantes sobre o auxílio dos modelos didáticos no aprendizado do conteúdo de fotossíntese.

4 Considerações Finais

Através desse estudo foi observado que muitos estudantes apresentavam conhecimentos superficiais sobre a fotossíntese e interpretações distintas das aceitas pela comunidade científica. A análise do pré-teste forneceu indícios de que essas dificuldades possam estar relacionadas ao ensino conteudista, baseado na memorização mecânica dos conteúdos. Muitos estudantes conheciam as terminologias envolvidas no processo fotossintético, mas as aplicavam de forma errônea, demonstrando pouca compreensão quanto ao real significado desse processo e sua aplicação no cotidiano.

Além disso, o ensino de fotossíntese requer abstração dos estudantes para compreensão dos processos bioquímicos. Neste contexto, os modelos didáticos interativos proporcionaram aos estudantes materializar estruturas que antes estavam restritas ao seu imaginário ou relacionadas as ilustrações de livros. Assim, essa atividade demonstrou auxiliar no ganho de aprendizado, evidenciados pelo incremento de respostas satisfatórias e avaliação positiva dos estudantes em relação aos modelos didáticos desenvolvidos. Muitos relataram que gostariam de atividades similares para outros conteúdos e disciplinas, evidenciando que esse tipo de abordagem desperta o interesse dos mesmos.

É importante ressaltar que o professor apresenta papel central para que os modelos didáticos possam ser efetivos no processo de ensino e aprendizagem. É necessário que o mesmo identifique as concepções prévias, interpretações e dificuldades dos estudantes em relação ao conteúdo, para que possa ter subsídios sobre quais

conhecimentos científicos enfatizar durante sua abordagem, buscando superar possíveis barreiras no aprendizado do conteúdo.

A sociedade contemporânea é marcada pelo acelerado avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), de forma que muitos estudantes já apresentam contato com as TICs desde a primeira infância. Desta forma, trabalhos futuros visando o desenvolvimento de modelos didáticos interativos que envolvam tecnologias, principalmente àquelas de baixo custo e fácil manipulação, tornam-se de grande relevância para aproximar o ensino da vivência dos estudantes.

Referências

- [1] Taiz L, Zeiger E. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed; 2017.
- [2] Lumpe AT, Staver JR. Peer collaboration and concept development: Learning about photosynthesis. J. Res. Sci. Teach. 1995; 32(1): 71-98.
- [3] Wandersee JH. Students' misconceptions about photosynthesis: A across-age study. Proceedings of the International Seminar on Misconception in Science and Mathematics. New York: Ithaca; 1983.
- [4] Souza SCD, Almeida MJPM. A fotossíntese no ensino fundamental: compreendendo as interpretações dos alunos. Ciênc. Educ. (Bauru) 2002; 8(1): 97-111.
- [5] Ausubel DP, Novak JD, Hanesian H. Educational psychology: A cognitive view. 1. ed. New York: Holt, Rinehart e Winston; 1968.
- [6] Trazzi PSDS, Oliveira IMD. O processo de apropriação dos conceitos de fotossíntese e respiração celular por alunos em aulas de biologia. Ens. Pesq. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte) 2016; 18(1): 85-106.
- [7] Gomes LMDJB. A história do jogo "Fotossíntese e Respiração Aeróbica - vamos quebrar a cabeça?". Rev. Form. Prat. Docen. 2016; (1).
- [8] Kunz RI, Natali MRM, Torquato EFB, Ribeiro LDFC, Della Justina LA, Brancalhão RMC. Proposta didática no ensino integrado da morfologia: células e tecido ósseo. Exp. Ens. Ciênc. 2017; 12(2): 38-52.
- [9] Cavalcante DD, Silva AD. Modelos didáticos de professores: concepções de ensino-aprendizagem e experimentação. In Anais do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química; 21 a 24 de julho de 2008., Curitiba-PR.
- [10] Orlando TC, Lima AR, da Silva AM, Fuzissaki CN, Ramos CL, Machado D, Barbosa VC. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de Biologia Celular e Molecular no Ensino Médio por graduandos de Ciências Biológicas. Rev. Ens. Bioq. 2009; 7(1): 1-17.
- [11] de Sousa Silva ST, de Souza Teixeira RR, Cardoso RHF, Carvalho RCS, da Silva Santos JV, de Araujo Veloso VD. Reflexões sobre o ensino de química e a confecção de modelos atômicos com matérias reaproveitáveis como prática pedagógica. Rev. Dest. Acad. 2020; 11(4).
- [12] Silva FSD, Catelli F. Os modelos no Ensino de Ciências: Reações de estudantes ao utilizar um objeto-modelo mecânico concreto analógico didático (OMMCAD). Rev. Bras. Ens. Fis. 2020; 42.
- [13] Bianchi CS, Melo WV. Compreendendo o modo de vida autótrofo: concepções de alunos sobre a fotossíntese. Exp. Ens. Ciênc. 2015; 10(1): 1-14.

- [14] Heidrich DN, Angotti JAP. Implantação e avaliação de ensino semipresencial em disciplinas de bioquímica utilizando ambiente virtual de aprendizagem. *Rev. Ens. Bioq.* 2010; 8(1): 45-58.
- [15] Solner TB, Fernandes LDS, Peixoto SC, Fantinel, L. O ensino de Bioquímica no Brasil: um olhar para a educação básica. *Rev. Deb. Ens. Quim.* 2019; 5(2): 126-137.
- [16] Barker M. A plant is an animal standing on its head. *J. Biol. Educ.* 1995; 29(3): 201-208.
- [17] de Freitas Zompero A, Laburú CE. Significados de fotossíntese produzidos por alunos do ensino fundamental a partir de conexões estabelecidas entre atividade investigativa e multimodos de representação. *Rev. Electrón. Enseñ. Ciênc.* 2014; 13(3).
- [18] Liesenfeld V, Arfelli VC, da Silva TM, de Oliveira JMP. Fotossíntese: utilização de um modelo didático interativo para o processo de ensino e aprendizagem. *Rev. Ens. Bioq.* 2015; 13(1): 9-26.
- [19] Ursi S, Barbosa PP, Sano PT, Berchez FADS. Ensino de Botânica: conhecimento e encantamento na educação científica. *Estud. Av.* 2018; 32(94): 7-24.
- [20] Balas B, Momsen JL. Attention “blinks” Differently for Plants and Animals. *Life. Sci. Educ.* 2014; 13: 437-443.
- [21] Barbosa MDCP, dos Santos JWM, da Silva FCL, Guilherme BC. O ensino de botânica por meio de sequência didática: uma experiência no ensino de ciências com aulas práticas. *Braz. J. Dev.* 2020; 6(7): 45105-45122.
- [22] Dias LDCD, Moreira B, de Almeida NG, Brugiolo SSS, de Sousa BM. A utilização de experiências científicas como ferramenta para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem de fotossíntese. *Cad. Pedag.* 2014; 7(13).
- [23] Dimov LF, Pechliye MM, De Jesus RC. Caracterização ontológica do conceito de fotossíntese e obstáculos epistemológicos e ontológicos relacionados com o ensino deste conceito. *Inves. Ens. Ciênc.* 2016; 19(1): 7-28.
- [24] De Carvalho JSB, Mendonça CAS, de Lima LD. Relato de uma experiência de ensino sobre fotossíntese fundamentada na Teoria Ausubeliana. *Educ. Trans.* 2017; 2(1): 79-93.