



Metodologia da sala de aula invertida como estratégia para o ensino da fotossíntese

Flipped classroom as a strategy for active learning of photosynthesis

Angelo Luiz Cortelazzo* & Luciana Bolsoni Lourenço

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Departamento de Biologia Estrutural e Funcional, Instituto de Biologia

*alcortelazzo@gmail.com

Resumo

Neste trabalho, foi utilizada a sala de aula invertida, uma metodologia ativa de aprendizagem (MAA), para abordar a etapa fotoquímica da fotossíntese (MAA) a alunos do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. No início da disciplina houve uma aula abordando o tema das MAA e sua importância para o processo de ensino-aprendizagem e, um mês depois, foram disponibilizados textos e vídeos sobre o assunto escolhido e, na semana seguinte, a discussão do assunto entre estudantes e professores, seguida de dramatização do fenômeno. Os resultados foram avaliados por questionário de preenchimento espontâneo pelos alunos e revelaram a importância das MAA no desenvolvimento de temas complexos. Nas discussões em sala de aula ficou evidente que o seu uso requer um grande envolvimento do professor, não só para motivar a realização das atividades anteriores à aula, mas também na condução das diferentes atividades em classe, na orientação geral e conclusão do trabalho.

Palavras-chave: *Sala de aula invertida; Metodologias ativas de aprendizagem; Fotossíntese.*

Abstract

In this work, was used the flipped classroom, an active learning methodology (ALM), to study the photochemical step of photosynthesis for teaching undergraduate students in Biological Sciences. Initially, was presented a lecture on ALM and its importance to the learning process. A month later, texts and videos about photosynthesis were made available to the students and one week later the subject was discussed by the students and teachers. This activity was followed by the dramatization of the phenomenon, which was guided by the teachers. The results were spontaneously evaluated by the students and revealed the importance of AML in the development of complex subjects. In classroom discussion it was evident that AML requires a great involvement of the teacher, not only to motivate the accomplishment of the activities before class, but also in conducting the class activities, discussions and in concluding the work.

Keywords: *Flipped classroom; Active learning; Photosynthesis*

Ficha da atividade desenvolvida

Título	Metodologia da sala de aula invertida como estratégia para o ensino da fotossíntese.
Público alvo	Professores da educação básica e superior, bem como alunos de cursos de licenciatura, especialmente da área de ciências (biológicas, naturais, químicas).
Disciplinas relacionadas	No ensino superior: Bioquímica, Biologia celular, Fisiologia vegetal, Métodos instrumentais para o ensino de biologia/química/bioquímica. No ensino médio: biologia, química e física. No ensino fundamental: Ciências.
Objetivos educacionais	Mostrar o potencial da “sala-de-aula-invertida” enquanto metodologia ativa de aprendizagem associada à dramatização para o entendimento de temas de alta complexidade e abstração.
Justificativa do uso	O tema da fotossíntese é considerado de difícil compreensão, não apenas no ensino médio, mas também no ensino superior, o que justifica sua abordagem por meio de metodologias com maior envolvimento do estudante.
Conteúdos trabalhados	Etapa fotoquímica da fotossíntese, com discussão de seu conteúdo, mas também das potencialidades que a sala de aula invertida apresenta para outros temas de alta complexidade. Relação do tema com outras disciplinas, especialmente química e física (reações de óxido-redução, fluxo de elétrons, transformação de energia etc.).
Duração estimada	Três semanas sendo: 1) leitura do material, contato com os vídeos e demais materiais disponibilizados; 2) aula: discussão dos materiais, do tema proposto e dramatização; 3) avaliações e disponibilização de respostas aos desafios propostos.
Materiais usados	Textos, vídeos, cartazes, bexigas, bolas de tênis, sistema de som.

1 Introdução

O uso de metodologias ativas de aprendizagem, apesar de não ser uma novidade, vem ganhando importância cada vez maior no desenvolvimento de atividades curriculares nas escolas. No Brasil, inicialmente testado nos estudos dirigidos e na matemática moderna, ainda nos anos 1950-60, ganhou força nos anos 1990 quando alguns cursos de medicina e da área da saúde se reestruturaram com base na aprendizagem baseada em problemas (PBL – *Problem Based Learning*) trazida da experiência em cursos de Medicina do Canadá e Estados Unidos [1]. Além disso, o uso cada vez mais intensivo de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nos processos de ensino-aprendizagem originou uma “nova forma” de tratar o ensino em que se tem a participação de atividades presenciais tradicionais e atividades mediadas pela tecnologia, hoje denominado genericamente de ensino híbrido ou *blended learning*. Segundo Horn & Staker [2]: “Ensino híbrido é qualquer programa educacional formal no qual um estudante aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino on-line, com algum elemento de controle do estudante sobre o tempo, o lugar, o caminho e/ou o ritmo”.

Na “pedagogia ativa”, os estudantes são protagonistas do processo de aprendizagem e o professor atua de forma a orientá-los, não mais fornecendo as informações em aulas expositivas, mas contribuindo para que os próprios estudantes as encontrem, de forma ativa, seja em textos acadêmicos, em vídeos, sites ou outras formas disponíveis [3]. Estudos de Freeman e colaboradores [4] mostram que o formato ativo de aprendizagem promove o engajamento dos estudantes e, com isso, leva a um aumento em seu desempenho diminuindo, em consequência, o risco de reprovação e abandono escolar.

São muitas as técnicas ativas para a aprendizagem, como por exemplo, a já citada aprendizagem baseada em problemas (PBL), aprendizagem baseada em projetos (PrBL), instrução pelos pares (*peer instruction*) muito baseada nos antigos estudos dirigidos, uso de filmes, jogos (*games*) e, no início do novo século, a sala de aula invertida ou *flipped classroom* [5].

A sala de aula invertida preconiza que a teoria deve ser trabalhada pelos alunos, num momento anterior ao encontro presencial em sala de aula na qual se abordará o assunto. Nesse momento, o professor fará a discussão do tema a partir das dúvidas ou questionamentos dos alunos, formando grupos ou individualmente, proporá exercícios de aprofundamento ou de aplicação e, finalmente, poderá realizar uma avaliação formativa para que possa entender o que ainda deve ser discutido, aprofundado ou abordado [6]. É

claro que esses procedimentos não podem apenas trazer para a sala o que o aluno faria em casa e levar para casa o que o aluno teria em sala. A ideia é que o aluno seja efetivamente motivado a se apropriar da teoria por meio de diversos materiais e, em sala, seja desafiado constantemente para usar os conhecimentos e aplicá-los em situações criadas pelo professor. Se isso não ocorre, o resultado será igual ou pior do que aquele que se tem com os métodos tradicionais de aulas expositivas e “lições de casa”, que normalmente não tiram o aluno de sua “zona de conforto” e não contribuem para que ele se sinta motivado a aprofundar o tema estudado [5].

Há muitos modelos para desenvolver um conteúdo, tópico ou atividade curricular com a sala de aula invertida e um dos mais conhecidos foi proposto por Gerstein [7], que estabelece quatro etapas para o desenvolvimento das atividades: 1) exploração dos conceitos: momento em que os estudantes realizam, fora da sala de aula, as atividades propostas pelo professor, tais como leitura de textos, visualização de vídeos e audioaulas, diferentes websites e participação de discussões *on-line* e *chats*, em ambiente próprio ou a partir de mídias sociais; 2) a partir das ações da primeira etapa, o aluno poderá ser desafiado à realização de exercícios, problemas e “cases” que envolvam os conceitos trabalhados, também com o uso de *blogs*, mídias sociais e produção de seu próprio material (vídeos, textos) sobre o assunto; 3) em sala de aula, o estudante participará da apresentação de projetos, resolução de problemas e outras avaliações propostas pelo professor; e 4) o estudante poderá desenvolver projetos, soluções e outras atividades visando à consolidação das experiências realizadas e dos novos conceitos adquiridos, individualmente ou em grupos com colegas que também participaram das atividades anteriores.

Outra metodologia ativa que tem trazido resultados significativos há muito tempo utiliza o “drama” ou “teatralização” para que o estudante vivencie uma atividade concreta ou abstrata e possa, a partir dessa vivência, consolidar os conceitos trabalhados. Tais estratégias estão presentes desde a pré-escola e vão até cursos para a formação de professores e de pós-graduação *lato* e *stricto sensu* [8]. Mais recentemente, a partir da interpretação (ou *role playing*) o estudante desempenha o papel de uma outra pessoa ou, mais abstratamente, de uma molécula, órgão ou objeto, dando-lhe estrutura e comportando-se como se fosse o próprio ente interpretado [9]. Por exemplo, ao focar o tema “oxidorredução” poderá ser atribuído a cada aluno o papel de uma substância com diferentes potenciais redox. A proposta de fazer com que as moléculas (alunos) se movimentem em diferentes direções e se encontrem fará com que nesses encontros,

aquele com caráter oxidante maior “pegue para si” o(s) elétron(s) daquele com caráter oxidante menor e, mais do que isso, que este último lhe entregue o(s) elétron(s) com a mesma disposição, já que se trata de fenômeno espontâneo. Também podem ser trabalhados conceitos de captação de prótons para que haja a redução, comum para muitas moléculas que têm atuação no metabolismo celular. Após diferentes encontros, poderão ser discutidas as consequências desse processo para aquele ambiente e, com isso, haverá a consolidação dos conhecimentos para o entendimento da oxidorredução, de grande importância em processos químicos como a galvanoplastia, fabricação de pilhas e baterias, corrosão, síntese de produtos dentre outros [10] e processos biológicos, como a fermentação, respiração, fotossíntese, detoxificação, etc [11-12].

A dramatização tem uma longa história no estudo da bioquímica, com o aluno interpretando situações metabólicas de modo a trazer a necessária abstração para o entendimento de alguns fenômenos, para a concretude da situação retratada [13].

2 Procedimentos metodológicos

A atividade fez parte da disciplina “BL-028: Metodologia e Práticas de Ensino de Biologia I: Ciências Morfofuncionais”, com 30 horas de carga horária. A disciplina tem sugestão de ocorrência no 4º semestre do diurno ou no 6º semestre do curso desenvolvido no período noturno, o que garante que os conteúdos de Biologia Celular e de Bioquímica já tenham sido abordados nas disciplinas específicas.

A ementa da disciplina consta do Catálogo de Cursos de Graduação da Unicamp para ingressantes em 2018 [14] e objetiva instrumentalizar os futuros docentes para o exercício do magistério de disciplinas ligadas às ciências morfofuncionais, especialmente “citologia” e “corpo humano”, desde as séries finais do ensino fundamental e, especialmente, no ensino médio.

Inicialmente, ocorreu uma aula para a apresentação e discussão de “metodologias ativas de aprendizagem”. Foi sugerido que os estudantes propusessem temas para o uso de metodologias ativas e, um mês depois dessa discussão, foi proposta a abordagem da etapa fotoquímica da fotossíntese como um pretexto para o uso dessas metodologias. Foi sugerido o desenvolvimento do tema a partir da metodologia da sala de aula invertida (*flipped classroom*) e, em seguida, uma dramatização do conteúdo abordado, a partir de roteiro previamente disponibilizado. Assim, uma semana antes da atividade em sala, foi postado, no ambiente virtual de aprendizagem, material para permitir que os estudantes tivessem contato com o tema, apesar de terem, em tese, estudado o assunto nas

disciplinas realizadas de Biologia Celular, Bioquímica e, em alguns casos, Fisiologia Vegetal. Foi também informado que a abordagem seria feita em nível de graduação, para possibilitar que os estudantes pudessem adequar o assunto à educação básica. Além disso, esperava-se mostrar que o uso de metodologias ativas de aprendizagem pode ser efetivo e requer planejamento e trabalho por parte do professor e dos estudantes [5].

Esse material foi composto por:

- a) Dois textos de livros. O primeiro foi o Capítulo 25 do livro *A Célula*, de autoria de C.N.Begnami [15], especialmente a parte referente à etapa fotoquímica do processo; o segundo foi o texto sobre o mesmo assunto do livro de Bioquímica Básica de autoria de A.Marzocco e B.B.Torres [11].
- b) Três vídeos disponíveis na internet: o primeiro, com uma abordagem infantil do tema [16]; o segundo, voltado para alunos do ensino médio e cursos preparatórios para exames de ingresso em universidades [17]; e o terceiro, correspondente a uma aula de curso superior da disciplina de bioquímica do curso de licenciatura da Universidade Virtual do Estado de São Paulo – Univesp [18]. Foi ainda sugerido que houvesse consulta a outros vídeos contendo aulas sobre o tema e gravadas por outros professores ou por alunos de cursos similares, como material de consulta não obrigatória.
- c) Questões abertas sobre o conteúdo, sem a necessidade de postagem das respostas, mas como um roteiro sobre a realização dos estudos anteriores à realização da aula presencial.

No dia da aula, foram rapidamente recordados os conceitos dos textos sugeridos, bem como comentados os vídeos recomendados. Em seguida, houve um tempo para que os alunos fizessem perguntas e esclarecessem dúvidas. Finalmente, foi proposta a realização da dramatização sobre a etapa fotoquímica da fotossíntese, a partir de roteiro previamente elaborado pelos autores (Anexo 1) e já testado pelos mesmos em aulas da disciplina de Biologia Celular Geral.

Após a aula, foi encaminhado aos presentes um questionário idealizado no “*google.docs*” (Anexo 2) contendo questões referentes ao desenvolvimento da atividade e a percepção dos participantes. Os respondentes foram separados em alunos matriculados no período diurno (23 alunos) ou noturno (35 alunos).

Finalmente, foram postadas as questões encaminhadas e sugestão de respostas decorrentes das discussões bem como alguns testes que têm feito parte dos exames nacionais do ensino médio (ENEM) aplicados anualmente pelo INEP/MEC (Anexo 3).

3 Resultados e discussão

As atividades realizadas com os estudantes dos dois períodos revelaram um comportamento semelhante, quer para aqueles que frequentam a disciplina no período diurno, quer no noturno. Assim sendo, exceto quando explicitado, os resultados serão colocados como a somatória das observações que ocorreram com os dois grupos. Na turma que frequenta o diurno, foram respondidos 11 questionários e no noturno, com 35 alunos presentes, houve 19 respostas, o que significa um retorno aproximado de 52%, o que pode ser considerado bastante positivo, já que as respostas foram feitas de forma espontânea, sem identificação e sem que fosse atribuída alguma nota que pudesse servir de estímulo ao retorno do questionário.

3.1 Atividades realizadas pelos estudantes antes do início da aula

A resposta dos questionários revelou que todos os alunos do diurno e 89% dos alunos do período noturno leram pelo menos um dos textos, o que representa um valor médio de 94% do total de respondentes. Com relação aos vídeos, todos os alunos do diurno e 95% dos alunos do noturno haviam visto pelo menos um deles e esse valor decaiu para 76 e 79% para 2 ou 3 vídeos vistos. Os percentuais de resposta para essas duas questões encontram-se descritos na Figura 1 e mostram que 47% dos estudantes leram os dois textos sugeridos e 40% deles assistiram aos três vídeos propostos.

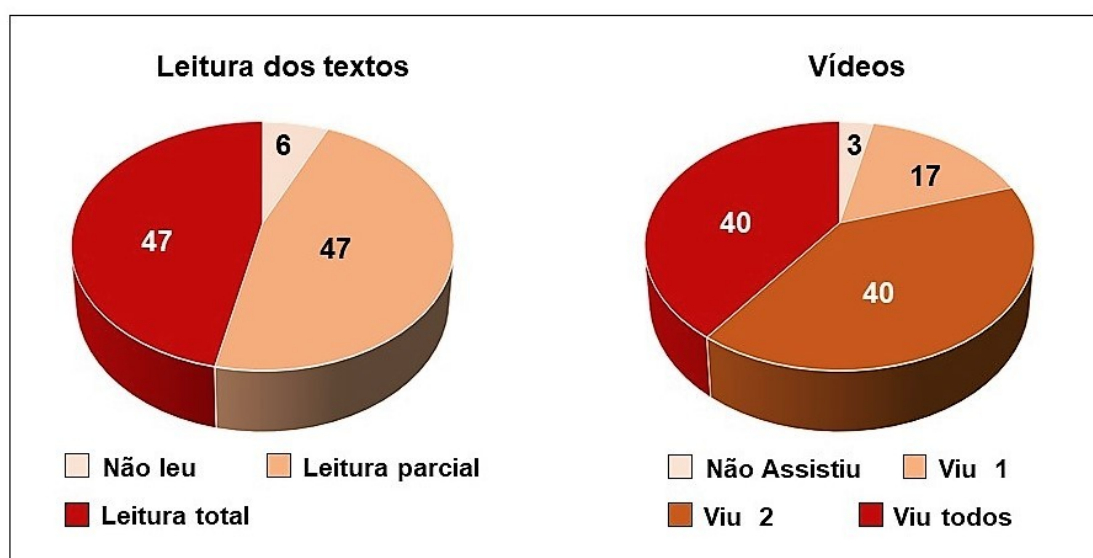


Figura 1. Percentual de estudantes que realizou a leitura dos dois textos e que assistiu aos três vídeos sugeridos como tarefa que antecedeu a aula sobre o tema.

3.2. Discussão inicial em sala de aula

No início da aula, foi feita discussão do conteúdo apresentado nos textos e em cada um dos vídeos, levando em conta o público alvo a que haviam sido destinados. Na discussão, não houve nenhuma restrição aos textos e, para os vídeos, ela pode ser assim resumida:

3.2.1 Vídeo um [16]:

Com 1min35s de duração, é denominado “fotossíntese” e tem origem em Portugal (estuda na net). Em 1º/12/2018, tinha 70.062 visualizações. Vídeo infantil, destinado a crianças da primeira etapa do ensino fundamental. A ideia foi considerada muito interessante e mostra que o assunto pode ser abordado para todas as idades. Em termos conceituais, a explicação dada pela menina para o fenômeno erra ao dizer que por causa da fotossíntese a planta libera para a atmosfera oxigênio e água, quando na verdade ela libera apenas oxigênio e a omissão da água não complicaria a compreensão do texto. Temos que considerar que na fotossíntese há, em termos de balanço, o consumo de água. A planta perde água para o meio, por transpiração, via estômatos, mas não pela sua produção na fotossíntese.

3.2.2 Vídeo dois [17]:

Com 25min44s, é o vídeo mais acessado sobre o assunto e realizado para estudantes do ensino médio e de cursinhos preparatórios para o ENEM e Vestibulares, com o professor mantendo um ritmo ágil, com brincadeiras e expressões coloquiais. Denominado “Fotossíntese – Fase Clara (fotoquímica)”, tinha 1.319.857 visualizações em 1º/12/2018. Seu conteúdo é bem abordado de forma geral, com profundidade se for pensado que se destina a alunos de ensino médio. Foi destacado que quando é abordada a fotólise da água, aos 13min40s, o professor informa que “É por isso que você molha a plantinha. Você molha a plantinha para que ela absorva essa água e possa fazer a fotossíntese”. Na verdade, o papel da água para a planta e seres vivos em geral é muito mais abrangente, dado que é ela que possibilita o metabolismo e, no caso das plantas, tem participação importante na germinação de sementes e no crescimento celular. Em seguida, dos 14min11s até 14min55s, ele explica a etapa cíclica, mas aponta sempre o fotossistema II (PSII) sem, entretanto, explicar efetivamente como e por que ela ocorre.

3.2.3 Vídeo três [18]:

Tem 21min19s e é a 21ª aula da disciplina de bioquímica do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Virtual de São Paulo. Denominado “Fotossíntese – Parte 1” tinha, em 1º/12/2018, 12.521 visualizações. Vídeo gravado como parte das atividades da disciplina para a formação de professores e, portanto, com conteúdo para es-

tudantes de nível superior. Foi destacado o fato de o vídeo não abordar e distinguir as chamadas “etapas” cíclica e acíclica do processo, o que foi discutido em sala de aula.

Finalmente, foi observado que o exercício de análise crítica do material é extremamente importante na escolha dos vídeos a serem indicados aos alunos. Neste caso, a escolha pela diversidade de abordagens foi proposital, sem que o conteúdo fosse a maior preocupação já que a ideia era a de que os estudantes matriculados na disciplina, pelos conhecimentos já incorporados sobre fotossíntese, pudessem fazer essa análise e foi isso o que ocorreu ao longo das discussões em sala de aula. O tempo para a realização das análises poderia ser estendido para uma abordagem mais detalhada e, eventualmente, um maior número de vídeos, já que eles são abundantes na internet. Entretanto, a última etapa da aula foi utilizada para que os próprios estudantes, após a discussão e com o roteiro entregue em mãos, realizassem a dramatização do tema.

3.3. Dramatização

As aulas do período diurno e do noturno ocorreram em anfiteatro formado por carteiras universitárias, sendo que os diferentes degraus foram aproveitados como diferentes valores do potencial de oxidação dos componentes da membrana dos tilacoides. A representação dos fotossistemas supôs dois níveis distintos. O primeiro, em seu estado fundamental, mais baixo que aquele de todas as demais moléculas que participam das reações de oxidorredução da fotossíntese. O segundo, no degrau mais elevado da sala, representando um potencial de oxidação mais alto do que todas as demais moléculas participantes (Figura 2).

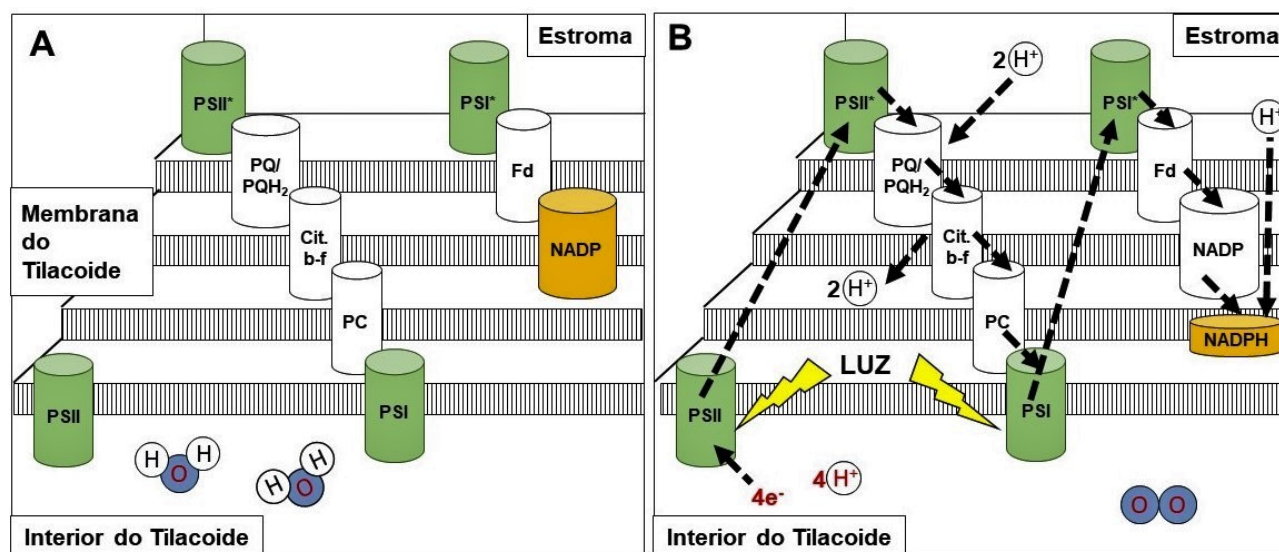


Figura 2. Esquema mostrando o posicionamento dos estudantes (cada cilindro) no anfiteatro, de tal maneira

que as arquivancadas representam a membrana do tilacoide, o espaço inferior o seu interior e o superior, o estroma. A – Ausência de luz. B – Presença de luz, possibilitando a fotólise da água e produção de Oxigênio, além de elétrons que vão repor aqueles perdidos pelos fotossistemas e, em última análise, captados pelo NADP⁺ que se reduz a NADPH. Há consumo de prótons no estroma e produção no interior do tilacoide, gerando gradiente quimiosmótico que possibilitará a síntese de ATP. PSII: fotossistema II; PSII*: fotossistema II excitado; PQ: plastoquinona; Cit. b-f: complexo do citocromo bf; PC: plastocianina; PSI: fotossistema I; PSI*: fotossistema I excitado; Fd: ferredoxina. Para detalhes, consultar o texto.

Cada estudante tinha uma placa de identificação da molécula que representava e uma bola de tênis, representando o(s) elétron(s) envolvido(s) nas reações de oxidorredução (cadeia transportadora de elétrons). Ao se oxidar, a bola de tênis era entregue ao colega adjacente, desde que em um degrau mais baixo (menor potencial de oxidação). Nos fotossistemas, a luz incidente (representada por um aluno manejando uma lanterna) permitia que os elétrons do centro de reação atingissem um estado de excitação que tornava o potencial de oxidação maior do que a molécula aceptora do elétron. A cadeia terminava com a redução de nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADP⁺) que, além de dois elétrons, necessita de um próton, retirado do estroma, se transformando na forma reduzida (NADPH). A reposição dos elétrons do fotossistema II foi feita pela fotólise da água que, deste modo, além dos elétrons, gerava prótons e oxigênio molecular. O primeiro aumenta a concentração de H⁺ no interior do tilacoide e o segundo é liberado pela planta para a atmosfera (gás Oxigênio).

Houve, ainda, a representação do consumo de prótons do estroma para a redução da plastoquinona (que além dos 2 elétrons requer 2 prótons para ficar na forma de hidroquinona ou PQH₂). Ao se oxidar (entregando seus elétrons ao complexo de citocromos b-f), os prótons também são liberados, mas, desta vez, para o interior do tilacoide, o que funciona como uma “bomba de prótons” do estroma para o interior do tilacoide. Dois estudantes fizeram o “papel” da concentração de prótons e iniciaram o processo com 25 fichas cada, representando 25 mols de prótons: o primeiro estudante ficou no espaço representando o interior do tilacoide e recolhia os prótons liberados pela hidroquinona ao se oxidar e aqueles originários da fotólise da água. O segundo, no estroma, fornecia prótons para a redução da plastoquinona e para a redução de NADP⁺ para NADPH.

Foram realizados 6 fluxos completos da cadeia transportadora de elétrons, com 6 mols de água fotolisados e a produção de 6 mols de NADPH. Com isso, apesar de todas as demais moléculas permanecerem iguais ao início da representação, todas elas se oxidaram (fornecendo seus elétrons para a molécula de menor potencial de oxidação) e se reduziram (recebendo seus elétrons da molécula de maior potencial de oxidação). Sem luz, o elétron da clorofila do fotossistema estava posicionado no nível mais baixo da sala,

representando o estado fundamental. Na presença de luz, o aluno PSI ou PSII arremessava sua bola de tênis para o aluno PSI* ou PSII* representando assim a excitação eletrônica decorrente da captação dos fótons. Quando o NADP^+ se reduzia, todo o fluxo de elétrons ocorria, havendo a reposição do PSII a partir dos elétrons originários da fotólise da água.

Depois de ser representada a formação dos 6 mols de NADPH, foi também visualizada a etapa cíclica do processo. Para isso, o aluno que representava a plastoquinona, ao invés de pegar o elétron proveniente do PSII*, pegava o elétron do PSI*, mostrando que o processo pode ter sua etapa cíclica decorrente, na verdade, da capacidade da plastoquinona se reduzir a partir da oxidação do centro de reação do PSI*. Nesse caso, o elétron proveniente do PSI* volta a passar pelo sistema de citocromos e plastocianina, retornando para o PSI (por isso esse processo é chamado de cíclico) e gera a possibilidade da síntese de mais 1 mol de ATP, que se soma aos dois produzidos pela etapa acíclica a partir da quebra de um mol de água. Com essa representação, foi possível destacar para os estudantes que a molécula de plastoquinona, que está dissolvida no interior da membrana do tilacoide, pode se reduzir ao receber o elétron vindo do PSII*, resultando na “fotofosforilação acíclica”, que culmina com a captação do elétron pelo NADP no estroma, mas alternativamente pode ser reduzida pelo elétron proveniente do PSI*, possibilitando o fluxo cíclico de elétrons na membrana do tilacoide.

Após a representação do fluxo acíclico e cíclico de elétrons, que se mostrou útil para trabalhar conceitos de oxidorredução e do potencial redox, além de mostrar a fluidez da membrana e a movimentação de moléculas como a plastoquinona, foi feita uma discussão com os estudantes sobre a variação da concentração de H^+ no interior do tilacoide acarretada pelo processo representado.

Sem ser considerada a etapa cíclica, ao final dos seis fluxos, 6 mols de água haviam sofrido fotólise (12 elétrons e 12 H^+) e 6 mols de hidroquinona haviam se oxidado e perdido 2 prótons cada (+ 12 H^+). Assim, a concentração de prótons do interior do tilacoide passou de 25 para 49 H^+ , ou seja, o pH da solução intratilacoide diminuiu. Ao mesmo tempo, para a redução da hidroquinona e reposição da plastoquinona, foram consumidos 12 H^+ do estroma. Além disso, a formação de 6 mols de NADPH (12 elétrons e 6 H^+) usou exatamente todos os elétrons gerados e a concentração de prótons, que era de 25 H^+ no início, diminuiu 18 H^+ e, portanto, o estroma ficou com um total de 7 H^+ , ou seja, teve aumento em seu pH. No processo natural, o interior do tilacoide chega a ficar com pH 5-6 e o estroma, pH 8.

Finalmente, foi realizada a síntese de ATP a partir do fluxo de prótons do interior do tilacoide para o estroma, passando pela ATPsintase (Figura 3).

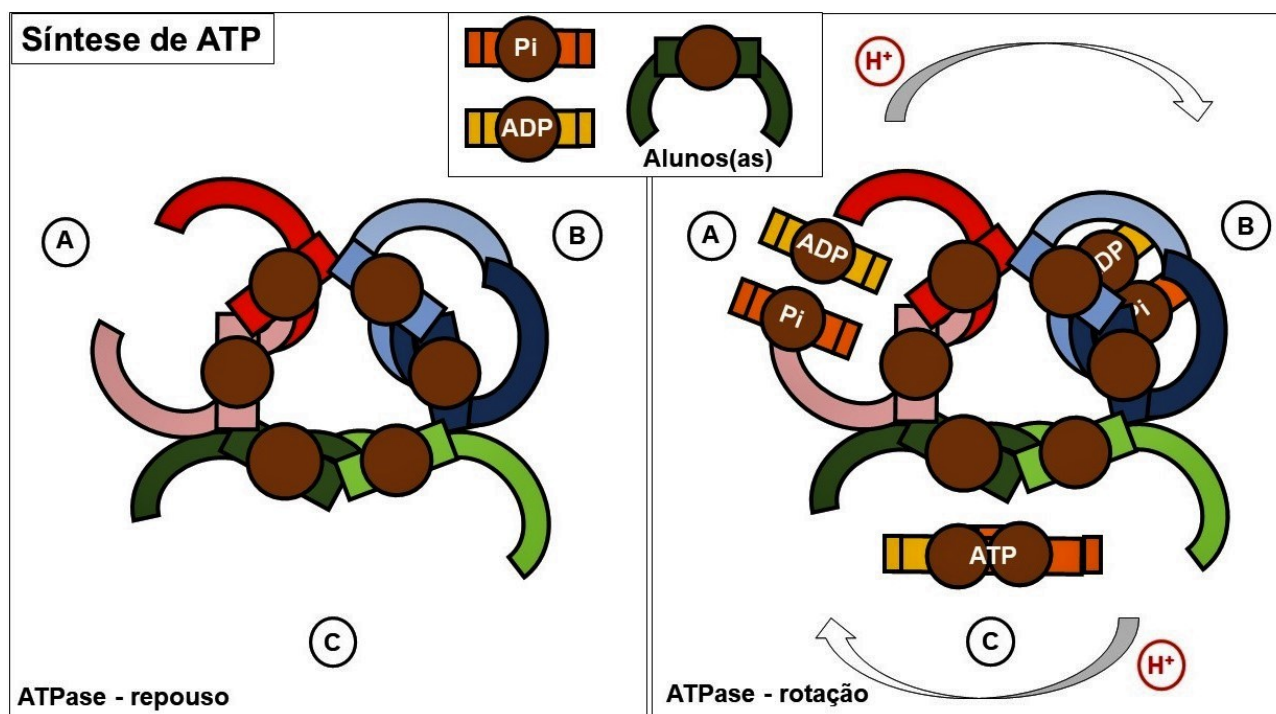


Figura 3. Esquema mostrando a síntese de ATP pela ATPsintase. No início, sem gradiente de prótons estabelecido (chamado “repouso”) as subunidades do complexo enzimático são feitas por 6 alunos, com os braços em diferentes posições, definidas pelos pontos A, B e C. Quando giram, pela ação da passagem de H^+ , vão modificando seus braços livres de modo a atingirem, gradativamente, o formato explicitado nas posições A-C. O giro é feito pelo(s) aluno(s) que representa(m) os prótons e à medida que a roda gira e ocorre a deformação dos braços, começam a ser apresentados alunos (ADP e Pi) que são envolvidos pelas subunidades catalíticas da enzima (posição A) e, “prensados” para ocorrer a ligação e formação do ATP (posição B) que é liberado quando a roda passa pelo ponto C. Para detalhes, consultar o texto.

Seis alunos foram posicionados em roda, voltados para seu exterior e foram definidos 3 pontos que representavam respectivamente os braços livres voltados perpendicularmente ao corpo (Posição A), braços fechados (Posição B) e braços abertos (Posição C). O compromisso foi o de que, ao girar, os braços fossem fazendo o movimento de abertura e fechamento de modo a respeitar o determinado pelas posições A, B e C. O giro foi provocado pelos alunos que representaram o excesso de prótons do interior do tilacoide que, movendo a roda, passavam desse local para o estroma, como em uma catraca, de tal modo que o movimento só se mantinha com o fluxo contínuo de alunos usando esse mecanismo decorrente da diferença quimiosmótica entre os dois compartimentos. Finalmente, alunos com placas representando ADP e Pi (Fosfato) foram colocados na proximidade, de tal modo que eram atraídos para a ATPsintase no ponto A, eram prensados no ponto B e a placa ADP era mudada para ATP e escondida a de Pi, de tal sorte que os dois alunos abraçados saíam da roda na posição C. Essa simulação da

rotação do complexo ATPsintase pelo fluxo de prótons possibilitando a síntese de ATP foi feita de modo a possibilitar a síntese de 9 mols de ATP que em termos de balanço é a quantidade de ATP gerado pela corrente de elétrons e redução de 6 mols de NADP^+ na etapa fotoquímica da fotossíntese.

Com isso, pode ser feito o balanço de toda a etapa fotoquímica, com a produção de 18 mols de ATP e de 12 mols de NADPH a partir da fotólise de 6 mols de água. Foi também discutido com os estudantes que essa produção da etapa diretamente dependente da luz ou fotoquímica será utilizada na etapa seguinte da fotossíntese: Agora, a incorporação de CO_2 catalisada pela Rubisco levará à necessidade do uso de energia (fornecida pelo ATP que se converte em ADP) e a doação de prótons e elétrons para a formação de açúcares, a partir da oxidação do NADPH, em reações agrupadas no Ciclo de Calvin [11].

Para maior fluidez e ritmo dos processos, foram utilizadas músicas que serviram como estímulo à interpretação teatralizada dos estudantes. Para este trabalho, foram usadas: a) na etapa acíclica da fase fotoquímica, “O trezinho do caipira”, de Heitor Villa Lobos, gravação instrumental de Egberto Gismonti (Acessado na aula, disponível em <https://www.ouvirmusica.com.br/album/egberto-gismonti/trem-caipira-2001/>); b) na síntese de ATP, “Ciranda da Rosa Vermelha”, de Antônio Baracho, com gravação de Elba Ramalho. (Acessado na aula e disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=WKX84QR2Ws4>). O uso da música contribui para o envolvimento dos estudantes, diminuindo sua timidez na realização dos processos e pode, ao mesmo tempo, inserir componentes da cultura brasileira aproveitáveis em outras disciplinas, como Arte, Língua Portuguesa e Literatura etc., no caso da atividade ocorrer no ensino médio. Esse envolvimento contribui para que haja uma vontade coletiva de realizar todo o processo de forma ininterrupta e em harmonia com o som disponibilizado.

3.3. Avaliação da atividade e do conteúdo

Para avaliar o envolvimento e a percepção dos alunos com relação às atividades propostas, foram formuladas questões que compõem o Anexo 2 e cujas respostas são expressas percentualmente nas figuras que se seguem.

Os resultados da avaliação realizada pelos estudantes mostraram que 94% deles consideraram que as atividades de discussão dos vídeos e a dramatização foram importantes e contribuíram para o bom entendimento do tema. Destaque-se que houve

uma porcentagem significativa de alunos que considerou essas atividades como fundamentais, especialmente no que diz respeito ao exercício de dramatização desenvolvido (Figura 4).

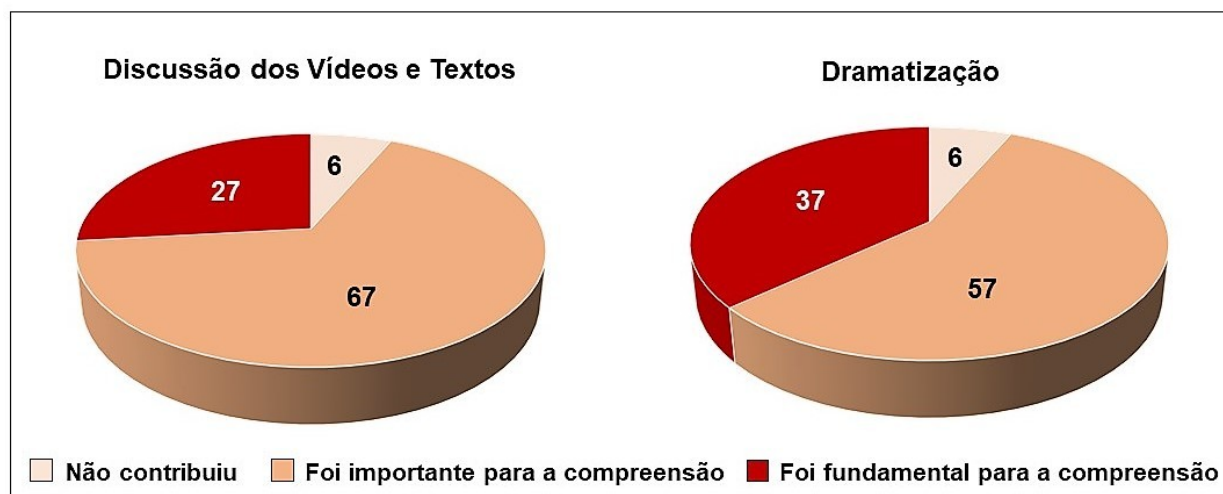


Figura 4. Percentual de estudantes que avaliou a contribuição das discussões sobre os vídeos e textos e também a dramatização, realizados em sala de aula.

Os estudantes também avaliaram a contribuição das observações e discussões conduzidas pelos professores e o desenvolvimento da atividade como um todo. O percentual de respostas positivas é bastante superior ao das respostas negativas e neutras, conforme mostra a Figura 5.

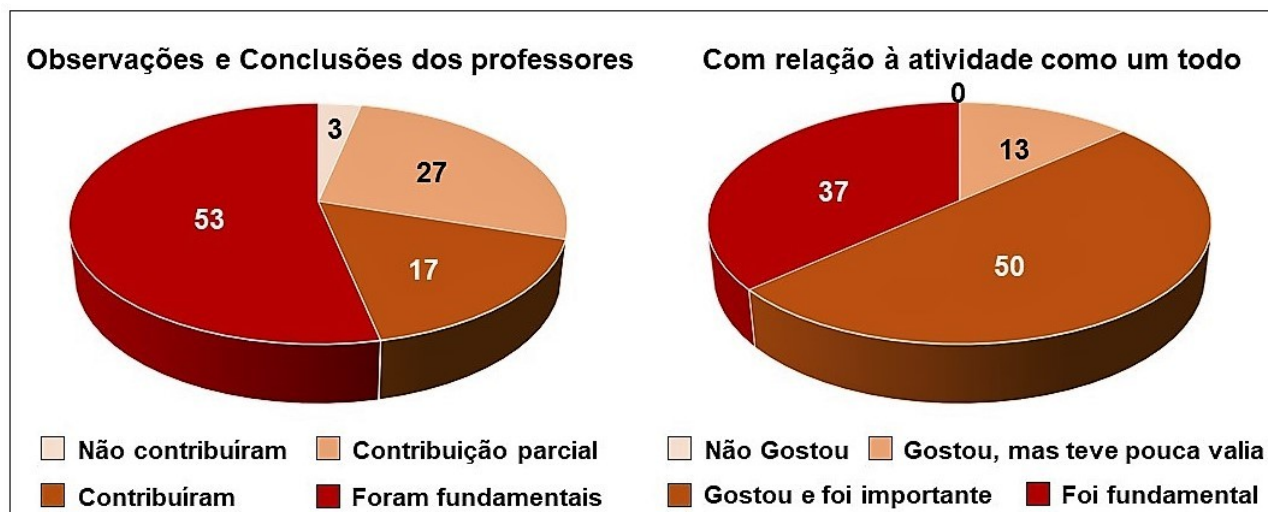


Figura 5. Percentual da contribuição das discussões e conclusões realizadas durante a aula pelos professores da disciplina e percepção da atividade e sua importância no aprendizado do tema.

A avaliação da atividade como um todo, dos professores, dos colegas e de sua própria participação compuseram um elenco de questões que tinham valoração de notas entre 1 (péssima) a 5 (excelente) e pode ser notada, novamente, uma forte aceitação da atividade como relevante. Assim, a soma de notas 4 e 5 foram: 86% para a atividade

como um todo; 93% para a atuação dos professores; 80% para a autoavaliação e 86% para a participação dos colegas. Destaque-se o maior rigor na autoatribuição da nota máxima, nitidamente inferior (27%) em relação às demais, seguida da participação dos colegas (43%). Se somadas as notas acima da média (3 a 5), os valores praticamente atingem 100% (Figura 6).

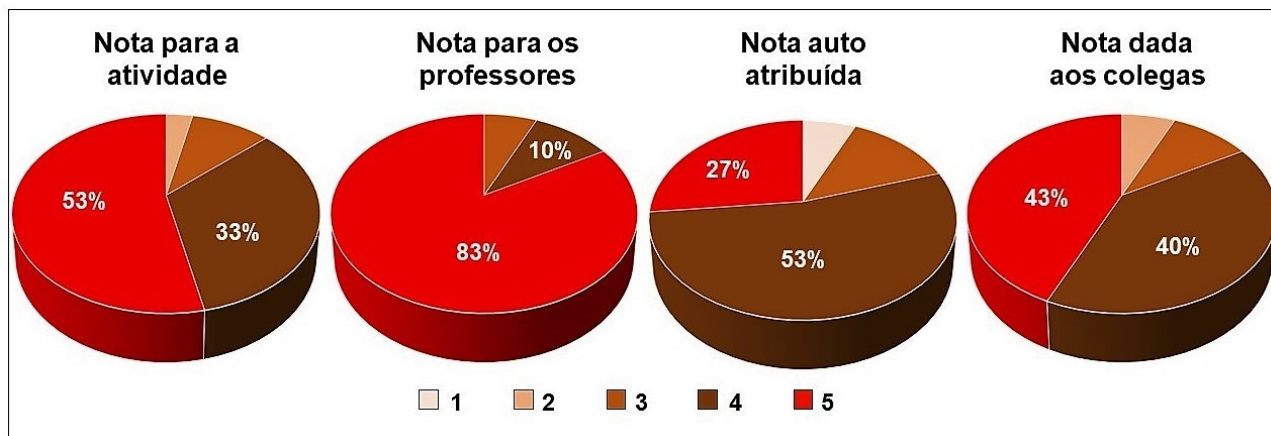


Figura 6. Nota atribuída à atividade como um todo, à participação dos docentes, à própria participação e à participação dos colegas na atividade.

Como última questão fechada, os estudantes opinaram sobre a futura utilização de atividades desse tipo em suas aulas, quando estiverem no exercício da docência. Os resultados mostraram que 97% dos alunos pretendem utilizar esse tipo de metodologia em suas aulas, sendo que mais da metade (53%) opinou que utilizaria sempre que possível e com frequência.

A questão aberta do questionário pedia para os alunos comentarem algo não abordado nas questões fechadas e que julgassem pertinente. Apenas 10 alunos responderam a ela e, em dois casos, não houve a percepção do que a atividade havia significado, ficando claro que não havia ocorrido uma participação efetiva nas mesmas por parte dos respondentes. As demais observações foram referentes a aspectos de organização dos comentários, a possibilidade de aumento do tempo da aula e de realizar atividades direcionadas para o ensino médio.

Foram também propostas questões abertas sobre o conteúdo abordado, com nível acentuado de dificuldade e necessidade de abstração. Também foram selecionadas questões presentes no ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e relacionadas ao tema. As questões não foram corrigidas uma a uma, mas uma sugestão de respostas foi disponibilizada e discutida posteriormente e compõe, juntamente com as questões, o Anexo 3 do presente trabalho.

O uso da metodologia da sala de aula invertida, associada a estratégias de

dramatização cumpriu plenamente o seu principal objetivo: mostrar a estudantes do curso de licenciatura que há outras formas de desenvolver um dado conteúdo, de modo que haja um maior envolvimento e protagonismo do estudante no próprio aprendizado. Também ficou evidente que o trabalho docente nessa atividade, apesar de diferente, é ainda mais presente, já que ele passa a ser o gestor do processo, indicando textos e atividades motivadoras antes da aula e, nela, deve trabalhar os conceitos e ter a percepção daqueles que não ficaram claros ou que apresentam maior dificuldade por parte dos estudantes, propondo novos desafios e atividades. Nesse contexto, a avaliação deixa de ser um instrumento de pressão ou averiguação parcial ou final do aprendizado e passa a ser uma atividade integrante do próprio processo, já que ela possibilitará que o docente retome os pontos onde o desempenho for considerado inadequado, especialmente para temas de alta complexidade e abstração [5, 19].

4 Considerações finais

O uso de metodologias ativas de aprendizagem exige que o professor realize algumas atividades que ele não está acostumado a utilizar. Além de transmissor do conhecimento, o professor passa a gestor e, na metodologia da sala de aula invertida, deve escolher os materiais que serão utilizados antes da aula de forma a garantir que os alunos se envolvam com o tema e executem as tarefas propostas; deve conduzir as discussões em sala de aula de modo a contribuir para que o aprendizado se consolide, ampliando a abordagem do tema e propondo desafios; e deve realizar a avaliação da atividade, não apenas para trabalhar os pontos ainda não dominados pelos estudantes, mas principalmente para avançar no trabalho dos outros temas que compõem aquela atividade curricular ou disciplina. Dessa forma, a estruturação da aula deve ser muito eclética, já que poderá ocorrer situação em que um determinado tópico deva ser mais trabalhado em detrimento a outro e essa necessidade será conhecida apenas no momento da aula, a menos que o docente tenha mecanismos de avaliação anteriores que possam auxiliá-lo nesse preparo.

O objetivo do trabalho foi atingido já que a sua finalidade era mostrar uma possibilidade de abordagem de assunto com o uso de metodologias ativas de aprendizagem. O conhecimento prévio do assunto, neste caso, foi muito mais um pretexto e um pré-requisito para o desenvolvimento das metodologias apresentadas de maneira concreta. Com relação a isso, pode-se perceber que apesar do assunto ter sido abordado previamente em diferentes ocasiões de três diferentes disciplinas do curso de licenciatura em ciências biológicas, ainda existiam dúvidas sobre o fenômeno. O esclarecimento total

dessas dúvidas, auxiliado pelo uso das metodologias ativas de aprendizagem, com certeza fará com que a preocupação do aluno para a abordagem do tema nas escolas em que atuar quando for o professor, seja mais criterioso na determinação dos materiais e na metodologia a ser utilizada.

5 Referências

- [1] Berbel NN. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos? *Interface – Comunicação, Saúde, Educação*, 1998;2(2):139-154.
- [2] Horn MB, Staker H. *Blended: Usando a Inovação disruptiva para aprimorar a educação*. Tradução de M.C.G.Monteiro. 1ªed. (reimpr.) Porto Alegre: Penso;2017.
- [3] Prensky M. *Teaching digital natives: partnering for real learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin;2010.
- [4] Freeman S et al. Active learning increases student performance in science, engineering and mathematics. *PNAS*. 2014;111(23):8410-8415.
- [5] Cortelazzo AL, Fiala DAS, Piva Jr D, Panisson L, Rodrigues MRJB. *Metodologias ativas e personalizadas de aprendizagem: para refinar seu cardápio metodológico*. 1ªed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.
- [6] Bergmann J, Sams A. *Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem*. Tradução de A.F.C.C.Serra. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC;2017.
- [7] Gerstein J. The flipped Classroom Model: a full Picture. Disponível em <http://usergeneratededucation.wordpress.com/2011/06/13/the-flipped-classroom-model-a-full-picture>. Acessado em 01 dez 2018.
- [8] Tombak A. Importance of Drama in Pre-School Education. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014;143: 372-378.
- [9] Araújo Leal E, Miranda GJ, Casa Nova SPC (org). *Revolucionando a sala de aula: como envolver o estudante aplicando as técnicas de metodologias ativas de aprendizagem*. 1ª ed. São Paulo: Atlas;2017.
- [10] Klein SG, Braibante MEF. Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. *Quím. Nova esc*. 2017;39(1):35-45.
- [11] Marzocco A, Torres BB. *Bioquímica Básica*. 4ª ed.(reimpr.). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2016.
- [12] Bolzan AG, Schuch NJ. Relação entre estresse oxidativo e síndrome metabólica. *Disciplinarum Scientia*. 2017;18(3):529-538.
- [13] de Paula E, Costa C, Macedo DV. Drama: A novel evaluation tool. *Biochemical Education*. 1995;23(3): 133-135.
- [14] UNICAMP - Catálogo DAC dos cursos de graduação 2018. Disponível em: <https://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2018/index.html>. Acessado em 01 dez 2018.
- [15] Begnami CN. *A célula*. 3ªed. Barueri,SP: Manole; 2013. Capítulo 25, Cloroplastos; p.407-415.
- [16] Estuda na Net. Fotossíntese. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=BdEpMI6y0M0>. Acessado em 01 dez 2018.
- [17] Jubilit P. Fotossíntese – Fase Clara (Fotoquímica). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=YU6J44Gxbc0>. Acesso em 01 dez 2018.
- [18] Cortelazzo AL. *Bioquímica – Aula 23 – Fotossíntese 1*. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=UIOT2ZvCafM>. Acesso em 01 dez 2018.

[19] Piva Jr. D, Cortelazzo AL, Rodrigues, MRJB. Experiências significativas para a educação a distância – 2. 1ª ed. Ponta Grossa-PR: Atena; 2019. Capítulo 16. Utilização intensiva de tecnologias e avaliações formativas para operacionalização das metodologias ativas; p. 163 – 173.

ANEXO I Dramatização:

Roteiro entregue após a discussão em sala de aula, para realização por parte dos estudantes dos Atos I e II.

ATO I - Tilacoide (interior e membrana) em direção ao estroma – corrente elétrica e formação do gradiente de prótons:

A **água**, no interior do tilacoide, sofre fotólise, **liberando Oxigênio**, íons **H⁺** e **elétrons**, que são transferidos para o fotossistema II.

O **fotossistema II** é excitado pela luz **doando elétrons** para uma plastoquinona, que por sua vez os transfere, agora espontaneamente, para o complexo citocromo b-f e, daí, para a plastocianina que finalmente se oxida, dando elétrons para o **fotossistema I**.

Fotossistema I, também excitado pela luz, **transfere elétrons** para a ferredoxina que, espontaneamente se oxida **reduzindo um NADP⁺ para NADPH**.

Há, ainda, fluxo cíclico de elétrons do Fotossistema I de volta para a plastoquinona e/ou citocromos b-f.

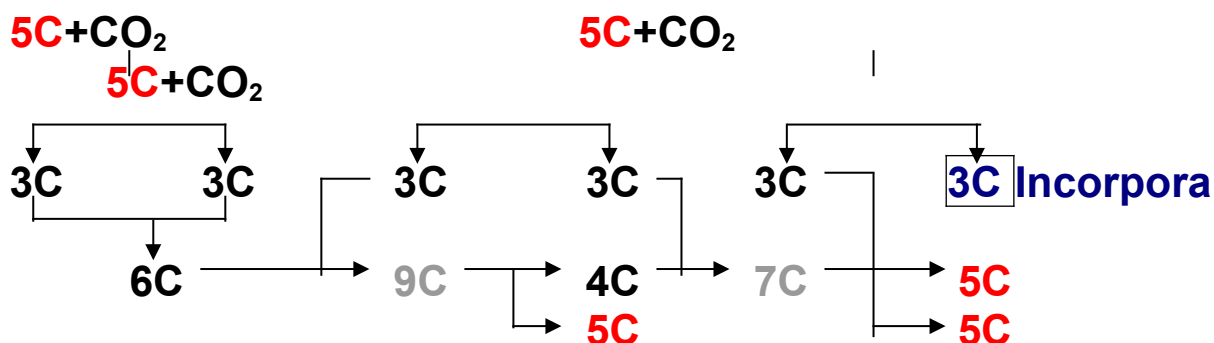
ATO II - Membrana dos tilacoides

Com o gradiente de prótons formado pela corrente elétrica gerada, em última análise, pela luz, há um grande desequilíbrio na quantidade de prótons no sistema, muito maior no interior do tilacoide. Como a sua membrana é impermeável a esses prótons, a única possibilidade passa a ser utilizar a ATP sintetase presente na membrana, com a sua porção Fo no interior das membranas e F1 voltada para o estroma. Com isso, ocorre a síntese de ATP, liberado no estroma, a partir da reação de ADP + Pi.

Em termos de rendimento médio, para cada dois moles de NADPH formados, há uma produção de três moles de ATP.

ATO III - Estroma - Incorporação de CO₂

Com a ação da Rubisco (Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase e oxigenase), Ribulose 1,5 bisfosfato se combina com CO₂ formando 2 moléculas de 3 fosfoglicerato. O fosfoglicerato é então fosforilado por uma quinase, com gasto de ATP, formando 1,3 bisfosfoglicerato. Esse composto é reduzido pelo NADPH a 3 fosfogliceraldeído, com liberação de fosfato. A cada 3 CO₂ incorporados, um fosfogliceraldeído é formado. Ele pode converter-se a diidroxicetona fosfato e, ambos, originam frutose 1,6 bisfosfato que poderá então originar glicose.



Para cada 3 ribuloses 1,5 bisfosfato e 3 CO₂, 1 triose é formada. Os demais carbonos, são rearranjados, até regenerarem as 3 ribuloses utilizadas. Isso gasta mais 3 ATP.

Anexo II

Questionário de avaliação da atividade

Aberto para respostas “on-line” após a atividade e fechado após 15 dias.

1. Você cursa a disciplina
 - No diurno
 - No noturno

2. Você realizou a leitura de um dos textos sugeridos para esta atividade?
 - Não
 - Apenas parcialmente
 - Sim

3. Quanto aos vídeos sugeridos para todos os matriculados, você
 - Não assistiu
 - Assistiu a apenas um
 - Assistiu a dois
 - Assistiu aos três

4. A discussão inicial sobre os vídeos
 - Não contribuiu
 - Contribuiu para a análise que deve ser feita
 - Foi fundamental para minha melhor compreensão dos cuidados e da análise a ser realizada

5. A dramatização
 - Não contribuiu
 - Contribuiu para o melhor entendimento do assunto
 - Foi fundamental para o melhor entendimento do assunto

6. As observações e conclusões realizadas pelo professor que participou da atividade
 - Não contribuiu
 - Contribuiu para o melhor entendimento do assunto
 - Contribuiu para o esclarecimento de alguns pontos e não de outros
 - Foi fundamental para que houvesse o total esclarecimento do assunto abordado

7. Com relação ao desenvolvimento da atividade como um todo
 - Preferia não ter feito a atividade
 - Gostou da atividade, mas acha que ela pouco contribuiu para o total entendimento do tema
 - Gostou da atividade e acredita que ela contribuiu para o entendimento do tema
 - Gostou da atividade e acredita que ela foi fundamental para o entendimento do tema

8. Em uma escala de 1(péssimo) a 5(ótimo), que nota você daria para a atividade como um todo?
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

9. E para o professor que conduziu a atividade?

1 2 3 4 5

10. E para a sua participação na atividade?

1 2 3 4 5

11. E para a participação dos demais colegas da sala na atividade?

1 2 3 4 5

12. Com relação à metodologia utilizada, quando você atuar como professor(a)

- Não tem a intenção de usá-la
- Acredita que a utilizará, em ocasiões especiais
- Acredita que a utilizará, com frequência
- Vai procurar utilizá-la sempre que for possível

13. Comente algo que julgue pertinente e que não foi abordado nas questões acima

Sua resposta

ANEXO III

Questões propostas

Questões entregues após a aula, com sugestão de resposta ou gabarito divulgados posteriormente e discutidos. Teve como objetivo a avaliação da atividade com relação a seu conteúdo.

a) Discursivas

1) Por que apesar da clorofila ter um potencial de redução maior do que a ferredoxina e a plastoquinona, ela dá elétrons a esses compostos? Outra forma de enunciar a mesma questão: Por que apesar da clorofila ter um potencial de oxidação menor do que a ferredoxina e a plastoquinona, ela dá elétrons a esses compostos?

Sugestão de resposta: Porque os elétrons do centro de reação dos fotossistemas são excitados (absorvem energia luminosa) e passam a um estado energético que lhes confere um potencial de redução menor (potencial de oxidação maior) do que o dessas moléculas, possibilitando assim que elas recebam elétrons da clorofila. Obviamente, isso só ocorre quando há presença de luz e o agrupamento nos fotossistemas (ver questão seguinte).

2) No seu entendimento, se as clorofilas não estivessem agrupadas em fotossistemas, elas se oxidariam? Se positivo, qual a possível consequência para a planta? E para os seres heterotróficos?

Sugestão de resposta: Não. Na verdade, a oxidação só ocorre porque as moléculas de pigmentos na membrana dos tilacoides estão agrupadas nos fotossistemas (200-300 moléculas). Deste modo, todas elas têm seus elétrons excitados nos comprimentos de onda característicos e, como se trata de posição instável, os elétrons retornam às subcamadas da eletrosfera originais e, com isso, liberam energia. A liberação dessa energia é captada por moléculas mais centrais do fotossistema e assim, essa região funciona como um amplificador de energia e culmina com uma maior excitação em duas moléculas chamadas “centros de reação” que, como os elétrons passam a ocupar subcamadas muito mais externas (maior energia), acabam se distanciando tanto dos núcleos de seus átomos que são perdidos para a ferredoxina ou para a plastoquinona. Caso não houvesse esse agrupamento, não haveria a amplificação na captação da energia luminosa e, com isso, também não haveria a fotofosforilação e, em consequência não teria sido possível a evolução biológica no planeta.

3) A síntese de ATP que ocorre nos cloroplastos e mitocôndrias pode ser classificada como idêntica? Em que termos? E onde ela pode ser considerada diferente?

Sugestão de resposta: Em termos de princípios sim. Em ambas as organelas ocorre o estabelecimento de um gradiente de prótons, com mais íons do lado em que se encontra inserida a porção F_0 (sensível à oligomicina) do complexo ATPsintase. É por essa região que os prótons atravessarão a membrana (das cristas na mitocôndria ou dos tilacoides nos cloroplastos) gerando movimento de rotação na região F_1 do mesmo complexo e, com isso, alterações espaciais que vão permitir que os sítios com afinidade com ADP e Pi possam sofrer alterações que vão possibilitar a junção dessas moléculas para a formação de ATP. Há grande homologia entre esse complexo enzimático entre plantas e animais. A diferença entre os fenômenos está na origem da cadeia transportadora de elétrons que gera o gradiente quimiosmótico de prótons: no cloroplasto foi originada a partir da excitação das clorofilas dos fotossistemas (em última análise a fotólise da água, que fornece os elétrons para a redução de $NADP^+$ para NADPH); na mitocôndria, a partir da oxidação de NADH ou $FADH_2$ reduzidos nas etapas do ciclo de Krebs e das oxidações de carboidratos, ácidos graxos e aminoácidos no interior da matriz mitocondrial e que são, posteriormente, captados pelo oxigênio que se reduz e forma água.

4) Imagine que as membranas dos tilacoides fossem “viradas do avesso” e o espaço intratilacoide agora passasse a formar o estroma e vice-versa. Nessas condições:

- A fotossíntese ocorreria?
- Onde ocorreria a fase fotoquímica e a fase química?
- Imagine e discorra sobre as principais consequências dessa inversão.

Sugestão de resposta: a) Sim, já que o enunciado sugere que o conteúdo do espaço intratilacoide passaria a formar o estroma e vice-versa. Com isso, as enzimas presentes no interior do tilacoide ficariam no novo estroma desse cloroplasto e as presentes no estroma ficariam no interior desse novo tilacoide.

b) A fase fotoquímica, nessa situação, ocorreria no estroma (fotólise da água) e a cadeia transportadora de elétrons e síntese de ATP, na membrana do tilacoide, só que, NADP presente no novo espaço intratilacoide é que seria reduzido. Assim, o ciclo de Calvin ocorreria também no interior do tilacoide.

c) Essa nova situação teria a desvantagem (não pequena) de necessitar o transporte das trioses formadas no interior desse novo tilacoide para o novo estroma e, deste, para toda a célula. Como há necessidade de grande quantidade de proteínas de membrana (para a cadeia transportadora e ATPsintase) e a membrana deve ter alta impermeabilidade (inclusive a prótons para viabilizar o funcionamento da ATPsintase), carreadores para transportar todo o conteúdo de enzimas e de produtos formados no atual estroma, deveriam existir nessas membranas. Deste modo, não por acaso, evolutivamente, o interior do tilacoide serve para garantir o gradiente de prótons e a maior quantidade de reações metabólicas da incorporação do CO_2 se dá no estroma, permitindo que a membrana da organela seja mais permeável e permita um maior e mais fácil fluxo de moléculas entre a organela e o citosol. Além disso, deveria haver uma redução no volume do estroma da nova organela para possibilitar que a chegada de prótons pudesse ter efeito quimiosmótico similar àquele que ocorre atualmente, já que o espaço intratilacoide tem volume pequeno e mais delimitado para possibilitar a eficiência do processo.

5) Continue “brincando de Deus” e crie uma Clorocôndria, ou seja, uma organela que pudesse realizar a respiração e a fotossíntese.

- A organela funcionaria? Como?

- b) Ela teria vantagens sobre as duas organelas hoje presentes entre os seres vivos?
Por que?

Sugestão de resposta: Difícil, apesar de poder se responder de imediato: em tese sim, já que teria todo o aparato molecular necessário para garantir essas reações.

Algumas considerações sobre a questão: Como se trata de uma Clorocôndria e não de um Mito-plasto vamos assumir que a morfologia seria a de um cloroplasto. Agora, temos que a síntese de ATP se dá do interior do tilacoide para o estroma e também a redução de NADP e o ciclo de Calvin. No interior do tilacoide, há “apenas” a fotólise da água e pH bem baixo (formação e transporte de prótons). Assim, a síntese de ATP para todo o metabolismo (e não apenas para o ciclo de Calvin) deveria ocorrer no mesmo local (lembrar que na mitocôndria ocorre do espaço intermembrana em direção à matriz). Deste modo, o estroma também funcionaria como se fosse a matriz mitocondrial, mas, ao invés do fluxo de prótons ocorrer desse local para o espaço intermembrana, ocorreria para o interior do tilacoide. Deste modo, o interior do tilacoide teria seu pH ainda mais afetado pelo fluxo de prótons, não apenas das reações da fotossíntese, como também da cadeia transportadora da mitocôndria. Entretanto, um problema ocorreria: duas cadeias transportadoras tendo como alimentadores pelo lado do estroma: NADH e FADH₂ originários das oxidorreduções do ciclo de Krebs, oxidação de piruvato, β -oxidação de ácidos graxos etc. e, entretanto, com praticamente o mesmo potencial redox, NADPH deveria estar sendo formado pela cadeia transportadora do equivalente ao cloroplasto, ou seja: um produto do mesmo lado que o alimentador da cadeia transportadora. Em outras palavras: pelo lado do cloroplasto, NADP⁺ se reduz como aceptor final da cadeia transportadora de elétrons (cloroplasto) e NADH é doador inicial da cadeia transportadora de elétrons (mitocôndria). Assim sendo, apesar de poder se supor regiões mais específicas para cada uma das cadeias transportadoras e as coenzimas terem seus receptores específicos, seria complicado pensar em dois processos quase antagônicos ocorrerem na mesma região. Raciocínio semelhante seria usado para todas as moléculas que fazem parte das duas cadeias transportadoras de elétrons. Além disso, o oxigênio formado pela fotólise da água no interior do tilacoide seria utilizado como aceptor de elétrons para a formação de água logo na sua chegada ao estroma... Teríamos a passagem do oxigênio formado pela fotólise da água pela membrana do tilacoide e nesse movimento ele teria contato com a cadeia transportadora de elétrons (da atual mitocôndria) o que poderia complicar porque se houvesse a redução do Oxigênio do lado interno, isso consumiria prótons o que diminuiria a eficiência do gradiente de prótons necessário para a síntese de ATP. De todo o modo, como isso não ocorre na mitocôndria (o Oxigênio tem que atravessar a membrana interna e ele o faz), esse talvez não representasse um problema maior do que aquele que hoje já é contornado.

A única forma de supor que isso pudesse ocorrer, talvez, fosse a presença de diferentes tipos de tilacoide: um, com membranas sem clorofila, mas com a presença das moléculas constantes da membrana interna da mitocôndria; outro grupo, clorofilado e com a presença das moléculas atuais de um tilacoide. A especificidade das moléculas das duas cadeias estaria garantida e esses tilacoides teriam em sua membrana o complexo ATPsintase posicionado da mesma maneira (com a porção F1 voltada para o estroma/matriz).

Assim, ainda que hipoteticamente a organela pudesse ocorrer (e mesmo isso leva a um tal número de elucubrações que não permitem uma certeza), a atual forma separada tem uma eficiência muito maior. Prova disso é que quando há a necessidade de alguma integração metabólica, as organelas se posicionam próximas umas das outras, como ocorre, por exemplo, com a fotorrespiração nas plantas C₃ que acabam tendo no citoplasma de suas células, a proximidade entre cloroplastos (que produzem glicolato quando a Rubisco oxigena), metabolizado no peroxissomo para formar glicina, que é convertida a Serina na mitocôndria, que retorna para o peroxissomo e deste para o cloroplasto fechando o ciclo, mas resguardando a compartimentalização (e eficiência) das três organelas.

Seria mais fácil supor uma mitocôndria com a morfologia do cloroplasto e um cloroplasto com morfologia de mitocôndria, obviamente com todas as moléculas necessárias aos

respectivos metabolismos situadas em seu interior e membranas. Ainda assim, seria verificado que apesar de um funcionamento hipoteticamente garantido, a eficiência seria dificultada pela área das membranas, volume interno de tilacoides, matriz etc, que acabariam, para garantir a eficiência, ter a fusão dos tilacóides invaginando a membrana interna no caso da mitocôndria e uma compartimentalização das invaginações das cristas no caso do cloroplasto, ou seja, a forma que as organelas têm atualmente. Mas esse pode ser um bom exercício mental.

Finalmente, “brincar de Deus” implica em contrariar todo o processo evolutivo por que passou o metabolismo, o que por si só já significa entrar em um terreno bastante complicado! Além disso, via-de-regra, esses processos metabólicos selecionados evolutivamente têm simplicidade e gasto energético compatível com o comportamento termodinâmico e demais leis naturais que o homem foi (e está) descobrindo gradativamente ao longo de sua história. Melhor entender o funcionamento do que elucubrar sobre suas modificações, já que elas tiveram milhões e milhões de anos para serem selecionadas!!!

6) No seu entendimento, quais os assuntos dos outros componentes curriculares que poderiam interagir com este assunto? Explícite esses assuntos e em que nível eles interfeririam em uma maior efetividade no processo de ensino-aprendizagem.

Sugestão de resposta: Com certeza a química, não apenas com noções de oxido-redução, mas também de eletroquímica, com potenciais padrão de oxido-redução e energia produzida. Também a atomística e ligações química, por conta de excitação eletrônica, energia necessária para a excitação de elétrons não ligantes e ligantes (participantes de ligações covalentes), em ligações simples, duplas, duplas conjugadas (grupos cromofóricos, noção de pigmentos etc.). A Física, com transformações de energia (mecânica, elétrica, potencial) e ondas, especialmente eletromagnéticas, espectro da luz, luz visível, além de eletricidade. Poderiam ser trabalhados textos sobre fotossíntese com a disciplina de inglês; envolvimento da filosofia e história para compreensão dos momentos em que as descobertas foram ocorrendo e suas consequências para a sociedade e vice-versa; geografia física, para mostrar a ocupação de plantas, plantas C3 e C4; artes, para a elaboração de processos não apenas ligados à dramatização do tema, mas também os esquemas, animações, registros e outras formas de comunicação, inclusive com revisão de texto na disciplina de língua portuguesa, por exemplo. O tema poderia ser inclusive escolhido para permear as atividades de um semestre inteiro, com a realização de projetos voltados para seu entendimento em todas as disciplinas.

Testes retirados do ENEM:

1) (ENEM 2009) A fotossíntese é importante para a vida na Terra. Nos cloroplastos dos organismos fotossintetizantes, a energia solar é convertida em energia química que, juntamente com água e gás carbônico (CO_2), é utilizada para a síntese de compostos orgânicos (carboidratos). A fotossíntese é o único processo de importância biológica capaz de realizar essa conversão. Todos os organismos, incluindo os produtores, aproveitam a energia armazenada nos carboidratos para impulsionar os processos celulares, liberando CO_2 para a atmosfera e água para a célula por meio da respiração celular. Além disso, grande fração dos recursos energéticos do planeta, produzidos tanto no presente (biomassa) como em tempos remotos (combustível fóssil), é resultante da atividade fotossintética.

As informações sobre obtenção e transformação dos recursos naturais por meio dos processos vitais de fotossíntese e respiração, descritas no texto, permitem concluir que (A) o CO_2 e a água são moléculas de alto teor energético.

- (B) os carboidratos convertem energia solar em energia química.
- (C) a vida na Terra depende, em última análise, da energia proveniente do Sol.
- (D) o processo respiratório é responsável pela retirada de carbono da atmosfera.
- (E) a produção de biomassa e de combustível fóssil, por si, é responsável pelo aumento de CO₂ atmosférico.

2) (ENEM 2010) Um molusco, que vive no litoral oeste dos EUA, pode redefinir tudo o que se sabe sobre a divisão entre animais e vegetais. Isso porque o molusco (*Elysia chlorotica*) é um híbrido de bicho com planta. Cientistas americanos descobriram que o molusco conseguiu incorporar um gene das algas e, por isso, desenvolveu a capacidade de fazer fotossíntese. É o primeiro animal a se “alimentar” apenas de luz e CO₂, como as plantas. GARATONI, B. *Superinteressante*. Edição 276, mar. 2010 (adaptado).

A capacidade de o molusco fazer fotossíntese deve estar associada ao fato de o gene incorporado permitir que ele passe a sintetizar

- (A) clorofila, que utiliza a energia do carbono para produzir glicose.
- (B) citocromo, que utiliza a energia da água para formar oxigênio.
- (C) clorofila, que doa elétrons para converter gás carbônico em oxigênio.
- (D) citocromo, que doa elétrons da energia luminosa para produzir glicose.
- (E) clorofila, que transfere a energia da luz para compostos orgânicos.

3) (ENEM 2010) O aquecimento global, ocasionado pelo aumento do efeito estufa, tem como uma de suas causas a disponibilização acelerada de átomos de carbono para a atmosfera. Essa disponibilização acontece, por exemplo, na queima de combustíveis fósseis, como a gasolina, os óleos e o carvão, que libera o gás carbônico (CO₂) para a atmosfera. Por outro lado, a produção de metano (CH₄), outro gás causador do efeito estufa, está associada à pecuária e à degradação de matéria orgânica em aterros sanitários.

Apesar dos problemas causados pela disponibilização acelerada dos gases citados, eles são imprescindíveis à vida na Terra e importantes para a manutenção do equilíbrio ecológico, porque, por exemplo, o

- (A) metano é fonte de carbono para os organismos fotossintetizantes.
- (B) metano é fonte de hidrogênio para os organismos fotossintetizantes.
- (C) gás carbônico é fonte de energia para os organismos fotossintetizantes.
- (D) gás carbônico é fonte de carbono inorgânico para os organismos fotossintetizantes.
- (E) gás carbônico é fonte de oxigênio molecular para os organismos heterotróficos aeróbios.

4) (ENEM 2011) Certas espécies de algas são capazes de absorver rapidamente compostos inorgânicos presentes na água, acumulando-os durante seu crescimento. Essa capacidade fez com que se pensasse em usá-las como biofiltros para a limpeza de ambientes aquáticos contaminados, removendo, por exemplo, nitrogênio e fósforo de resíduos orgânicos e metais pesados provenientes de rejeitos industriais lançados nas águas. Na técnica do cultivo integrado, animais e algas crescem de forma associada, promovendo um maior equilíbrio ecológico. SORIANO, E. M. Filtros vivos para limpar a água. *Revista Ciência Hoje*. V. 37, n° 219, 2005 (adaptado).

A utilização da técnica do cultivo integrado de animais e algas representa uma proposta favorável a um ecossistema mais equilibrado porque

- (A) os animais eliminam metais pesados, que são usados pelas algas para a síntese de biomassa.
- (B) os animais fornecem excretas orgânicos nitrogenados, que são transformados em gás carbônico pelas algas.
- (C) as algas usam os resíduos nitrogenados liberados pelos animais e eliminam gás

carbônico na fotossíntese, usado na respiração aeróbica.

(D) as algas usam os resíduos nitrogenados provenientes do metabolismo dos animais e, durante a síntese de compostos orgânicos, liberam oxigênio para o ambiente.

(E) as algas aproveitam os resíduos do metabolismo dos animais e, durante a quimiossíntese de compostos orgânicos, liberam oxigênio para o ambiente.

5) (ENEM 2013) Plantas terrestres que ainda estão em fase de crescimento fixam grandes quantidades de CO_2 , utilizando-o para formar novas moléculas orgânicas, e liberam grande quantidade de O_2 . No entanto, em florestas maduras, cujas árvores já atingiram o equilíbrio, o consumo de O_2 pela respiração tende a igualar sua produção pela fotossíntese. A morte natural de árvores nessas florestas afeta temporariamente a concentração de O_2 e de CO_2 próximo à superfície do solo onde elas caíam.

A concentração de O_2 próximo ao solo, no local da queda, será

(A) Menor, pois haverá consumo de O_2 durante a decomposição dessas árvores.

(B) Maior, pois haverá economia de O_2 pela ausência das árvores mortas.

(C) Maior, pois haverá liberação de O_2 durante a fotossíntese das árvores jovens.

(D) Igual, pois haverá consumo e produção de O_2 pelas árvores maduras restantes.

(E) Menor, pois haverá redução de O_2 pela falta da fotossíntese realizada pelas árvores mortas.

6) (ENEM 2015) A indústria têxtil utiliza grande quantidade de corantes no processo de tingimento dos tecidos. O escurecimento das águas dos rios causado pelo despejo desses corantes pode desencadear uma série de problemas no ecossistema aquático. Considerando esse escurecimento das águas, o impacto negativo inicial que ocorre é o(a)

(A) eutrofização.

(B) proliferação de algas.

(C) inibição da fotossíntese.

(D) fotodegradação da matéria orgânica.

(E) aumento da quantidade de gases dissolvidos.

7) (ENEM 2017) Pesquisadores conseguiram estimular a absorção de energia luminosa em plantas graças ao uso de nanotubos de carbono. Para isso, nanotubos de carbono “se inseriram” no interior dos cloroplastos por uma montagem espontânea, através das membranas dos cloroplastos.

Pigmentos da planta absorvem as radiações luminosas, os elétrons são “excitados” e se deslocam no interior de membranas dos cloroplastos, e a planta utiliza em seguida essa energia elétrica para a fabricação de açúcares.

Os nanotubos de carbono podem absorver comprimentos de onda habitualmente não utilizados pelos cloroplastos, e os pesquisadores tiveram a ideia de utilizá-los como “antenas”, estimulando a conversão de energia solar pelos cloroplastos, com o aumento do transporte de elétrons.

(Nanotubos de carbono incrementam a fotossíntese de plantas. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br>. Acesso em: 14 nov. 2014 (Adaptado)

O aumento da eficiência fotossintética ocorreu pelo fato de os nanotubos de carbono promoverem diretamente a

(A) utilização de água

(B) absorção de fótons

(C) formação de gás oxigênio

(D) proliferação dos cloroplastos

(E) captação de dióxido de carbono.

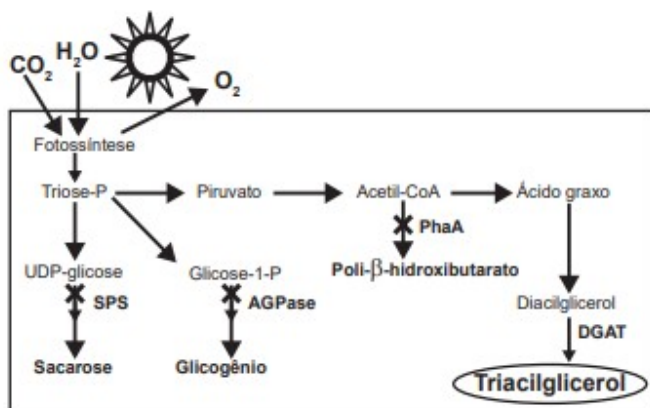
8) (ENEM, 2017) A célula fotovoltaica é uma aplicação prática do efeito fotoelétrico. Quando a luz incide sobre certas substâncias, libera elétrons que, circulando livremente de átomo para átomo, formam uma corrente elétrica. Uma célula fotovoltaica é composta por uma placa de ferro recoberta por uma camada de selênio e uma película transparente de ouro. A luz atravessa a película, incide sobre o selênio e retira elétrons, que são atraídos pelo ouro, um ótimo condutor de eletricidade. A película de ouro é conectada à placa de ferro, que recebe os elétrons e os devolve para o selênio, fechando o circuito e formando uma corrente elétrica de pequena intensidade.

(Dias, C.B. Célula fotovoltaica. Disponível em <http://super.abril.com.br>. Acesso em: 16 ago 2012 (adaptado).

O processo biológico que se assemelha ao descrito é a

- (A) fotossíntese
- (B) fermentação
- (C) quimiossíntese
- (D) hidrólise de ATP
- (E) respiração celular

9) (ENEM, 2017) O quadro é um esquema da via de produção de biocombustível com base no cultivo de uma cianobactéria geneticamente modificada com a inserção do gene DGAT. Além da introdução desse gene, os pesquisadores interromperam as vias de síntese de outros compostos orgânicos, visando aumentar a eficiência na produção do biocombustível (triacilglicerol).



National Renewable Energy Laboratory. NREL creates new pathways for producing biofuels and acids from cyanobacteria. Disponível em: www.nrel.gov. Acesso em: 16 maio 2013 (adaptado).

Considerando as vias mostradas, uma fonte de matéria-prima primária desse biocombustível é o(a)

- (A) ácido graxo, produzido a partir da sacarose.
- (B) gás carbônico, adquirido via fotossíntese.
- (C) sacarose, um dissacarídeo rico em energia.
- (D) gene DGAT, introduzido por engenharia genética.
- (E) glicogênio, reserva energética das cianobactérias.

Gabarito:

1C, 2E, 3D, 4D, 5A, 6C, 7B, 8A, 9B