

CITOLOGIA: BIOENERGÉTICA - FOTOSSÍNTESE

CONCEITOS INICIAIS

A **fotossíntese** significa etimologicamente síntese pela luz. Excetuando as formas de energia nuclear, **todas as outras formas de energia utilizadas pelo homem moderno provêm do sol**. A fotossíntese pode ser considerada como um dos processos biológicos mais importantes na Terra. Por liberar oxigênio e consumir dióxido de carbono, a fotossíntese transformou o mundo no ambiente habitável que conhecemos hoje. De uma forma direta ou indireta, a fotossíntese supre todas as nossas necessidades alimentares e nos fornece um sem-número de fibras e materiais de construção. A energia armazenada no petróleo, gás natural, carvão e lenha, que são utilizados como combustíveis em várias partes do mundo, vieram a partir do sol via fotossíntese. Assim sendo, a pesquisa científica da fotossíntese possui uma importância vital. Se pudermos entender e controlar o processo fotossintético, nós saberemos como aumentar a produtividade de alimentos, fibras, madeira e combustível, além de aproveitar melhor as áreas cultiváveis. Os segredos da coleta de energia pelas plantas podem ser adaptados aos sistemas humanos para fornecer modos eficientes de aproveitamento da energia solar.

Essas mesmas tecnologias podem auxiliar-nos a desenvolver novos computadores mais rápidos e compactos, ou ainda, a desenvolver novos medicamentos. Uma vez que a fotossíntese afeta a composição atmosférica, o seu entendimento é essencial para compreendermos como o ciclo do CO₂ e outros gases, que causam o efeito estufa, afetam o clima global do planeta.

DESCOBERTA DA FOTOSSÍNTESE

Na primeira metade do século 17, o médico Van Helmont cresceu uma planta em um jarro com terra e regou a planta somente com água da chuva. Ele observou que após 5 anos, a planta tinha crescido bastante, mas a quantidade de terra no jarro quase não decresceu. Van Helmont concluiu que o material utilizado pela planta para o seu crescimento veio da água utilizada para regá-la. Em 1727 o botânico inglês Stephan Hales observou que as plantas usavam principalmente o ar como fonte de nutrientes para o seu crescimento. Entre 1771 e 1777, o químico Joseph Priestly descobriu que quando ele colocava uma vela no interior de um jarro emborcado, a chama extinguia-se rapidamente sem que a cera fosse completamente consumida.

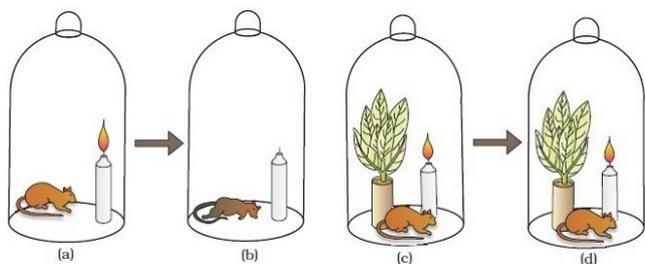


Figure 1. Priestley's experiment

Posteriormente ele observou que se um camundongo fosse colocado nas mesmas condições ele morreria. Ele mostrou então que o ar que fora "viciado" pela vela e pelo camundongo, poderia ser restaurado por uma planta. Em 1778, **Jan Ingenhousz** repetiu os experimentos de Priestly e observou que era a luz a responsável pela restauração do ar. Ele observou também que somente as partes verdes da planta tinham essa propriedade. Em 1796, **Jean Senebier** mostrou que o CO₂ era quem "viciava" o ar e que o mesmo era fixado pelas plantas durante a fotossíntese.

Logo em seguida, **Theodore de Saussure** mostrou que o aumento da massa das plantas durante o seu crescimento não poderia ser devido somente à fixação de CO₂, mas também devido à incorporação da água.

Saiba Mais:

A luz pode ser altamente maléfica se não for devidamente controlada, temos como exemplos os inúmeros casos de câncer de pele. **As plantas têm que absorver luz com o mínimo de dano para ela mesma**. A compreensão das causas dos danos causados pela luz e os mecanismos naturais de proteção, pode beneficiar-nos em áreas alheias à fotossíntese como a medicina. Por exemplo, algumas substâncias como a clorofila tende a localizar-se em tecidos tumorosos. A iluminação destes tumores causaria um **dano fotoquímico**, que poderia matar o tumor sem consequência para o tecido são. Outra aplicação médica é a utilização de substâncias semelhantes à clorofila para delinear a área cancerígena do tecido são. Danos fotoquímicos ao tecido são não ocorrem, pois, os princípios da fotossíntese foram utilizados para converter a energia absorvida em calor.

PLASTOS

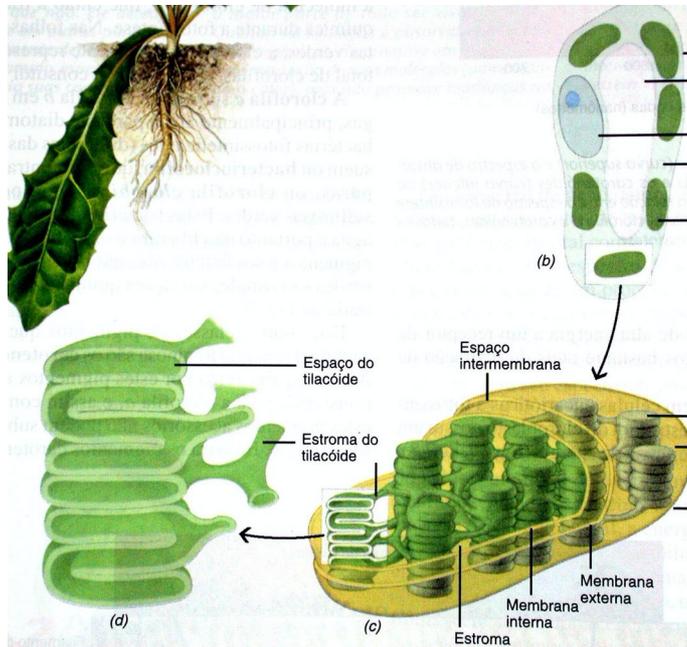
São **orgânulos citoplasmáticos exclusivo de células vegetais**. São organelas ovaladas relacionadas ao armazenamento de substâncias ou fotossíntese. Os plastos podem ser incolores (leucoplastos) ou possuir pigmentos. Os leucoplastos são relacionados com a reserva de alimentos. A coloração de muitos órgãos vegetais, como flores, frutas e folhas devem-se aos cromoplastos. Nos cloroplastos ocorre a fotossíntese, e os xantoplastos e eritoplastos atuam com filamentos protetores.

CLOROPLASTOS

Os cloroplastos são orgânulos citoplasmáticos discóides que apresentam duas membranas envolventes e inúmeras membranas internas, que formam pequenas bolsas discoidais e achatadas chamadas **tilacóides**.

Nos cloroplastos, a membrana interna contém em sua organização, além dos fosfolipídios, clorofila, principal pigmento fotossintetizante. A **clorofila é um lipídio carotenóide**, tendo assim, uma estrutura anfipática: uma longa cauda apolar e uma cabeça polar com um átomo de magnésio. Esta característica anfipática explica a localização da clorofila no cloroplasto: ela é um componente da bicamada lipídica, localizando-se junto aos fosfolipídios.

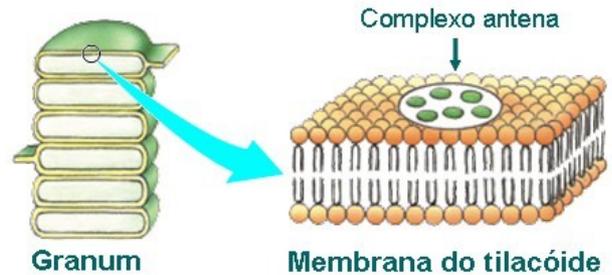
Os tilacóides se organizam uns sobre os outros e formam estruturas cilíndricas que lembram pilhas. Cada pilha é um **granum**, que significa grão em latim. O espaço interno do cloroplasto é preenchido por um fluido viscoso chamado **estroma**, que seria uma analogia à matriz das mitocôndrias e contém DNA, enzimas e ribossomos. Os cloroplastos são as centrais energéticas da própria vida.



Nas células meristemáticas encontramos uma vesícula primitiva denominada pró-plasto, que na presença de luz evolui para cromoplasto e na ausência de luz evolui para leucoplasto. Os pró-plastos são pequenas bolsas esféricas, contendo em seu interior DNA circular e desnudo, enzimas e ribossomos 70S, mas não há tilacóides e nem clorofila. São capazes de se dividir (autoduplicação) e são herdados de geração em geração celular. Os leucoplastos não possuem pigmentos fotossintetizantes e apresentam função de armazenamento: amiloplastos (armazenam amido), oleoplastos (armazenam óleo) e os proteoplastos (armazenam proteínas).

FOTOSSISTEMAS

Essa descrição servirá como “enriquecimento” para visualização da alta complexidade com que o processo biológico fotossintético se desenvolve. Modernamente tem se falado em **fotossistemas** ou **PS**, para designar unidades funcionais presentes nas **membranas dos tilacóides** constituídas por moléculas de pigmentos, associadas entre si. Nesses fotossistemas, há dois tipos de clorofilas (a e b) e pigmentos amarelos e laranjas, os carotenóides. São conhecidos dois tipos de **fotossistemas, I e II** que, absorvem comprimentos de onda luminosas ligeiramente diferentes e agem juntos na fotossíntese. Em ambos, **a clorofila 'a' parece ser a molécula fundamental**.

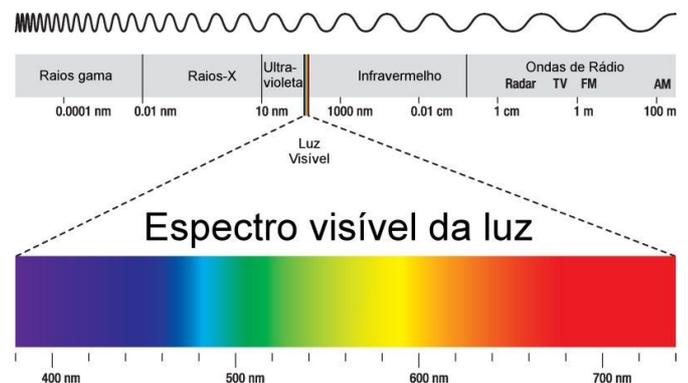


O complexo antena é um conjunto de cerca de 200 moléculas de clorofila e vários pigmentos acessórios (destaque para os carotenos e xantofilas), cujo papel é captar a luz e transferi-la para o centro de reação.

O centro de reação do **fotossistema I** consiste em um par de clorofila 'a' que é excitável por luz de comprimentos de onda de **680-700nm**, associada às proteínas é conhecida como **P700**. No centro de reação do **fotossistema II** o par de clorofila 'a' tem absorção no comprimento de onda máximo de **670-680nm**, sendo, na forma associada às proteínas, conhecido como **P680**.

ESPECTRO DE LUZ

O olho humano só consegue enxergar os comprimentos de onda entre **390nm e 760nm**. Cada comprimento de onda destes equivale a uma determinada cor. Assim, de 390 a 760nm, as cores vão na seguinte sequência: violeta, anil, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho. **Abaixo de 390nm, temos o ultravioleta, e acima dos 760nm, o infravermelho, ambos impossíveis de serem captados pelo olho humano.**



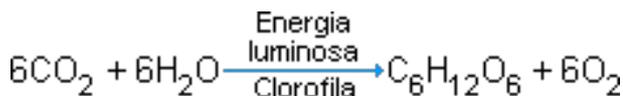
Como já comentamos, a luz é absorvida por uma série de pigmentos. Cada pigmento absorve determinados comprimentos de ondas, refletindo os que não absorve. A cor do pigmento é dada pelo comprimento de onda refletido, podendo-se determinar o espectro de absorção de cada pigmento através de um espectrofotômetro.

Os tipos de pigmentos utilizados na fotossíntese variam nos diferentes grupos de organismos fotossintetizantes. Nos vegetais superiores, os pigmentos mais importantes são a clorofila a e a clorofila b, pigmentos verdes que absorvem a luz no violeta, no azul e no vermelho, refletindo no verde; por isso, são verdes.

O espectro de ação da fotossíntese não corresponde rigorosamente ao espectro de absorção da luz pelas clorofilas. Considerando o fenômeno fotossíntese em termos gerais, **a resposta à luz vermelha é maior do que à luz azul**. Isso se explica porque os pigmentos acessórios (xantofila, licopeno e caroteno) absorvem intensamente certas radiações de forma mais eficiente que as clorofilas, transferindo depois a elas a energia absorvida.

EQUAÇÃO GERAL DA FOTOSSÍNTESE

A equação tradicional da fotossíntese é:

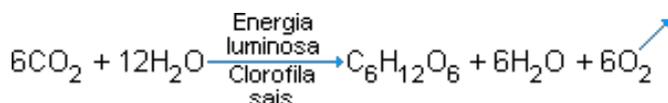


Essa reação, no entanto, não pode mais ser aceita como correta, tendo em vista que o oxigênio liberado na fotossíntese provém da água e não do gás carbônico.

Saiba Mais:

Num clássico experimento sobre fotossíntese, **Melvin Calvin** utilizou o isótopo pesado O_{18} marcando a água e o isótopo normal O_{16} no gás carbônico no processo fotossintético e notou que **todo o oxigênio liberado na reação era dotado do isótopo pesado O_{18}** , bem como o oxigênio na glicose correspondia ao isótopo normal O_{16} .

Dessa forma, a reação aceita é:



Essa equação mostra o processo de síntese de compostos orgânicos a partir de substâncias inorgânicas, utilizando-se a energia luminosa e com liberação de oxigênio (O_2).

Hoje, sabemos que a fotossíntese se processa em duas etapas. Na primeira, a luz cede energia para a clorofila. Portanto, essa etapa não ocorre sem a presença de luz. Ela é conhecida com fase luminosa da fotossíntese ou reações de claro. Na segunda etapa, a energia retida por certos compostos, vai permitir uma série de reações que vão levar ao aparecimento da glicose. Essa etapa pode ocorrer mesmo na ausência da luz. É a fase escura ou reações de escuro da fotossíntese.

FASE CLARA OU ETAPA FOTOQUÍMICA

A **fase clara**, também chamada de **fotoquímica**, consiste na incidência da luz solar sob a clorofila a. Elétrons são liberados e recebidos pelo **aceptor primário de elétrons**. Estes elétrons passam por uma **cadeia transportadora** liberando energia utilizada na **produção de ATP**. Os elétrons com menos energia entram na molécula de clorofila a repondo os liberados pela ação da luz. A molécula de clorofila absorve energia luminosa. Esta energia é acumulada em elétrons que, por este fato, escapam da molécula sendo recolhidos por substâncias transportadoras de elétrons.

A partir daí estes irão realizar a fotofosforilação, que, dependendo da substância transportadora, poderá ser **cíclica ou acíclica**. Em todos os dois processos, os elétrons cedem energia, que é utilizada para a síntese de ATP através de fosforilação (processo em que adiciona um fosfato rico em energia no ADP).

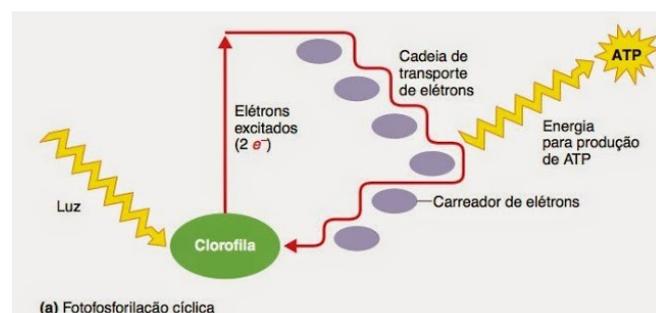
FOTOFOSFORILAÇÃO CÍCLICA

A fotofosforilação não-cíclica (acíclica) de elétrons representa um fluxo capaz de produzir ATP em quantidades iguais ao NADPH_2 . **Entretanto, como no Ciclo de Calvin-Benson (veremos a seguir) ocorre um maior consumo de ATP, a fotofosforilação cíclica torna-se uma forma suplementar de ATP.**

O fluxo de elétrons que produz apenas ATP é denominado cíclico porque um elétron transportado de uma molécula de clorofila excitada no início da cadeia de reações retorna ciclicamente à mesma molécula de clorofila no final da cadeia.

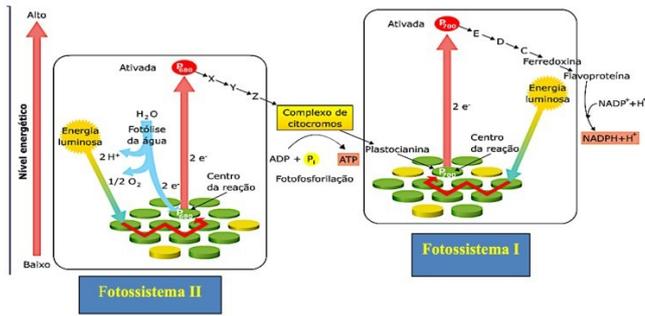
No início da cadeia de reações, P_{700} , a clorofila do centro de reação do fotossistema I está no estado básico. Ela absorve um fóton e se oxida. Esta reação permite o desprendimento de energia livre.

A **ferredoxina** recebe o elétron desprendido da molécula de clorofila oxidada e se reduz. Desse modo, Fd_{red} passa o elétron para a plastoquinona que também se reduz, passando em seguida o elétron para um complexo de citocromos. O elétron continua descendo uma cadeia redox até plastocianina, que também se reduz. A cadeia de transporte de elétrons (cadeia redox) finaliza quando o elétron retorna a molécula de clorofila, P_{700} . Esse ciclo é uma série de reações redox, cada qual exergônica, e a energia liberada fica armazenada numa forma que finalmente pode ser usada para produzir ATP.



FOTOFOSFORILAÇÃO ACÍCLICA E A FOTÓLISE DA ÁGUA

Sabe-se hoje que no cloroplasto, além da produção cíclica de ATP, que já conhecemos, há **produção de ATP acoplada à "quebra" da água (fotólise da água)**. O processo é razoavelmente complexo:



O **fotossistema II** absorve fótons, emitindo elétrons de P_{680} , ficando assim, oxidada. Estes elétrons são capturados pela feofitina, o primeiro aceptor de elétrons, que se reduz. A fotólise da água faz com que a mesma libere elétrons, que são cedidos ao fotossistema II, e origina íons H^+ que ficam no meio e O_2 é liberado da planta. Assim, verifica-se que o oxigênio liberado pela planta é resultado da fotólise da água.

Os elétrons que saíram do fotossistema II e que foram transferidos inicialmente a **feofitina** passará por uma cadeia de aceptores (cadeia redox), alguns dos quais são citocromos. Na sua passagem "ladeira abaixo" eles perdem energia, usada na produção de ATP.

O **fotossistema I** (P_{700}) também absorveu fótons e perdeu seus próprios elétrons para uma molécula aceptor (ferredoxina). Por essa razão, ele se torna aceptor e recebe os elétrons provenientes do fotossistema II, retornando ao seu estado básico.

Os elétrons provenientes do fotossistema I, captados inicialmente pela ferredoxina, **junto com íons H^+ provenientes da água, são cedidos ao NADP, que se transforma em $NADPH_2$.**

Resumindo: O fotossistema II, estimulado pela luz, solta elétrons ricos em energia que passam por aceptores e permitem produção acíclica de ATP. O fotossistema II é regenerado ganhando elétrons da água. O fotossistema I, quando iluminado, cede elétrons de alta energia ao NADP que, junto com íons $2H^+$ da água, se transforma em $NADPH_2$. Os elétrons do fotossistema II regeneram o fotossistema I. Um caminho alternativo dos elétrons entre o fotossistema I e os aceptores gera produção (cíclica) de ATP.

FASE ESCURA OU ETAPA QUÍMICA DA FOTOSSÍNTESE (CICLO DE CALVIN-BENSON OU METABOLISMO C3)

O ciclo foi primeiro elucidado por Calvin e colaboradores em 1946 e por esta razão, também é conhecido como ciclo de Calvin e Benson, um de seus colaboradores. Ele **ocorre no estroma** e pode ser dividido em quatro fases distintas: **(1) fase de carboxilação, (2) fase de redução, (3) fase de regeneração e (4) fase de síntese dos produtos.** Este processo bioquímico consiste em reações elucidadas abaixo:

A fase de carboxilação consiste na reação de CO_2 com a ribulose bifosfato (catalisada pela ribulose 1,5-bifosfato carboxilase

- RuBisCO), seguida por uma clivagem molecular, formando ácido fosfoglicérico (PGA).

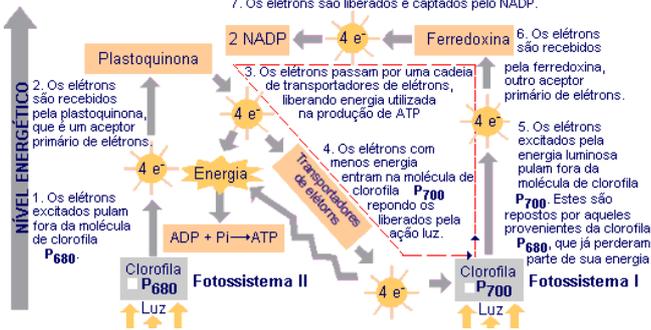
A fase de redução consiste na redução do ácido fosfoglicérico, formado na etapa anterior, em triose fosfato.

A fase de regeneração consiste na regeneração da ribulose bifosfato através de reações de interconversão de açúcares.

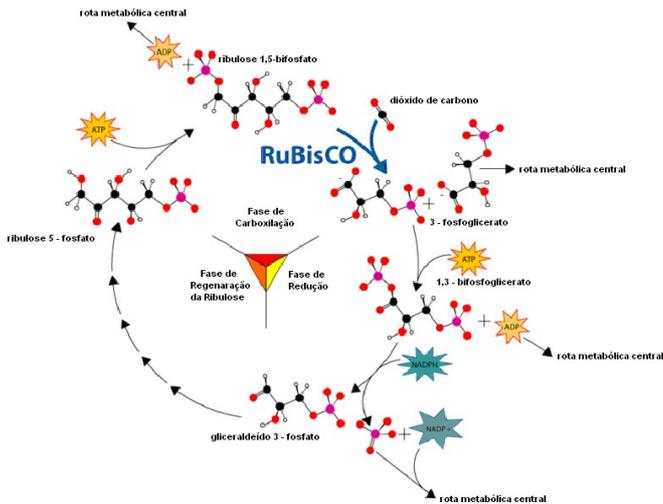
A fase de síntese de produtos consiste na produção de outros compostos, tais como, polissacarídeos, aminoácidos e ácidos graxos. A síntese desses compostos é influenciada pelas condições fisiológicas.

O **ciclo de Calvin** também é conhecido como a **rota C_3** de fixação do carbono, uma vez que o produto formado desta fixação é um composto de 3 carbonos (ácido fosfoglicérico). Entretanto, esta não é a única rota de fixação do CO_2 . Na maioria das plantas e gramíneas tropicais, tais como, a cana-de-açúcar e a cevada, a fixação do CO_2 resulta em compostos de 4 carbonos como o oxaloacetato. Este metabolismo C_4 veremos no final desta aula.

Esquema da fotofosforilação acíclica
7. Os elétrons são liberados e captados pelo NADP.



Podemos observar neste esquema, que a fotofosforilação acíclica, permite a formação de ATP a partir da energia liberada na cadeia redox dos aceptores de elétrons e ainda favorece a formação de $NADPH_2$ que será útil na fase escuro. Podemos também neste esquema verifica o pontilhado representando a fotofosforilação cíclica.



Com métodos, combinando a auto-radiografia e a cromatografia, Calvin e seus alunos mostraram que o primeiro composto estável que aparece, após somente alguns segundos de fotossíntese, em presença de CO₂ marcado, é uma **substância em C₃**, o ácido fosfoglicérico ou 3 - fosfoglicerato (PGA ou 3PG) do qual um dos carbonos, o do grupamento carboxila é radioativo. Contrariamente ao que se pensava, o CO₂ não se fixa numa substância em C₂ para dar o PGA, mas num açúcar em C₅ fosforilado: a **ribulose 1,5 – bifosfato (RuBP)**. Fixando-se na ribulose, o CO₂ dá origem a um composto de seis carbonos muito instável, que se decompõe imediatamente em duas moléculas de ácido fosfoglicérico ou 3 - fosfoglicerato (PGA ou 3PG).

O 3 – fosfoglicerato sofrerá na reação seguinte uma fosforilação (usando ATP formado na fase clara) e uma redução (usando o NADPH₂ formado na fase clara), resultando em gliceraldeído 3 – fosfato (G3P).

O gliceraldeído 3 – fosfato (G3P) possui dois destinos principais. Numa folha típica, cerca de um terço dele termina no polissacarídeo amido, que é armazenado no cloroplasto e serve como uma fonte de glicose. Dois terços do G3P são convertidos no dissacarídeo sacarose, que é transportado da folha para outros órgãos da planta, onde é hidrolisado em seus monossacarídeos constituintes: glicose e frutose.

A glicose produzida na fotossíntese é subsequentemente usada pela planta para formar outros compostos além de açúcares. O carbono da glicose é incorporado aos aminoácidos, aos lipídeos e aos constituintes dos ácidos nucléicos.

FOTORRESPIRAÇÃO

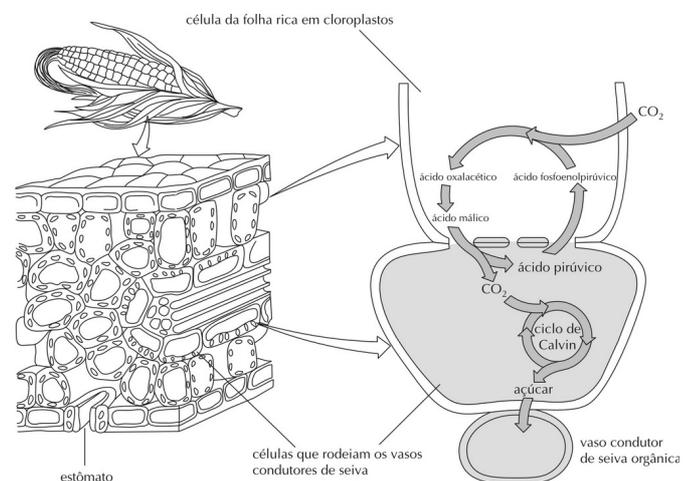
A fotorrespiração é uma **ineficiência do ciclo de fixação de CO₂**. A Enzima **RuBisCO** não é específica para o CO₂, ela também aceita como substrato o O₂, de sorte que, ao invés de ser produzido 2 moléculas de 3-fosfoglicerato após a clivagem molecular, produz-se uma molécula de 3-fosfoglicerato e uma molécula de ácido glicólico, que na célula está na forma aniônica glicolato. O glicolato é exportado aos peroxissomos

onde é oxidado à glioxalato e então aminado para formar o aminoácido glicina (Gli). A glicina por sua vez, é exportada para a mitocôndria onde 2 moléculas de glicina são utilizadas para gerar uma molécula de serina (Ser) e uma molécula de CO₂. Daí o nome fotorrespiração, pois há a participação da luz (foto), o consumo de O₂ e a liberação de CO₂ (respiração). **A fotorrespiração é favorecida em ambientes de alta concentração de O₂ e baixa de CO₂ (condição atmosférica) e em altas temperaturas (Climas tropicais e equatoriais).**

LEITURA COMPLEMENTAR: METABOLISMO CAM E C₄

Muitas plantas de clima quente, como o **milho** e a **cana-de-açúcar**, possuem uma adaptação que contorna esses problemas: o gás carbônico reage com o ácido fosfoenolpiruvato em vez de reagir com a ribulose bifosfato, formando um ácido de **quatro carbonos**, o ácido oxalacético ou oxalacetato. **A vantagem é que essa reação ocorre mesmo em baixa concentração de gás carbônico, e a fotorrespiração deixa de ser um problema.**

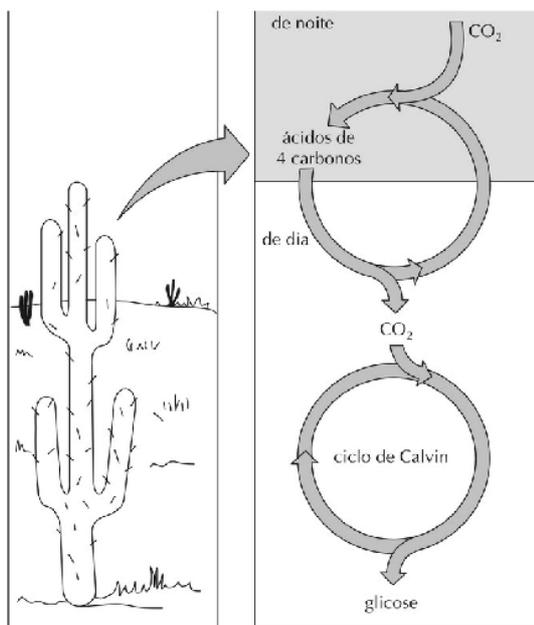
O ácido oxalacético é transformado em ácido málico ou malato (também com quatro carbonos), que é levado do mesófilo para as células que rodeiam os vasos transportadores de seiva e que formam a chamada bainha vascular da folha.



Nessas células – situadas mais profundamente na folha e com menos contato com o oxigênio atmosférico que as do mesófilo, o que evita a fotorrespiração –, o ácido málico é descarboxilado e libera gás carbônico, que entra no ciclo de Calvin.

Algumas plantas adaptadas a climas muito quentes e secos, como o cacto e outras plantas que vivem em condições de pouca disponibilidade de água, evitam a evaporação da água fechando totalmente os estômatos durante o dia (quando há risco maior de

perda de água) e abrindo-os à noite (quando a perda de água por transpiração é menor), permitindo a entrada de gás carbônico. Este é transformado em ácido oxalacético, que depois é convertido em outros ácidos orgânicos de quatro carbonos, que se acumulam nos vacúolos da célula. De dia, quando há luz suficiente para suprir de ATP e hidrogênios o ciclo de Calvin, os ácidos cedem o gás carbônico para os cloroplastos, ocorrendo o ciclo tradicional. Como durante o dia os estômatos ficam fechados, entra pouco oxigênio, o que impede a fotorrespiração.



Esse ciclo foi estudado em plantas da família das crassuláceas (como o dedo-de-moça) e, por isso, recebeu o nome metabolismo ácido das crassuláceas ou **CAM** (iniciais em inglês de *Crassulacea Acid Metabolism*). Nas plantas CAM, a fixação inicial do carbono ocorre à noite e a síntese de glicídios, de dia. As plantas que utilizam esse ciclo são chamadas **C4**, porque o primeiro produto formado é o ácido oxalacético (quatro carbonos). As plantas que realizam apenas o ciclo de Calvin são chamadas **C3**, uma vez que o ácido fosfoglicérico (primeiro produto do ciclo) tem três carbonos. Nas plantas **C4** a fixação inicial do carbono e o ciclo de Calvin (síntese de glicídios) ocorrem em regiões distintas da folha.

As vantagens dos metabolismos CAM e C4 sobre o C3 são: alta taxa fotossintética (difícilmente atinge-se a saturação da fotossíntese), ausência de fotorrespiração, alta eficiência na utilização da água, alta tolerância salina e baixo ponto de compensação para o CO₂. A desvantagem é o alto custo energético e o conseqüente menor rendimento quântico de fixação de CO₂. Além disso, com exceção do abacaxi,

as plantas de metabolismo CAM, ao contrário das de metabolismo C3, não são muito produtivas em termos de biomassa. Os vegetais de metabolismo C4 são altamente produtivos.

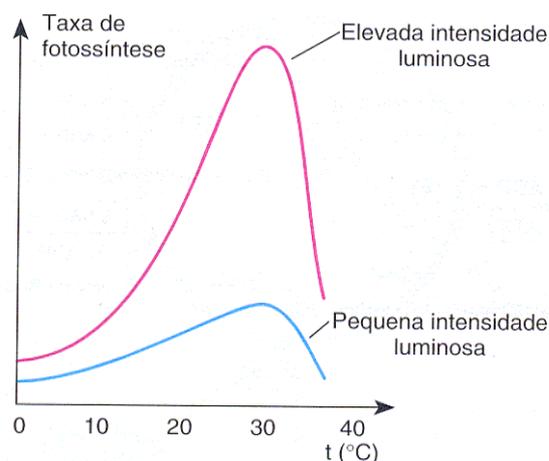
FATORES LIMITANTES DA FOTOSÍNTESE

Há uma série de fatores ambientais físico-químicos, que estando em proporção inadequada, impedirão que as reações da fotossíntese tenham seu melhor rendimento: serão os fatores limitantes da fotossíntese. Dentre eles podemos lembrar: **insuficiência de água ou sais minerais no solo; concentração insuficiente de CO₂; fraca luminosidade; temperatura inadequada.**

Analisaremos três deles:

IMPORTÂNCIA DA TEMPERATURA.

Como as reações que ocorrem na fotossíntese são mediadas por enzimas, a alteração na atividade enzimática altera os processos fotossintéticos, assim como seu rendimento. **Qualquer temperatura abaixo ou acima da "ótima" resulta em condição limitante para as reações de fotossíntese.** Abaixo da temperatura "ótima" a energia cinética das moléculas reagentes (CO₂, H₂O) é insuficiente para conseguir o rendimento químico. Acima da "**temperatura ótima**", as enzimas vão se desnaturando, podendo até parar as reações. Esclarecendo, seria dizer que um aumento moderado da temperatura do sistema melhora a atividade enzimática, mas ultrapassar a temperatura ótima resultaria em uma desnaturação enzimática e conseqüentemente a uma queda na atividade fotossintética, como observado no gráfico abaixo.



Plantas mantidas em condições ideais de luminosidade e concentração de gás carbônico aumentam a taxa de fotossíntese à medida que aumenta a temperatura ambiental, até próximo de 40° C. Acima desse limite de temperatura haverá drástica redução **não só da fotossíntese, como também da maioria das reações vitais.**

2. INTENSIDADE LUMINOSA

Sendo a energia luminosa de natureza ondulatória eletromagnética, a frequência (ou comprimento de onda) determina as diferenças de cores no espectro visível, enquanto a amplitude é responsável pela intensidade luminosa forte ou fraca.

Durante o dia, entre 11 horas e 14 horas a intensidade luminosa é muito forte, enquanto ao amanhecer ou ao entardecer essa intensidade é fraca.

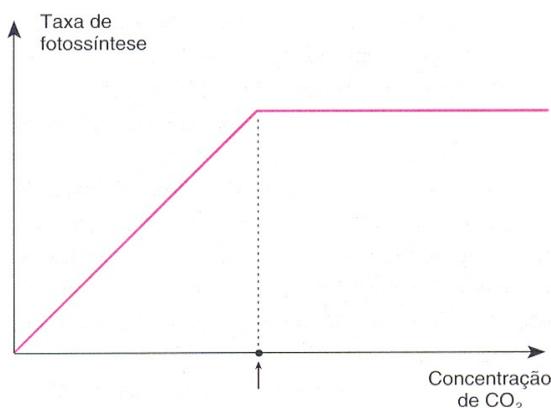
O valor de intensidade luminosa a partir do qual a taxa de fotossíntese deixa de aumentar é chamado ponto de saturação luminosa. A observação do gráfico acima demonstra que as intensidades luminosas abaixo do ponto de saturação luminosa são valores limitantes do processo fotossintético. Acima dessa "intensidade ótima" já não haverá mais melhoria na taxa de rendimento.

Os fatores analisados estão todos presentes ao mesmo tempo no ambiente e os componentes limitantes podem ser dois ou mais concomitantemente. O que se procura analisar, nas condições naturais, é qual deles estará influenciando de maneira mais decisiva como fator limitante da fotossíntese.

3. CONCENTRAÇÃO DE CO₂

No ar atmosférico há uma mistura de gases: N₂ □ 78%; O₂ □ 21%; CO₂ □ 0,035%. Essa concentração de CO₂ é bem inferior à que a planta seria capaz de utilizar. Em condições ideais de luminosidade e de temperatura, a taxa de fotossíntese aumenta progressivamente em função do aumento na concentração de CO₂ no ar, até atingir um limite.

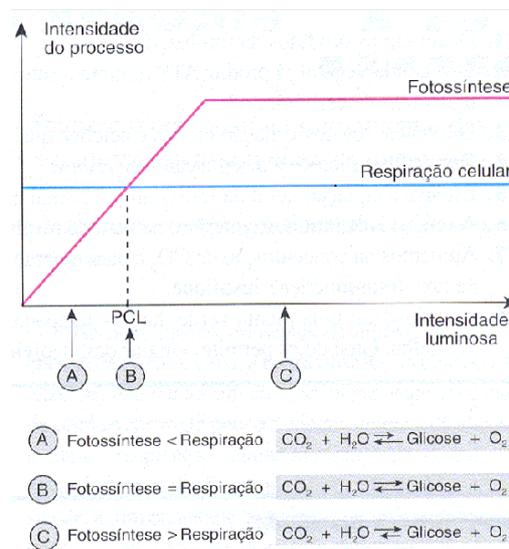
Como as enzimas funcionam melhor com um aumento na concentração do substrato, um aumento na concentração de gás carbônico melhora a atividade fotossintética. Isso ocorre até determinado ponto, o ponto de saturação, a partir de onde a elevação na concentração de substrato não altera mais a atividade fotossintética, que passa a ser constante. Assim, podemos afirmar que o gráfico da influência da concentração de CO₂ na atividade fotossintética é semelhante ao gráfico observado na velocidade de uma atividade enzimática em função da concentração de substrato. O ponto de saturação refere-se ao potencial enzimático da rubisco (ribulose carboxilase) em fixar o CO₂ à Ribulose durante o início do ciclo de Calvin-Benson.



Saiba Mais:

Devido às queimadas e a queima de combustíveis fósseis a partir da revolução industrial, em 1750, o teor de gás carbônico na atmosfera subiu de 0,03% para 0,04%. Assim, aumentou-se no mundo todo a concentração do substrato para a fotossíntese, aumentando proporcionalmente a atividade fotossintética no planeta. O aumento no efeito estufa pelo aumento na liberação de gás carbônico em fábricas e automóveis, apesar de possivelmente aumentar a temperatura do planeta, tem o efeito benéfico de melhorar a produtividade vegetal. Este efeito de aumento de produtividade é conhecido como efeito de fertilização por CO₂.

RELAÇÃO FOTOSSÍNTESE/RESPIRAÇÃO



A fotossíntese e a respiração são em muitos aspectos processos antagônicos. A fotossíntese consiste em um processo anabólico, enquanto a respiração um processo catabólico. As equações gerais dos dois processos são inversas.

A planta faz simultaneamente a fotossíntese e a respiração. No entanto, a planta não fotossintetiza o tempo todo, pois sem luz este processo não ocorre. **Já a respiração é um evento constante.** Em condições experimentais, podemos analisar graficamente, fotossíntese comparada com a respiração da planta.

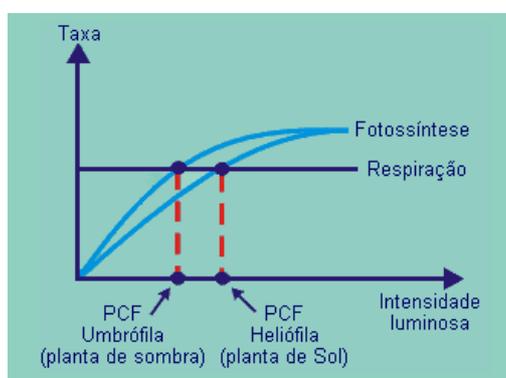
A observação do gráfico nos revela que quando existe pouca disponibilidade de luz, a atividade respiratória é maior que a fotossíntese: nesta região, a planta retira oxigênio da atmosfera e libera gás carbônico para a atmosfera. Apesar disto, a crença popular de que não se deve dormir em ambientes fechados com plantas é infundada. Mesmo que de noite a planta só faça respiração, a quantidade de oxigênio removida e a quantidade de gás carbônico liberados são muito pequenas, não acarretando o menor risco.

Numa situação com uma grande disponibilidade de luz, como a observada também no gráfico, a atividade fotossintética

é maior que a respiratória, assim, a planta retira gás carbônico da atmosfera e libera oxigênio.

À intensidade luminosa em que a fotossíntese se iguala à respiração, chamaremos de ponto de compensação

Nesse ponto (P.C.F), o que a planta produz na fotossíntese empata com o que ela queima através da própria respiração. Em intensidade luminosa acima do P.C.F, haverá uma produção fotossintética superior ao que é gasto na respiração. O excesso de produção poderá ser armazenado em parênquimas de raiz, caule e folhas. Essa reserva será queimada naquelas horas do dia ou do ano em que a planta está abaixo do P.C.F, ou mesmo não estiver realizando a fotossíntese. Essa mesma reserva deverá ser utilizada para os processos de crescimento, regeneração e reprodução.



O ponto de compensação fótica varia nas diferentes espécies de plantas. Espécies com pontos de compensação fóticos elevados só conseguem viver em locais de alta luminosidade. São, por isso, chamadas plantas de sol ou heliófilas (do grego helios, sol, e philos, amigo). Espécies com ponto de compensação fótica baixo são chamadas plantas de sombra ou umbrófilas. Algumas considerações ambientais importantes:

1. Nas plantas aquáticas e vegetais dos extratos mais baixos de florestas tropicais, geralmente a luz é o principal fator limitante.
2. Nas plantas do deserto a água pode ser fator limitante para crescimento ou germinação.
3. Em plantas terrestres geralmente o CO₂ é o maior responsável pela limitação.

AO LONGO DA VIDA DE UMA PLANTA, QUEM É MAIS INTENSA, A RESPIRAÇÃO OU A FOTOSSÍNTESE?

Em termos de tempo, a planta passa mais tempo fazendo respiração do que fazendo fotossíntese. Afinal de contas, a planta respira de dia e de noite.

Entretanto, em termos de intensidade, predomina a fotossíntese. Perceba que a fotossíntese produz matéria orgânica, enquanto a respiração consome matéria orgânica. Para um ser vivo crescer, ele tem que acumular matéria, de

modo que a produção (fotossíntese) seja maior que o consumo (respiração).

Na idade adulta, quando a planta não cresce mais de forma tão intensa, significa que ela não está acumulando matéria, de modo que a produção (fotossíntese) se iguala mais ou menos ao consumo (respiração).

Resumidamente, em plantas jovens, a fotossíntese é maior que a respiração, enquanto que em plantas adultas, as duas taxas tendem a tornar-se iguais.

É por este motivo que plantas em crescimento são mais úteis para o combate ao efeito estufa intensificado: se elas fazem mais fotossíntese que respiração, removem mais gás carbônico da atmosfera que liberam. Desta forma, não faz muito sentido dizer que a floresta Amazônica é o pulmão do mundo: como ela é uma floresta madura, com predomínio de plantas adultas, a atividade de fotossíntese praticamente iguala-se a de respiração.

FOTOSSÍNTESE BACTERIANA OU FOTORREDUÇÃO

Cianobactérias são organismos unicelulares procariontes dotados de clorofila semelhante aos vegetais e que fazem fotossíntese que em muito se assemelha aos vegetais. Entretanto, as mesmas não possuem cloroplastos. A clorofila, assim, situa-se em membranas no citoplasma chamadas lamelas fotossintetizantes ou cromatóforos.

A fotossíntese bacteriana difere em alguns aspectos da fotossíntese vegetal, principalmente no pigmento que absorve a luz, denominado bacterioclorofila, e na fonte de hidrogênios, que não é resultado da fotólise da água, podendo corresponder ao gás sulfídrico (H₂S), ou ao gás hidrogênio (H₂) etc. Observe:



(fotossíntese bacteriana sulfúrea)



(fotossíntese bacteriana purpúrea)

No primeiro caso, ocorre a liberação de enxofre, e no segundo não há liberação de gases. O oxigênio não é liberado no processo porque ele vem da água, e a água não participa como reagente nessas reações. A bacterioclorofila funciona com luz infravermelha.

QUIMIOSSÍNTESE

Certas bactérias que vivem no solo são capazes de construir suas cadeias de carbono a partir de gás carbônico, água e outras substâncias minerais, sem utilizar energia luminosa.

Tais bactérias provocam a oxidação de substâncias minerais do solo ou da água (amônia, enxofre, sais de ferro etc.) e aproveitam, então, a energia liberada nessas reações químicas para sintetizar substâncias orgânicas.

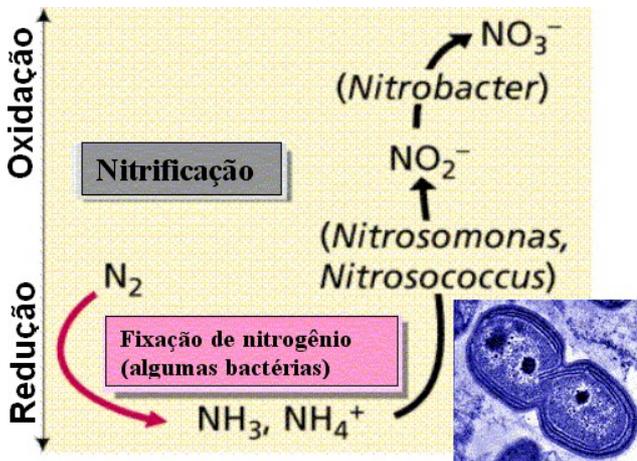
Esse processo – chamado quimiossíntese – pode ser visualizado no esquema da figura a seguir.

Comparada a fotossíntese, a quimiossíntese representa uma fração muito pequena do processo de produção de cadeias de carbono. Entretanto, ela tem importância fundamental no ciclo dos compostos nitrogenados. É graças a um tipo especial de quimiossíntese que os compostos nitrogenados, originados da decomposição da matéria orgânica dos cadáveres, podem ser aproveitados pela planta.

Ex.: Bactérias nitrificantes:

Nitrosomonas: oxidam a amônia a nitritos e a energia liberada nessa oxidação é utilizada na síntese de matéria orgânica.

Nitrobacter: oxidam o nitrito a nitrato e a energia liberada nessa oxidação é utilizada na síntese de matéria orgânica.



EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

01. (ENEM) 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 CO_2 , 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.

02. (UNIFOR) Considere as afirmações abaixo referentes ao processo de fotossíntese.

I. A etapa fotoquímica ocorre nos tilacóides e a etapa química ocorre no estroma dos cloroplastos.

II. O CO_2 utilizado participa ativamente da produção de carboidrato durante a etapa fotoquímica.

III. Na fotólise da água ocorre a quebra da molécula de H_2O sob ação da luz.

IV. A etapa química ocorre sem necessidade direta da luz. É correto o que se afirma em

- a) I e II, somente.
- b) I, III e IV, somente.
- c) II e III, somente.
- d) III e IV, somente.
- e) I, II, III e IV.

03. (UECE) A fotossíntese é o início da maior parte das cadeias alimentares no planeta. Sem ela, os animais e muitos outros seres heterotróficos seriam incapazes de sobreviver, porque a base da sua alimentação encontra-se sempre nas substâncias orgânicas produzidas pelas plantas clorofiladas. Sobre o processo fotossintético, podemos afirmar corretamente que durante a etapa fotoquímica ocorre

- a) liberação do oxigênio e redução do NADP.
- b) fotólise da água e oxidação do NADP a NADPH.
- c) redução do NAD a NADPH e fotofosforilação do ATP.
- d) fotofosforilação do ADP e fixação do carbono.

04. (FUVEST) Em determinada condição de luminosidade (ponto de compensação fótico), uma planta devolve para o ambiente, na forma de gás carbônico, a mesma quantidade de carbono que fixa, na forma de carboidrato, durante a fotossíntese. Se o ponto de compensação fótico é mantido por certo tempo, a planta

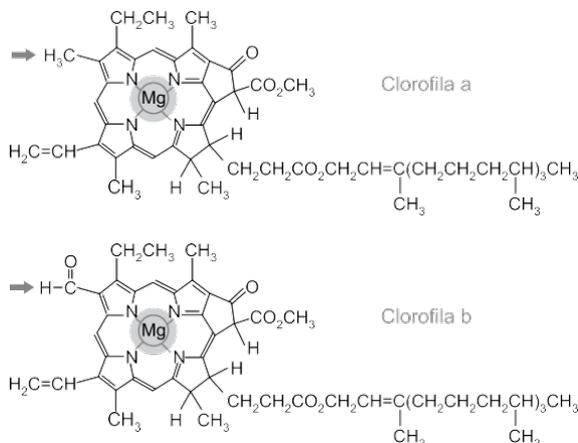
- a) morre rapidamente, pois não consegue o suprimento energético de que necessita.
- b) continua crescendo, pois mantém a capacidade de retirar água e alimento do solo.
- c) continua crescendo, pois mantém a capacidade de armazenar o alimento que sintetiza.
- d) continua viva, mas não cresce, pois consome todo o alimento que produz.
- e) continua viva, mas não cresce, pois perde a capacidade de retirar do solo os nutrientes de que necessita.

05. (UECE) É comum aos processos de fotossíntese e respiração:

- a) a utilização de citocromos como transportadores de elétrons
- b) o oxigênio comoceptor final de elétrons.
- c) o NADPH_2 reduzir o oxigênio.
- d) a glicose ser o agente redutor do CO_2 .

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UNESP 2020) Analise as estruturas das clorofilas a e b.



As clorofilas a e b estão presentes na estrutura celular denominada _____, sendo que a clorofila _____ é a principal responsável pelo processo de fotossíntese. Nas duas clorofilas, o elemento magnésio encontra-se sob a forma de íons com número de carga _____. A diferença entre as duas estruturas é a presença, na clorofila b, de um grupo da função orgânica _____, em vez de um dos grupos metil da clorofila a. As lacunas do texto são preenchidas, respectivamente, por: Dado: Mg (metal alcalino terroso).

- a) cloroplasto; a; 2+ aldeído.
- b) cloroplasto; b; 2+ cetona.
- c) complexo golgiense; a; 1+ aldeído.
- d) cloroplasto; a; 1+ aldeído.
- e) complexo golgiense; b; 2+ cetona.

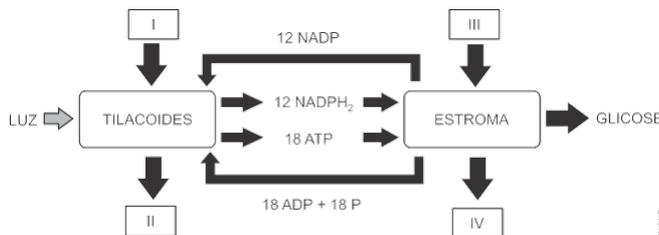
02. (UFRGS 2019) Com relação à fotossíntese, considere as seguintes afirmações.

- I. As reações independentes de luz utilizam moléculas formadas pelas reações dependentes de luz.
- II. As reações dependentes de luz, assim como as independentes, ocorrem nos tilacoides dos cloroplastos.
- III. O ciclo de Calvin utiliza CO₂ e outras moléculas para produzir glicose.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

03. (MACKENZIE 2019) O esquema abaixo resume de forma sucinta as etapas clara e escura da fotossíntese no interior de um cloroplasto.



Em relação ao processo esquematizado, é correto afirmar que

- a) a substância liberada em IV é o oxigênio.
- b) a substância liberada em II é a água.
- c) os átomos de carbono e hidrogênio, presentes na glicose, originam-se das substâncias III e I, respectivamente.
- d) ocorrem, no estroma, a fotólise da água (III) e as fotofosforilações cíclica e acíclica (IV).
- e) a substância utilizada em I é o dióxido de carbono.

04. (UFJF 2019) Um dos primeiros cientistas a se preocupar com a luz no fenômeno da fotossíntese foi o alemão T. W. Engelmann, o qual provou que a clorofila absorve determinados comprimentos de onda da luz branca. Em 1881, utilizando-se de uma alga (*Cladophora*) e de bactérias aeróbias que procuram altas concentrações de oxigênio, Engelmann pôde constatar que, através da decomposição da luz incidida em um pequeno filamento da alga, havia maior ou menor concentração de bactérias, dependendo das cores do espectro. Ele concluiu que, em determinados comprimentos de onda, a fotossíntese era mais intensa, pois onde havia maior quantidade de oxigênio, havia maior concentração de bactérias. Isso mostra que a fotossíntese possui um "espectro de ação" dependente dos diferentes comprimentos de onda da luz branca.

(ALMEIDA et al. *Leitura e escrita em aulas de ciências: luz, calor e fotossíntese nas mediações escolares. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2008. p.95-96.*)

A partir do experimento descrito acima, em qual das cores do espectro Engelmann identificou menor concentração de bactérias?

- a) Violeta.
- b) Azul-arroxeadada.
- c) Verde.
- d) Laranja.
- e) Vermelho.

05. (UECE 2019) Atente para o seguinte trecho sobre respiração aeróbica e assinale a opção que completa correta e respectivamente as lacunas:

"Visto que a _____ é a forma de energia usada pelas células para realizar os processos biológicos, os elétrons ricos em energia capturados na glicólise (NADH) e _____ (NADH e FADH₂) devem ser convertidos para ATP. Este processo é dependente _____ e envolve uma série de transportadores de elétrons, conhecida como _____".

- a) fotossíntese — no ciclo do ácido cítrico — CO_2 — ciclo de Calvin
 b) fosforilação — no ciclo do ácido cítrico — O_2 — cadeia de transporte de elétrons
 c) fosforilação — no ciclo de Calvin — O_2 — cadeia de transporte de elétrons
 d) fotofosforilação — no ciclo de Calvin — O_2 — ciclo do ácido cítrico

06. (UFPR 2018) Considerando a fotossíntese e a respiração celular aeróbica, identifique como verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes afirmativas:

- () Quando a taxa de fotossíntese é maior que a taxa de respiração celular, há maior disponibilidade de carboidratos para a planta.
 () Em plantas, a taxa de fotossíntese é sempre superior à taxa de respiração celular aeróbica.
 () As taxas de fotossíntese e de respiração celular podem se equivaler, de modo que todo o gás carbônico produzido na respiração é utilizado na fotossíntese.
 () A fotossíntese produz carboidratos, que são utilizados na respiração celular, e a respiração celular transforma os carboidratos em dióxido de carbono, que é utilizado na fotossíntese.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- a) F – V – V – F.
 b) V – F – V – V.
 c) V – V – F – V.
 d) F – F – F – V.
 e) V – F – F – F.

07. (UEFS 2018) Cientistas construíram uma máquina que captura radiação solar em sua parte superior e H_2O e CO_2 em suas laterais. No interior da máquina, a radiação solar e os gases capturados reagem com o elemento químico cério. A máquina, então, expelle gás oxigênio, gás hidrogênio e monóxido de carbono, como mostra a figura.



(www.folha.uol.com.br, 24.10.2010)

O funcionamento dessa máquina assemelha-se à etapa

- a) química da fotossíntese.
 b) fotoquímica da fotossíntese.
 c) química da fermentação alcoólica.
 d) da glicólise da respiração celular.
 e) de fotofosforilação da respiração celular.

08. (FAMERP 2018) As algas são importantes produtoras de gás oxigênio, substância fundamental para a maioria dos seres vivos. O gás oxigênio liberado pelas algas provém das

- a) moléculas de piruvato, derivadas da glicólise que ocorre na respiração celular.
 b) moléculas de água, após a fotólise que ocorre na fotossíntese.
 c) moléculas de glicose, após a glicólise que ocorre na respiração celular.
 d) moléculas de nitrato, derivadas da oxidação durante a quimiossíntese.
 e) moléculas de gás carbônico, após a etapa química da fotossíntese.

09. (ENEM PPL 2018) A fotossíntese é um processo físico-químico realizado por organismos clorofilados. Nos vegetais, é dividido em duas fases complementares: uma responsável pela síntese de ATP e pela redução do e a outra pela fixação de carbono.

Para que a etapa produtora de ATP e NADPH ocorra, são essenciais

- a) água e oxigênio.
 b) glicose e oxigênio.
 c) radiação luminosa e água.
 d) glicose e radiação luminosa.
 e) oxigênio e dióxido de carbono.

10. Plantas CAM são adaptadas ao ambiente árido, onde ficam expostas à intensa luminosidade e ao estresse hídrico. Elas são capazes de abrir seus estômatos à noite e fechá-los durante o dia. Assim, no período noturno, absorvem dióxido de carbono, armazenando-o sob a forma de ácido málico. Com a incidência da luz solar, todo o malato que foi produzido libera CO_2 que será utilizado na síntese de outras substâncias orgânicas.

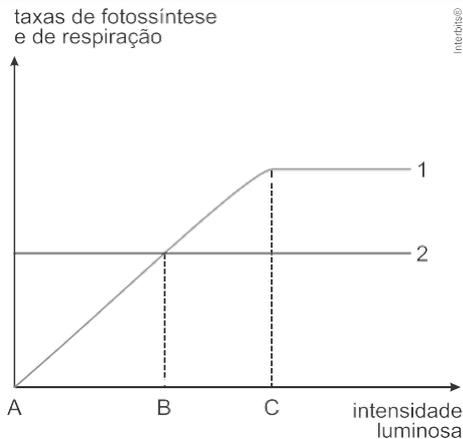
Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/plantas-cam/37796/>>.

Acesso: 01 out. 2017 (adaptado).

Esse mecanismo adaptativo permite às plantas CAM

- a) realizarem fotossíntese durante a noite.
 b) captarem uma maior quantidade de CO_2 .
 c) estocarem o excesso de produtos da fotossíntese.
 d) economizarem quantidades significativas de água.

11. (UNESP 2018) Os gráficos apresentam as taxas de respiração e de fotossíntese de uma planta em função da intensidade luminosa a que é submetida.



De acordo com os gráficos e os fenômenos que representam,

- no intervalo A-B a planta consome mais matéria orgânica que aquela que sintetiza e, a partir do ponto B, ocorre aumento da biomassa vegetal.
- no intervalo A-C a planta apenas consome as reservas energéticas da semente e, a partir do ponto C, passa a armazenar energia através da fotossíntese.
- a linha 1 representa a taxa de respiração, enquanto a linha 2 representa a taxa de fotossíntese.
- no intervalo A-C a planta se apresenta em processo de crescimento e, a partir do ponto C, há apenas a manutenção da biomassa vegetal.
- no intervalo A-B a variação na intensidade luminosa afeta as taxas de respiração e de fotossíntese e, a partir do ponto C, essas taxas se mantêm constantes.

12. (UFRGS 2017) No bloco superior abaixo, são citadas duas estruturas presentes nos cloroplastos; no inferior, características dessas estruturas.

Associe adequadamente o bloco inferior ao superior.

- Tilacoides
- Estroma

- () A luz absorvida pelo pigmento é transformada em energia química.
- () Enzimas catalisam a fixação de CO_2 .
- () Parte do gliceraldeído 3 fosfato resulta na produção de amido.
- () A oxidação de moléculas de água produz elétrons, prótons e O_2 .

13. (UNESP 2017) Em uma matéria sobre o papel das plantas na redução da concentração atmosférica dos gases do efeito estufa, consta a seguinte informação:

O vegetal “arranca” o carbono, que é o C do CO_2 para usar de matéria-prima para o seu tronco, e devolve para a atmosfera o O_2 ou seja, oxigênio.

Tal informação refere-se à

- respiração celular e está correta, uma vez que, nas mitocôndrias, o carbono do CO_2 é disponibilizado para a síntese de tecidos vegetais e o O_2 é devolvido para a atmosfera.
- fotossíntese e está correta, uma vez que, através desse processo, a planta utiliza o carbono na síntese de seus tecidos, devolvendo para a atmosfera o oxigênio do CO_2 .
- fotossíntese e está incorreta, uma vez que o carbono do CO_2 é utilizado na síntese de carboidratos que serão consumidos na respiração celular, mas não como matéria-prima do tronco.
- fotossíntese e está incorreta, uma vez que o oxigênio liberado para atmosfera provém da reação de decomposição da água, e não do CO_2 que a planta capta da atmosfera.
- respiração celular e está incorreta, uma vez que o O_2 liberado para atmosfera tem origem na quebra de carboidratos na glicólise, da qual também resulta o carbono que irá compor os tecidos vegetais.

14. (ENEM PPL 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>.

O processo biológico que se assemelha ao descrito é a

- fotossíntese.
- fermentação.
- quimiossíntese.
- hidrólise de ATP.
- respiração celular.

15. (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:

- utilização de água.
- absorção de fótons.
- formação de gás oxigênio.
- proliferação dos cloroplastos.
- captação de dióxido de carbono.

16. (UNIOESTE 2017) O processo de fotossíntese consiste, basicamente, na produção de compostos orgânicos a partir do CO₂ e H₂O utilizando energia luminosa. Este processo ocorre nos organismos clorofilados, tais como as plantas.

Em relação à fotossíntese nos vegetais, são feitas as seguintes afirmativas:

- A energia luminosa solar é captada por pigmentos presentes nos cloroplastos, sendo os principais denominados clorofilas **a** e **b**
- Quanto maior a concentração de CO₂ e a intensidade luminosa, maior será a taxa fotossintética;
- O único fator limitante do processo é a energia luminosa, uma vez que o processo não ocorre na ausência de luz;
- O ponto de compensação fótico corresponde à intensidade de energia luminosa na qual as taxas de fotossíntese e de respiração se equivalem.

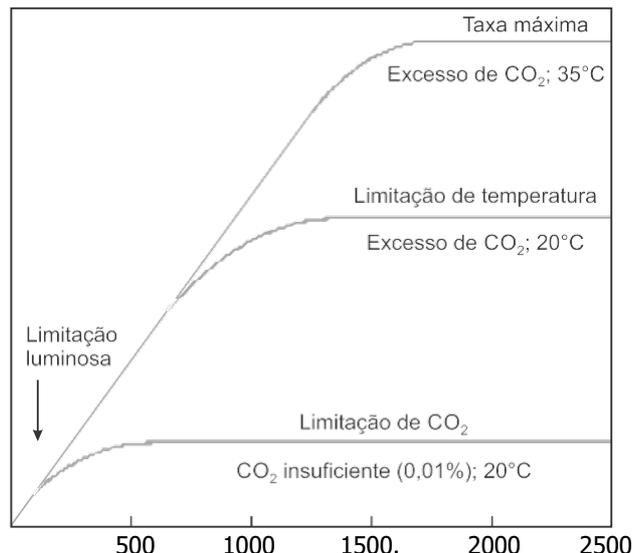
São VERDADEIRAS as afirmativas

- I e II.
- I e IV.
- II e III.
- I e III.
- III e IV.

17. (UECE 2017) A fotossíntese ou o processo pelo qual a energia radiante do Sol é capturada e transformada em matéria orgânica é, sem dúvida, fundamental para a existência da enorme diversidade de vida existente sobre a Terra. Sobre a fotossíntese é correto afirmar que

- as plantas C₃ atingem suas taxas máximas de fotossíntese (TMF) em intensidades de radiação solar relativamente baixas.
- a produção de matéria orgânica acontece pelo Ciclo de Calvin, fase clara do processo.
- as plantas C₄ só atingem as taxas máximas de fotossíntese sob baixas intensidades de radiação solar.
- a transformação do CO₂ em matéria orgânica produz a energia acumulada pelo ATP.

18. (PUCSP 2017) O botânico inglês F.F. Blackman notabilizou-se por seus estudos sobre fotossíntese vegetal. Ele mediu os efeitos de diferentes intensidades luminosas, concentrações de CO₂ e temperaturas sobre a taxa de fotossíntese. Alguns dos resultados de seus experimentos podem ser visualizados no gráfico a seguir.



Considerando o gráfico ao lado e os seus conhecimentos sobre esse processo biológico, pode-se concluir que, na fotossíntese,

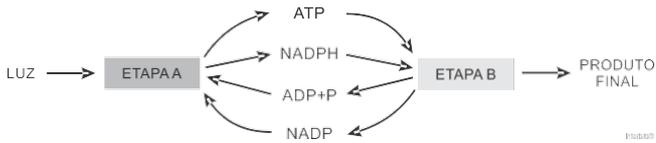
- a síntese de carboidratos é um fenômeno que não depende da temperatura.
- o fator luz é o único responsável pelas variações na taxa fotossintética.
- ocorrem fenômenos que dependem diretamente da luz e fenômenos independentes da luz.
- as limitações de CO₂ e de temperatura são superadas quando há bastante luz.

19. (UECE 2016) Segundo Campbell (2005), Aristóteles tinha observado e descrito que as plantas necessitavam de luz solar para adquirir a sua cor verde. No entanto, só em 1771, a fotossíntese começou a ser estudada por Joseph Priestley. Este químico inglês, confinando uma planta numa redoma de cristal comprovou a produção de uma substância que permitia a combustão e que, em certos casos, avivava a chama de um carvão em brasa. Posteriormente, concluiu-se que a substância observada era o gás oxigênio.

Sobre o processo da fotossíntese, é INCORRETO afirmar que

- a equação simplificada da fase fotoquímica é $12\text{H}_2\text{O} + 12\text{NADP} + 18\text{ADP} + 18\text{P}^- (\text{luz}) \rightarrow 18\text{ATP} + 6\text{NADPH}_2 + 12\text{O}_2$.
- a fase fotoquímica, que é a primeira fase do processo fotossintético, ocorre nos tilacoides
- na transferência de elétrons entre os aceptores, os elétrons vão liberando energia gradativamente e esta é aproveitada para transportar hidrogênio iônico de fora para dentro do tilacoide, reduzindo o pH do interior deste.
- a fase denominada de ciclo de Calvin ou ciclo das pentoses ocorre no estroma do cloroplasto.

20. (FAC. ALBERT EINSTEIN - MEDICINA 2016) Analise o esquema abaixo, que se refere, de forma bem simplificada, ao processo de fotossíntese.



Suponha que uma cultura de algas verdes seja iluminada e receba gás carbônico com o isótopo C - 14 e água com o isótopo O - 18

Pode-se afirmar que

- a) o gás carbônico participa das etapas A e B e prever que ocorra produção de glicose com o isótopo C – 14 nas duas etapas.
- b) o gás carbônico participa apenas da etapa A e prever que ocorra produção de glicose com o isótopo C – 14 nesta etapa.
- c) a água participa das etapas A e B e prever que ocorra liberação de oxigênio com o isótopo C - 18 nas duas etapas.
- d) a água participa apenas da etapa A e prever que ocorra liberação de oxigênio com o isótopo C - 18 nesta etapa.

GABARITOS E PADRÕES DE RESPOSTAS

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- 01.
- 02.
- 03.
- 04.
- 05.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. [A]

[Resposta do ponto de vista da disciplina de Biologia]

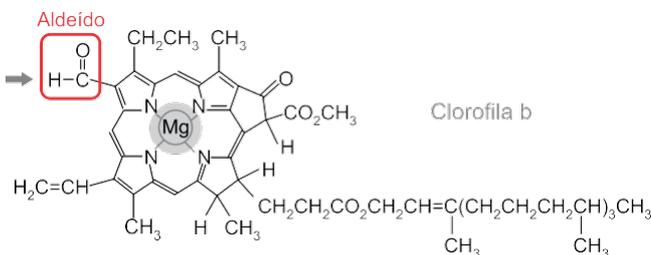
As clorofilas são pigmentos fotossintetizantes presentes nos tilacoides dos cloroplastos das algas e plantas.

[Resposta do ponto de vista da disciplina de Química]

As clorofilas a e b estão presentes na estrutura celular denominada cloroplasto, organela onde é realizada a fotossíntese, sendo que a clorofila a é a principal responsável por este processo.

O magnésio pertence ao grupo 2 da tabela periódica (2 e de valência):

Mg²⁺.



02. [C]

[II] Incorreta. As reações independentes da luz ocorrem no estroma dos cloroplastos.

03. [C]

Na glicose, os átomos de carbono foram originados de III, isto é, de moléculas de CO₂. Enquanto os átomos de hidrogênio são provenientes da fotólise da água, substância indicada em I.

04. [C]

Engelmann identificou menor concentração de bactérias na cor verde, sendo que a luz é melhor absorvida no espectro azul e vermelho, pois nesses comprimentos de onda a intensidade de absorção é alta, assim, a taxa de fotossíntese aumenta, liberando maior quantidade de oxigênio para as bactérias aeróbias.

05. [B]

A fosforilação é a forma de energia usada pelas células para realizar os processos biológicos, os elétrons ricos em energia capturados na glicólise (NADH) e no ciclo do ácido cítrico (de

Krebs), NADH e FADH₂ devem ser convertidos em ATP. Esse processo é dependente de O₂ e envolve uma série de carregadores de elétrons, conhecida como cadeia de transporte de elétrons.

06. [B]

Em plantas que recebem luz abaixo ou igual ao seu ponto de compensação fótico, a taxa de fotossíntese pode ser menor ou igual à sua taxa respiratória, respectivamente.

07. [B]

O funcionamento da máquina assemelha-se à etapa fotoquímica da fotossíntese, sendo a fase que depende da luz, onde a energia luminosa é captada pelas moléculas de clorofila, transformando-se em energia química.

08. [B]

Durante a fotossíntese, na fase clara, a água é decomposta na presença de luz, reação chamada de fotólise da água, onde as moléculas de água são quebradas, liberando oxigênio (O₂).

09. [C]

Durante a fase fotoquímica (luminosa) da fotossíntese, os vegetais utilizam a energia da luz e da água para a síntese do ATP e do NADPH.

10. [D]

Por ocorrerem em regiões desérticas ou muito secas, as plantas CAM são capazes de manter os estômatos fechados durante o dia, evitando significativamente a perda de água e sem prejudicar a fotossíntese, pois o CO₂ fixado em forma de ácido málico durante à noite é utilizado sob grande intensidade luminosa durante o dia.

11. [A]

No intervalo A-B a planta recebe iluminação igual ou abaixo de seu ponto de compensação fótico. Consequentemente, ela consome mais matéria orgânica do que sintetiza. A partir do ponto B, ocorre aumento da biomassa vegetal, pois o vegetal recebe luz acima de seu ponto de compensação fótico.

12. [A]

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é: 1 – 2 – 2 – 1.

13. [D]

A informação refere-se à fotossíntese e está incorreta, uma vez que o oxigênio liberado no processo resulta da reação de decomposição da água e não do CO₂ que o vegetal retira da atmosfera.

14. [A]

A transferência de elétrons entre substâncias proteicas condutoras produz a corrente elétrica que caracteriza a fase fotoquímica da fotossíntese.

15. [B]

Os nanotubos de carbono promovem diretamente a absorção de fótons de comprimentos de onda habitualmente não

utilizadas pelos cloroplastos, aumentando a eficiência fotossintética.

16. [B]

[II] Falsa. A taxa de fotossíntese também varia com a temperatura ambiental.

[III] Falsa. O processo fotossintético é limitado pela disponibilidade ambiental de água e nutrientes minerais.

17. [A]

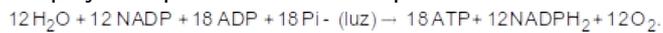
As plantas C3 atingem suas taxas máximas de fotossíntese em intensidades luminosas relativamente baixas.

18. [C]

A fotossíntese apresenta duas fases, a clara e a escura, apresentando fatores que dependem da intensidade luminosa, como a quebra da água e fotofosforilação, e fatores independentes da intensidade luminosa, como a fixação do carbono em moléculas orgânicas.

19. [A]

A equação simplificada da fase fotoquímica da fotossíntese é:



20. [D]

O experimento demonstra que a água participa apenas da etapa A e permite prever que ocorra liberação de oxigênio com o isótopo O - 18 nessa etapa como consequência da fotólise da molécula de água.