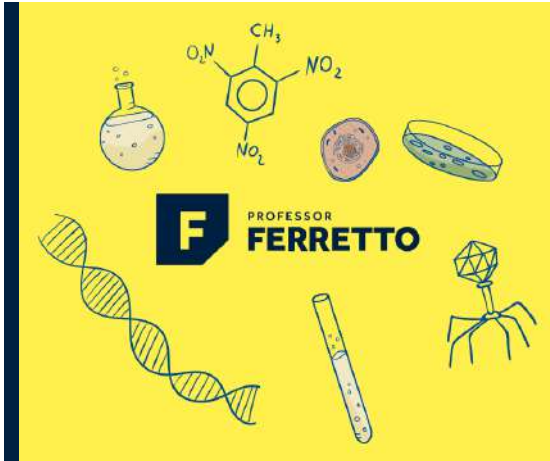


Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Fotossíntese: definição e importância](#)
- [Plastos](#)
- [Ação da clorofila](#)
- [Etapas da fotossíntese](#)
- [Etapa Fotoquímica da Fotossíntese](#)
- [Fotofosforilação cíclica](#)
- [Fotofosforilação acíclica](#)
- [Fotólise da água ou etapa de Hill](#)
- [Experimento de Calvin](#)
- [Etapa Química da Fotossíntese](#)

FOTOSSÍNTESE I

CLOROPLASTOS E FOTOSSÍNTESE

Todos os organismos necessitam de nutrientes para sobreviver porque é deles que a energia é extraída para a realização das funções vitais. E de onde vem a energia contida nos nutrientes?

Os nutrientes, moléculas orgânicas, contêm ligações químicas entre carbono e outros compostos que correspondem à energia desses nutrientes. Assim, as moléculas inorgânicas recebem energia, armazenada em ligações, e passam a moléculas orgânicas, nutrientes.

Existem dois processos pelo qual a energia pode ser fornecida à matéria inorgânica para a formação de matéria orgânica. O principal deles, a fotossíntese, utiliza a energia da luz solar, e o outro, a quimiossíntese, utiliza a energia de oxidação de outros compostos inorgânicos.

Toda matéria orgânica disponível para a nutrição dos seres vivos é formada por algum destes dois processos, principalmente o primeiro. Assim, a energia contida nas ligações químicas dos nutrientes vem, indiretamente, do sol.

Nem todo organismo é capaz de transformar a matéria inorgânica em matéria orgânica utilizando energia proveniente do meio. Esses organismos são ditos autótrofos, e podem ser então fotossintetizantes ou quimiossintetizantes. Todos os outros organismos, incapazes de produzir matéria orgânica, dependem dos autótrofos, que são a base de todas as cadeias alimentares no planeta.

FOTOSSÍNTESE: DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA

A fotossíntese é o processo anabólico que utiliza a energia da luz para a produção de matéria orgânica, na forma de carboidratos, principalmente, a partir de matéria inorgânica, na forma de água e gás carbônico.

Pode-se argumentar também que a fotossíntese é um processo de **redução** do gás carbônico. É também um processo de **conversão de energia luminosa** em **energia química** nas ligações entre os átomos das moléculas orgânicas.

Os organismos capazes de realizar tal processo, os autótrofos fotossintetizantes, correspondem aos **vegetais, algas e cianobactérias** (algas azuis, antigamente chamadas cianofíceas), além de **algumas bactérias**.

A importância da fotossíntese consiste em:

- **produzir a matéria orgânica** que é a base da nutrição da imensa maioria dos ecossistemas da biosfera;
- **liberar gás oxigênio**, utilizado por todos os organismos aeróbicos no planeta (inclusive, acredita-se que o oxigênio só passou a existir na atmosfera a partir do surgimento da fotossíntese).

Estas duas funções são realizadas na natureza quase que só pela fotossíntese, uma vez que a quimiossíntese contribui de modo irrisório.

Relação entre fotossíntese e combustíveis fósseis

Mesmo moléculas orgânicas como as do petróleo têm uma origem indireta na fotossíntese. **Petróleo**, assim como **carvão mineral** e **gás natural**, são **combustíveis fósseis**.

Combustíveis fósseis são restos orgânicos de seres pré-históricos, submetidos a transformações químicas por milhões de anos e altíssimas pressões.

Isso quer dizer que as moléculas orgânicas dos combustíveis fósseis são derivadas das moléculas orgânicas de animais e plantas, que foram produzidas pela fotossíntese. Assim, a energia dos combustíveis fósseis é uma energia química proveniente da luz, que foi assim transformada pela ação de seres fotossintetizantes.

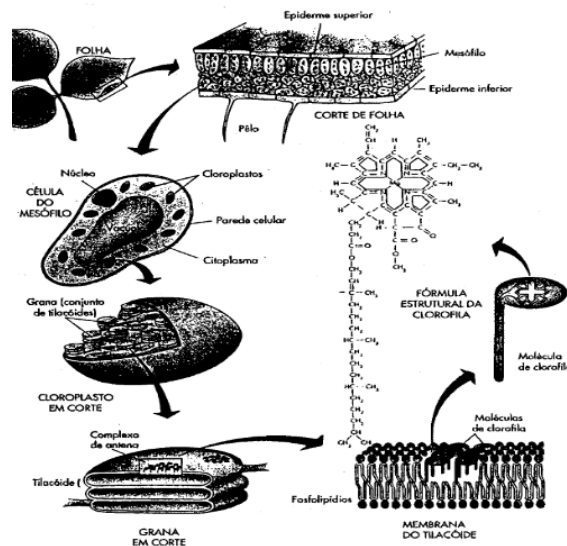
Tome nota:

PLASTOS

Presentes apenas em células vegetais e de algas eucarióticas, os **plastos** são organelas normalmente ovaladas, relacionadas ao armazenamento de substâncias ou à fotossíntese.

Como a mitocôndria, o plasto é formado por **duas membranas**, uma externa e outra interna, com um espaço intermembrana entre elas. A membrana interna sofre invaginações denominadas **lamelas**. Estas lamelas sofrem dobramentos que originam sacos achatados denominados **tilacóides**, semelhantes a moedas. Estes tilacóides se empilham e originam conjuntos chamados **grana** (singular: **granum**).

Nos plastos relacionados à fotossíntese, a membrana interna contém em sua organização, além dos fosfolipídios, **clorofila**, principal pigmento fotossintetizante. A clorofila é um **lipídio carotenoide**, tendo 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, se localizando junto aos fosfolipídios. Como **lamelas e tilacóides** se formam a partir da membrana interna, eles também possuem em sua estrutura a clorofila.



Quando um plasto se auto-duplica, origina um **pró-plasto** ou **proplastídeo**. Este pode originar leucoplastos ou cromoplastos. Os **leucoplastos** (do grego *leukós*, 'branco') não possuem pigmentos fotossintetizantes e têm função de armazenamento. Os **cromoplastos** (do grego *kromos*, 'cor') possuem pigmentos fotossintetizantes e realizam a fotossíntese.

Se os proplastídeos estiverem num ambiente sem contato com a luz, originarão leucoplastos. Se estiverem num iluminado, acumularão pigmentos fotossintetizantes e originarão cromoplastos. Um leucoplasto colocado no claro adquirirá pigmentos fotossintetizantes e passará a cromoplasto. Da mesma maneira, um cromoplasto colocado no escuro perderá seus pigmentos fotossintetizantes e passará a leucoplasto.

Tome nota:

TIPOS DE LEUCOPLASTOS:

- **Oleoplastos:** armazenam óleo e são encontrados principalmente em sementes de oleaginosas, como amendoim, girassol, etc;
- **Amiloplastos:** armazenam amido e são encontrados em tubérculos, como batata inglesa, e raízes tuberosas, como mandioca, etc;
- **Proteoplastos:** armazenam proteínas e são encontrados em sementes de leguminosas, como soja, feijão, etc.

TIPOS DE CROMOPLASTOS:

- **Eritroplastos:** contêm pigmentos eritrofilas, tendo cor vermelha e sendo encontrados em algas vermelhas (rodofíceas);
- **Feoplastos:** contêm os pigmentos feofilas, tendo cor marrom e sendo encontrados em algas pardas (feofíceas);
- **Xantoplastos:** contêm pigmentos xantofilas, tendo cor amarela e sendo encontrados em algas verdes (clorofíceas) e vegetais;
- **Cloroplastos:** contêm principalmente o pigmento clorofila, tendo cor verde e sendo encontrados em algas verdes (clorofíceas) e vegetais.

A captação da energia da luz do sol é possível através de substâncias denominadas pigmentos fotossintetizantes, como:

- **clorofilas**, de cor verde, sendo o principal deles; existem cinco tipos de clorofila, a, b, c, d e e, sendo que os vegetais superiores apresentam as clorofilas a e b;
- **carotenos** e **xantofilas**, de cor amarelada;
- **ficoblinas**, de cor azul (ficocianinas) ou vermelha (ficoeritrina).

Ficobilinas, encontradas em algas como as **rodofíceas**, são extremamente eficientes na captação de comprimentos de luz na faixa do **verde** e **azul**, praticamente os únicos encontrados em águas profundas. Assim, são o grupo de algas mais eficazes na realização de fotossíntese em **águas profundas**, e por isso mesmo são recordistas de profundidade entre as algas.

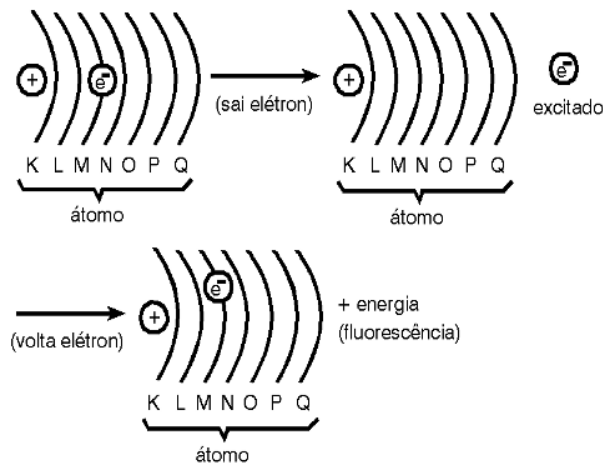
AÇÃO DA CLOROFILA

Os pigmentos fotossintetizantes têm a propriedade de absorver determinados comprimentos de onda de luz e refletir outros (a cor do pigmento é a cor por ele refletida; assim, a clorofila não absorve o verde, refletindo-o). A energia da luz absorvida por íons metálicos dos pigmentos, e é utilizada para a liberação de elétrons existentes em átomos metálicos presentes nos pigmentos fotossintetizantes.

Assim, quando a luz incide sobre a clorofila, o átomo de magnésio existente em sua estrutura, perde elétrons e se ioniza, passando a forma de cátion. Isso é quimicamente explicado. Cada camada eletrônica tem uma energia definida, sendo que quanto mais externa a camada, maior essa energia. Se energia é fornecida aos elétrons de certa camada, sua energia aumenta, e ele passa para uma camada mais externa. Se mais energia é fornecida, o elétron passa para camadas cada vez mais externa e pode até sair do átomo.

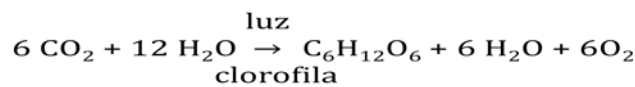
A energia que deve ser fornecida para um elétron para ele passar de uma camada para outra mais externa é denominada quantum, e é fornecida ao átomo de magnésio da clorofila por fótons, unidades de energia da luz (1 fóton = 1 quantum).

Quando o elétron liberado volta para sua camada eletrônica de origem, a energia que ele absorveu da luz é liberada na forma de uma luz vermelha. Esse fenômeno é conhecido como **fluorescência**. Ao irradiarmos clorofila pura com luz branca, por exemplo, ela apresentará fluorescência.



Entretanto, ao irradiarmos o cloroplasto com luz branca, não há fluorescência. Nesse caso, a luz forneceu energia para retirar o elétron. Quando o elétron voltou a sua camada de origem, entretanto, a energia absorvida não é liberada na forma de fluorescência: ela é aproveitada pelo cloroplasto para a produção de ATP. Este ATP, por sua vez, é utilizado na síntese de matéria orgânica na fotossíntese.

De maneira resumida, a clorofila fornece energia da luz para o cloroplasto para que este forme ATP.



ETAPAS DA FOTOSSÍNTESE

Todo o processo fotossintético ocorre no interior da organela conhecida como **cloroplasto**. Tem se duas etapas no processo:

- A **etapa fotoquímica** ou **clara** ou **luminosa** engloba as chamadas reações de claro e dependem da luz e da clorofila para ocorrer.

Local onde ocorre: como a clorofila faz parte da bicamada lipídica da membrana interna do cloroplasto, essa etapa ocorre em nela e em suas estruturas derivadas, como **lamelas, tilacoídes** e **grana**.

Substratos: luz, clorofila e água, além de **ADP e P**, e **NADP**.

Produtos: **ATP, NADPH₂** e **O₂**.

- A **etapa química** ou **enzimática** ou de **Blackman** engloba as chamadas reações de escuro e não dependem da luz, não necessitando de clorofila.

Local onde ocorre: **estroma**

Substratos: **ATP e NADPH₂**, derivados da fase clara, e **CO₂**.

Produtos: **Glicose, ADP e P** e **NADP**.

O NADP é um aceptor intermediário de hidrogênios. Em outras palavras, ele recolhe o hidrogênio temporariamente na fase clara para depois fornecê-lo ao gás carbônico na fase escura.

Relação entre as duas etapas

A fase clara produz ATP e NADPH₂ que serão usados pela fase escura. Perceba que a fase clara é independente da fase escura, pois só precisa de luz, clorofila e água, nenhuma dessas substâncias provenientes da fase escura. Já a fase escura depende da fase clara em relação ao ATP e ao NADPH₂.

Teoricamente, para uma planta fabricar glicose no escuro, bastaria fornecer a ela os produtos da fase clara, ou seja, os já citados ATP e NADPH₂.

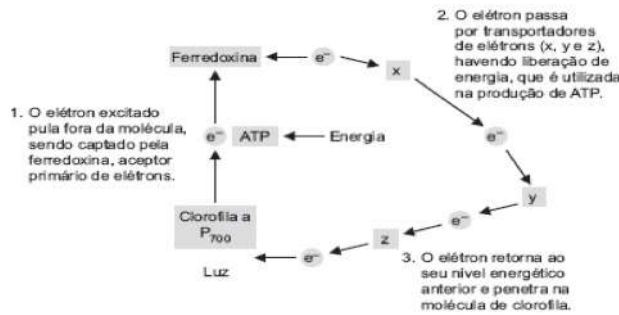
Tome nota:

ETAPA FOTOQUÍMICA DA FOTOSÍNTESE

Utiliza a clorofila e a luz para a produção de ATP e NADPH₂. Nela, ocorrem três processos: **fotofosforilação cíclica**, **fotofosforilação acíclica** e **fotólise da água**.

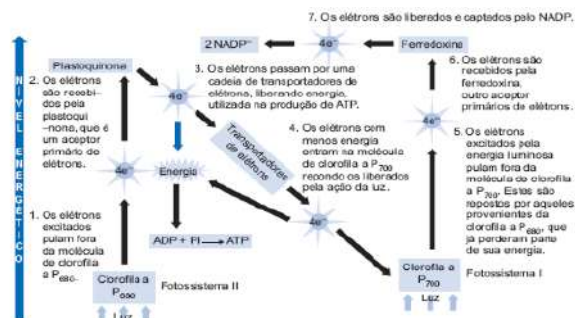
FOTOFOSFORILAÇÃO CÍCLICA

Fotofosforilação é a adição de fosfato ao ADP na presença da luz, formando ATP. Este processo envolve apenas o fotossistema I e produz apenas ATP. Nesse processo de fotofosforilação cíclica, a luz incide sobre a clorofila a P700 e isso promove a liberação de elétrons. Esses são recolhidos pela ferredoxina (aceptor intermediária de elétrons do PS I), e passam por proteínas denominadas citocromos, voltando à clorofila a P700 (daí o termo cíclico). O elétron nesse percurso libera a energia absorvida da luz, que é utilizada para a formação de ATP a partir de ADP e P.



FOTOFOSFORILAÇÃO ACÍCLICA

Este processo envolve apenas os fotossistemas I e II e produz ATP e NADP reduzido. Neste processo, como na fotofosforilação cíclica, a luz incide sobre a clorofila a P700 do PS I e isso promove a liberação de elétrons. Esses são recolhidos pela ferredoxina (aceptor intermediária de elétrons do PS I), e passam por proteínas denominadas citocromos. A diferença é que estes elétrons não retornam à clorofila a P700, indo para o NADP, que ganha os elétrons e fica reduzido (NADP⁻). Deste modo, a clorofila a P700 fica oxidada. Paralelamente, a luz incide sobre a clorofila a P680 do PS II e isso promove a liberação de elétrons. Esses são captados pela plastoquinona (aceptor intermediário de elétrons do PS II), e passam aos citocromos. Entretanto, eles não voltam para a clorofila a P680, mas sim se ligam à clorofila a P700 oxidada no momento, que volta ao normal. Quem fica oxidada agora é a clorofila a P680. Da mesma maneira, os elétrons nesse percurso liberam a energia absorvida da luz, que é utilizada para a formação de ATP a partir de ADP e P.

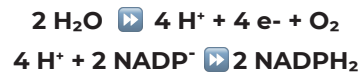


Se não há NADP disponível, quando os elétrons saem do último citocromo do fotossistema I, eles retornam à clorofila a P700, sendo o processo então a fotofosforilação cíclica. Se há NADP disponível no momento, os elétrons que saem do último citocromo do fotossistema I vão para o NADP e a clorofila a P700 fica oxidada, o que corresponde ao processo de fotofosforilação acíclica. Este é mais vantajoso porque produz também o NADP reduzido.

Note, entretanto, que a fotofosforilação acíclica deixa duas coisas "incompletas": a clorofila a P680 ainda está sem seus elétrons liberados pela ação da luz (diz-se que ela está oxidada) e o NADP está com elétrons na forma de NADP^+ (diz-se que ele está reduzido). Isso é "consertado" na fotólise da água.

FOTÓLISE DA ÁGUA OU ETAPA DE HILL

Fotólise da água é a quebra da molécula de água sob a ação da luz. Ela libera oxigênio para a atmosfera (lembre que o oxigênio liberado na fotossíntese vem da água), além de produzir íons H^+ e elétrons livres. Estes produtos vão se unir aos produtos da fotofosforilação acíclica: o H^+ une-se ao NADP^+ , formando NADPH_2 ; os elétrons unem-se à clorofila a P680 oxidada, levando-a ao estado de clorofila a P680 normal.

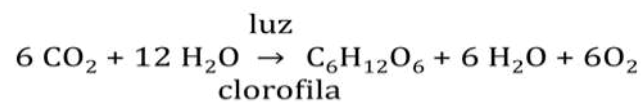


Na etapa fotoquímica, portanto, há produção de ATP e NADPH_2 que serão utilizados na fase escura. O gás oxigênio é liberado para a atmosfera. Aliás, todo o oxigênio da fotossíntese é proveniente da fotólise da água.

EXPERIMENTO DE CALVIN

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 oxigênio liberado na reação era dotado do isótopo pesado O_{18} , bem como o oxigênio na glicose correspondia ao isótopo normal O_{16} . **Assim, descobriu-se que todo oxigênio liberado na fotossíntese é proveniente da molécula de água.**

Como existem 6 átomos de oxigênio na água consumida no processo e são liberados 12 átomos de oxigênio no gás oxigênio, a equação da fotossíntese corretamente balanceada é a descrita abaixo:

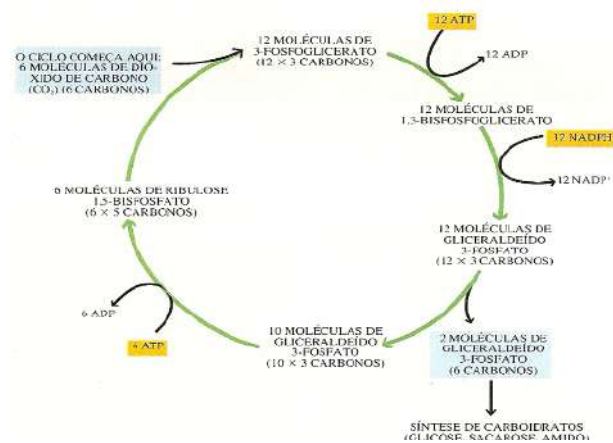


Agora tem-se que os 12 átomos de oxigênio na água dos reagentes correspondem aos 12 átomos de oxigênio no gás oxigênio do processo.

Tome nota:

ETAPA QUÍMICA DA FOTOSÍNTESE

Essa etapa ocorre no estroma e não necessita de luz. As reações escuras correspondem ao ciclo de Calvin Benson ou ciclo das pentoses. Nele, o CO_2 é reduzido pelo NADPH_2 da fase clara com a energia do ATP. A figura a seguir resume este ciclo.



A enzima **Ribulose-Carboxilase-Oxidase** ou **Rubisco** é a responsável pela reação inicial do ciclo, que consiste na adição de gás carbônico à **ribulose-1,5-difosfato** ou **RuDP**, que é a pentose que justifica o termo “ciclo das pentoses”.

No ciclo de Calvin, como se pode ver, a partir do CO_2 e do NADPH_2 , forma-se frutose, e a partir dessa, glicose. Esse é o objetivo da etapa escura.

A partir do PGAL (aldeído fosfoglicérico) da fase escura, pode-se produzir outras moléculas orgânicas como aminoácidos, bases nitrogenadas, ácidos graxos, glicerol etc.

Tome nota: