

FOTOSSÍNTESE E QUIMIOSSÍNTESE **2** TÓPICO

Ana Lucia Brandimarte
Déborah Yara Alves Cursino dos Santos

- 2.1** Introdução
- 2.2** Em qual parte do ser vivo ocorre a fotossíntese?
- 2.3** O processo da fotossíntese
 - 2.3.1** Os pigmentos fotossintéticos
 - 2.3.2** Reações luminosas da fotossíntese
 - 2.3.3** Reações de fixação do carbono: ciclo de Calvin
 - 2.3.4** Outras vias de fixação do carbono - plantas C4 e CAM
- 2.4** Fotorrespiração
- 2.5** Fotossíntese anoxigênica
- 2.6** Quimiossíntese

2.1 Introdução

O sol é a fonte primária de energia para todas as formas de vida. Plantas, algas e algumas bactérias utilizam a energia da luz do sol durante a fotossíntese. A fotossíntese é um processo de reações físico-químicas através das quais as plantas recebem energia luminosa para sintetizar (ou produzir) compostos orgânicos. Há dois tipos de fotossíntese: a fotossíntese oxigênica e a fotossíntese anoxigênica.

Fotossíntese oxigênica é o processo usado pelas plantas, algas e algumas bactérias fotossintéticas, no qual o dióxido de carbono (CO_2) é reduzido a um carboidrato, e elétrons são removidos da água, liberando oxigênio no ar. Esse processo compreende duas rotas: as reações dependentes da luz e as independentes (Figura 2.1).

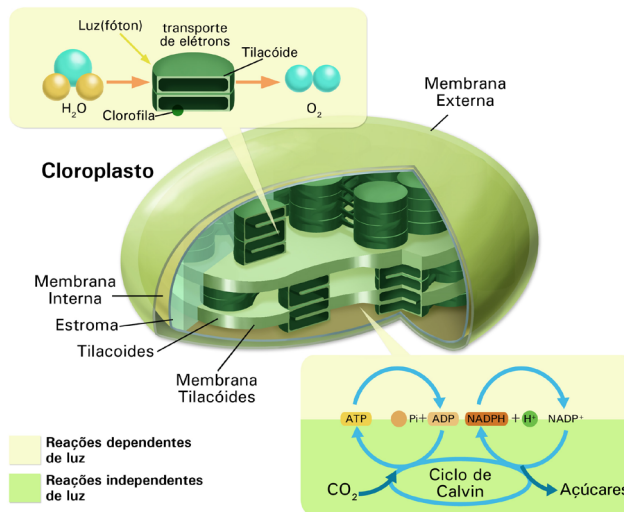


Figura 2.1: Visão geral da fotossíntese. As duas fases estão representadas. As reações dependentes da luz ocorrem nos tilacóides, e as independentes da luz ocorrem no estroma / Fonte: Cepa

A importância da fotossíntese oxigênica não era reconhecida até pouco tempo. Pensadores como Aristóteles e outros filósofos gregos acreditavam que as plantas retiravam todos os seus nutrientes do solo. Jan Baptista van Helmont (1577-1644) foi quem pela primeira vez sugeriu que o solo não era a única fonte de nutrição do vegetal. No final do sec. XVIII, o cientista Joseph Priestley, em um experimento usando a combustão de velas, na presença de um rato, no interior de uma campânula fechada, sugeriu que as plantas serviam como “restauradoras” do ar, renovando-o e possibilitando a sobrevivência de animais mesmo em condições hostis.

Os resultados de Priestley foram confirmados, em seguida, por Jan Ingenhousz (1730-1799), que acrescentou a informação de que a “restauração” do ar somente acontecia na presença da

luz. Esse cientista levantou a hipótese de que o dióxido de carbono (CO_2) se quebraria nesse processo (fotossíntese), liberando o oxigênio como gás. Essa ideia foi aceita por muito tempo, até que na década de 1930 um estudante de graduação da Universidade de Stanford, Cornelius Bernardus van Niel, estudando um tipo particular de bactérias purpúreas sulfurosas, demonstrou que esses organismos reduzem o carbono a carboidratos durante a fotossíntese, porém, sem a liberação de oxigênio. Essas bactérias necessitam de sulfeto de hidrogênio para sua atividade fotossintética, e no decorrer do processo glóbulos de enxofre são acumulados dentro das células. Cornelius van Niel propôs a seguinte reação geral para a fotossíntese:



Sendo que nas plantas e algas, H_2A é a água, ou seja, Niel acreditava que a água era a fonte de oxigênio na fotossíntese e não o gás carbônico.

Robin Hill, em 1937, demonstrou que cloroplastos isolados eram capazes de liberar O_2 na ausência de CO_2 e na presença de luz, fornecendo apoio às ideias de Niel.

Em experimentos usando água marcada com radioisótopo do oxigênio ($^{18}\text{O}_2$), Samuel Ruben e Martin Kamen (1941) puderam rastrear a fonte do oxigênio liberado na fotossíntese, fornecendo dados ainda mais convincentes sobre as propostas de Cornelius van Niel.

Dessa forma, a luz e a água são essenciais para que ocorra o processo de fotossíntese com liberação de O_2 . Entretanto, atualmente sabemos que a fotossíntese ocorre em duas etapas, sendo a luz requerida em apenas uma delas.

2.2 Em qual parte do ser vivo ocorre a fotossíntese?

Todas as partes verdes de uma planta, mas não somente elas, podem fazer fotossíntese. No entanto, as folhas são os órgãos principais para a realização desse processo na maioria dos vegetais.

A coloração verde das folhas é dada por um pigmento chamado clorofila, presente no interior dos **cloroplastos**. A energia luminosa, capturada pela clorofila, possibilita a síntese de carboidratos (açúcares) nos cloroplastos.

Os cloroplastos são organelas presentes principalmente nas células do mesófilo das folhas (detalhes sobre a anatomia das folhas serão vistos na disciplina **Diversidade e Evolução das Plantas**). Cada

uma dessas células pode conter de 30 a 40 cloroplastos. Essas organelas são formadas por um envoltório de duas membranas, que envolve uma matriz líquida (**estroma**), na qual está disposto um elaborado sistema de membranas internas na forma de sacos (**tilacoides**) conectados entre si e empilhados, em algumas regiões, em colunas denominadas coletivamente **grana** (cada coluna = *granum*). A clorofila está localizada nas membranas dos tilacoides (**Figura 2.2**).

Como vimos, na fotossíntese oxigênica há entrada de CO₂ e liberação de O₂, esses gases entram e saem da folha através de estruturas especializadas chamadas **estômatos**, que são poros microscópicos presentes na epiderme. A água, essencial para a liberação do oxigênio, é absorvida pelas raízes e chega até as folhas pelas nervuras.

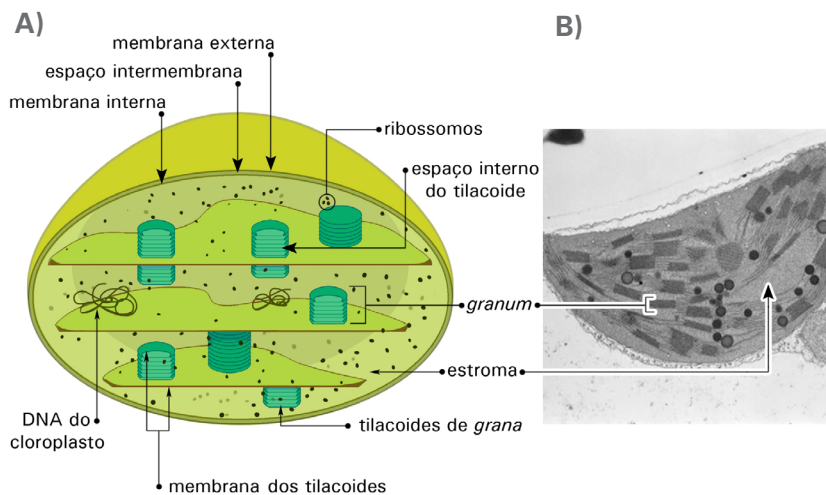
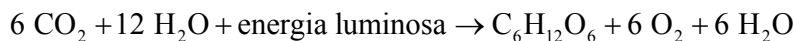


Figura 2.2: Estruturas do cloroplasto. A. Desenho esquemático do cloroplasto; B. Fotomicrografia do cloroplasto. Note a correspondência entre as estruturas indicadas no desenho e na micrografia / Fonte: Cepa (ilustração); Latinstock (fotografia)

Lembrando da equação geral proposta por Niel para a fotossíntese, podemos resumir esse processo nas plantas de acordo com a equação:



A **Figura 2.3** mostra o caminho dos átomos de carbono e de oxigênio durante a fotossíntese, processo que veremos mais detalhadamente a seguir.

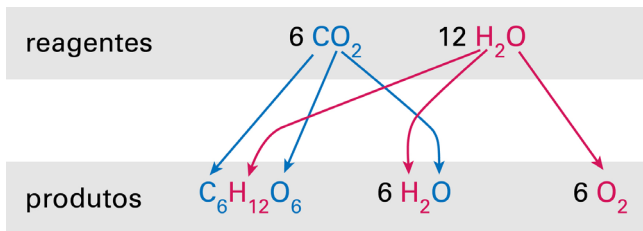


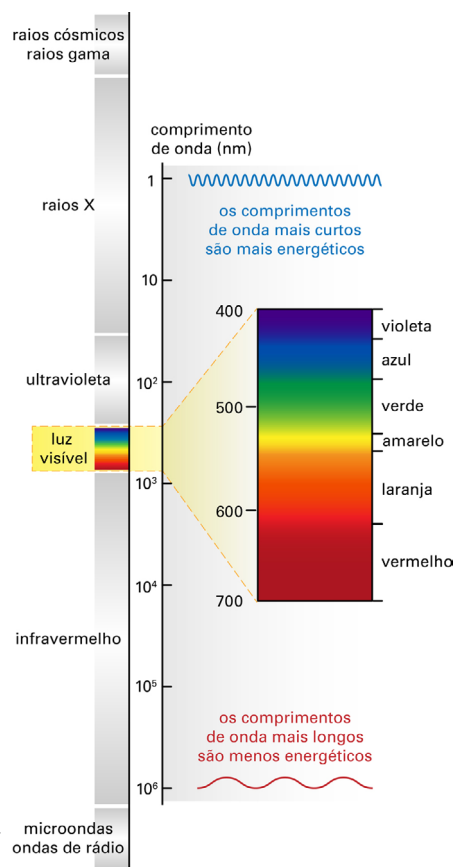
Figura 2.3: Na fotossíntese, sabemos que a água e o CO_2 são os reagentes que tomam parte do processo, havendo formação de açúcares simples, água e O_2 . Veja que a hidrólise da água é responsável pela formação do O_2 liberado / Fonte: CAMPBELL et al, 2010: 188.

○○○○

Saiba mais sobre a natureza da luz

Isaac Newton, há cerca de 300 anos, demonstrou que a luz branca é de fato formada por um conjunto de cores diferentes, que vai do violeta em uma das extremidades do espectro ao vermelho na outra. No entanto, a luz visível (ou branca) é somente parte do amplo **espectro eletromagnético** que vai de aproximadamente 380 nm a 750 nm de comprimento de onda. As radiações nesse espectro movem-se por ondas. O **comprimento de onda**, ou seja, a distância entre as cristas de duas ondas consecutivas, varia desde os raios gama, medidos em nanômetros, até as ondas de rádio de baixa frequência, medidas em quilômetros. A quantidade de energia pode ser medida em fótons. A quantidade de energia contida num fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, **quanto menor o comprimento de onda, maior a energia dos fótons**. No espectro visível, o violeta tem o menor comprimento de onda, ou seja, a maior quantidade de energia associada. Comparando ao outro extremo do espectro visível, a quantidade de energia da luz vermelha é quase a metade daquela encontrada na luz violeta.

Figura Quadro 2.1: Espectro eletromagnético. A luz visível pode ser decomposta em vários comprimentos de onda. O violeta apresenta o menor comprimento de onda e, por isso, é o mais energético. No outro extremo, o vermelho tem a menor quantidade de energia associada, pois tem maior comprimento de onda / Fonte: Sadava et al, 2009: 164.



○○○○



Se desejar, acesse o ambiente virtual e realize a **atividade complementar**.

2.3 O processo da fotossíntese

De maneira geral, podemos afirmar que a fotossíntese é a junção de dois processos, um em que há dependência da luz (**reações luminosas** – porção **foto** do processo) e outro independente da luz (**ciclo de Calvin** – porção **síntese** da fotossíntese). As reações luminosas ocorrem nos tilacoides, onde a energia luminosa é convertida em energia química pela quebra da molécula de água que fornece elétrons e prótons a um aceptor de elétrons, NADP^+ , reduzindo-o a NADPH , além da síntese de ATP a partir de ADP em um processo chamado de fosforilação. Esses carregadores de energia são essenciais para que, no estroma, ocorra o ciclo de Calvin, no qual há a fixação do carbono, ou seja, a incorporação do CO_2 atmosférico em moléculas orgânicas. O CO_2 é reduzido a carboidrato pela adição de elétrons vindos do NADPH e a energia química necessária para essas reações provém do ATP . Dessa forma, as duas fases, reações luminosas e ciclo de Calvin, são conectadas na fotossíntese (**Figura 2.4**).

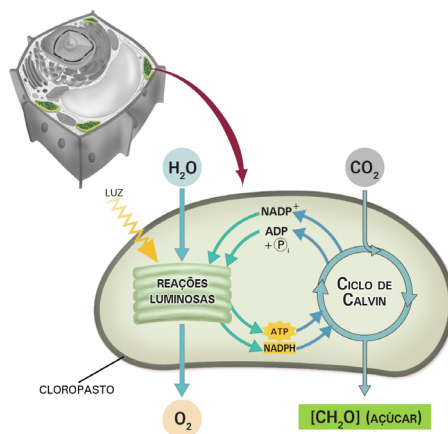


Figura 2.4: Visão geral da interação entre as duas fases da fotossíntese. Fase dependente da luz = reações luminosas. Fase independente da luz = ciclo de Calvin / Fonte: Campbell et al, 2010: 189).

2.3.1 Os pigmentos fotossintéticos

Os **pigmentos** são substâncias que absorvem diferentes comprimentos de onda da luz visível. Esses comprimentos de onda absorvidos somem do espectro, ou seja, quando um pigmento é iluminado com luz visível, sua cor corresponde ao comprimento de onda mais refletido ou transmitido por aquela substância. A intensidade da absorção de um determinado comprimento de onda por um pigmento pode ser plotada em um gráfico, fornecendo informações importantes sobre seu **espectro de absorção**.

No cloroplasto temos alguns pigmentos que tomam parte no processo da fotossíntese. A clorofila *a* participa diretamente das reações luminosas, enquanto a clorofila *b*, carotenoides e ficobilinas funcionam como pigmentos acessórios. Esses pigmentos acessórios não participam diretamente da fotossíntese, mas servem para aumentar o espectro de absorção da luz visível. Quando essas substâncias absorvem um fóton, transferem a energia para a molécula de clorofila *a*. Observando a **Figura 2.5**, vemos os espectros de absorção desses pigmentos e entendemos porque muitas folhas são verdes. O comprimento de onda correspondente ao verde no espectro eletromagnético é o de menor absorção, tanto pela clorofila *a*, como por alguns pigmentos acessórios.

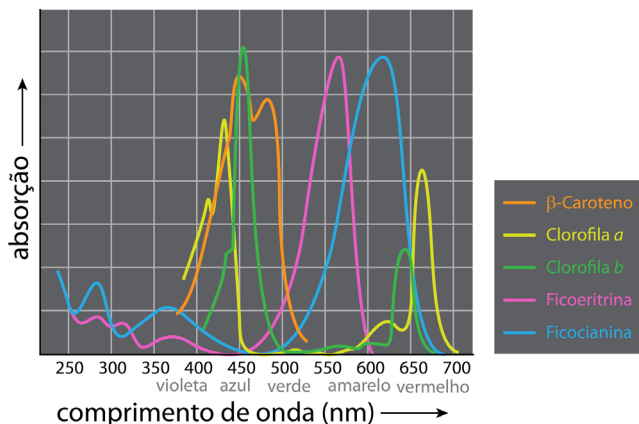


Figura 2.5: Espectro de absorção dos pigmentos fotossintéticos clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides e ficobilinas (ficoeritrina e ficoanina) / Fonte: Cepa

A molécula de clorofila *a* é formada por um anel porfirínico contendo um átomo de magnésio no centro, unido a uma cadeia lateral hidrofóbica (fitol). O pigmento acessório clorofila *b* apresenta uma pequena diferença estrutural em relação à clorofila *a*. Os carotenoides são hidrocarbonetos lipofílicos cuja principal função parece ser de fotoproteção, absorvendo e dissipando o excesso de energia luminosa que seria danoso à clorofila. Além disso, atuam também como antioxidantes, pois evitam a formação de moléculas reativas de oxigênio. As ficobilinas são encontradas principalmente em algas vermelhas e cianobactérias, e consistem em uma cadeia aberta de quatro anéis pirrólicos (**Figura 2.6**).

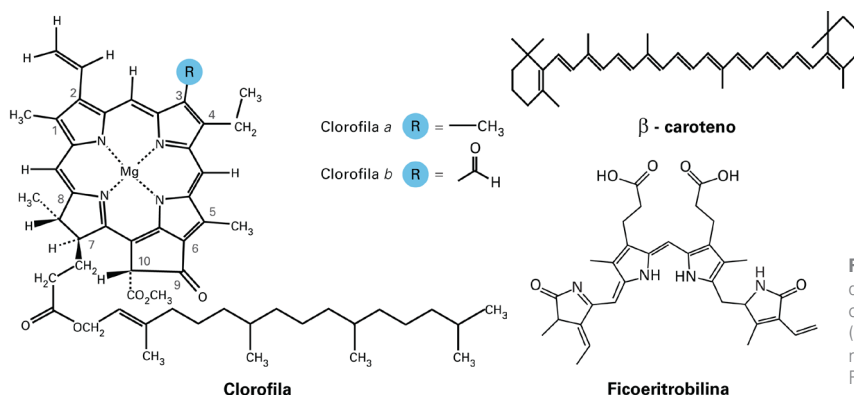


Figura 2.6: Estruturas moleculares dos pigmentos fotossintetizantes: clorofila *a*; clorofila *b*; β -caroteno (um tipo de carotenoide) e ficoeritrobilina (um tipo de ficobilina) / Fonte: Cepa

Qualquer molécula de pigmento pode absorver um fóton de energia quando submetida ao comprimento de luz de maior absorção no seu espectro, tornando-se excitada. Essa molécula excitada pode passar parte dessa energia a outra molécula de menor energia, voltando ao seu estado normal, desde que essas moléculas estejam convenientemente arranjadas.

Os pigmentos fotossintéticos estão arranjados nas membranas dos tilacoides como **complexo antena** para absorção de energia, associados a proteínas das membranas. Nesse sistema, a energia luminosa absorvida por uma molécula de pigmento é transferida por ressonância a outras moléculas de menor energia, até alcançar moléculas especiais de clorofila *a* presentes no **centro de reação** naquele sistema. Nesse centro de reação, essas moléculas transferem o elétron para um aceptor de elétrons, transformando a energia luminosa em energia química.



Agora é a sua vez...

Antes de continuar aprendendo sobre os pigmentos, realize a **atividade on-line 2.1**.

2.3.2 Reações luminosas da fotossíntese

Nesta etapa do processo de fotossíntese, a energia luminosa é usada para síntese de ATP, para reduzir moléculas transportadoras de elétrons, principalmente o NADP^+ a NADPH e, paralelamente, para proporcionar a quebra da molécula de água e a formação de O_2 .

O complexo antena e o centro de reação são componentes importantes de unidades de organização presentes nas membranas dos tilacoides chamadas de **fotosistemas**. Esses fotosistemas são formados por cerca de 250 a 400 moléculas de pigmentos que constituem o complexo antena, e absorvem a energia luminosa, direcionando-a ao centro de reação.

Dois fotosistemas, o fotosistema I e o fotosistema II, são ligados entre si por uma cadeia transportadora de elétrons. No **fotosistema I** as moléculas especiais de clorofila *a* no centro de reação são denominadas P_{700} (P = pigmento, 700 = indica o comprimento de onda de maior absorção), já no **fotosistema II** essas moléculas especiais são conhecidas por P_{680} . Esses fotosistemas funcionam simultaneamente nos cloroplastos, sendo o fotosistema I encontrado, principalmente, nas membranas dos tilacoides do estroma e nas margens externas dos grana. Já o fotosistema II está localizado, primariamente, nas membranas dos tilacoides dos grana (**Figura 2.7**).

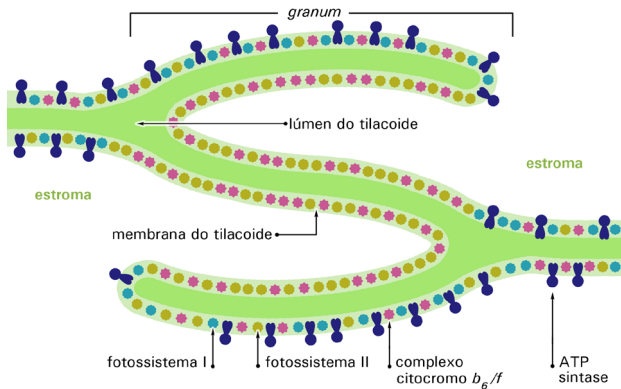


Figura 2.7: Distribuição dos fotossistemas I e II nas membranas dos tilacoídeos. Note que o fotossistema I ocorre principalmente nas membranas dos tilacoídeos do estroma, enquanto o fotossistema II ocorre nas membranas dos tilacoídeos do grana. Outros complexos moleculares importantes também estão indicados (complexo citocromob6/f e ATP-sintase) / Fonte: Cepa



Acompanhe a [Animação 2.1](#) para entender como as reações da fase luminosa da fotossíntese acontecem nos fotossistemas de maneira integrada

A etapa que acabamos de estudar também é conhecida como esquema Z de transferência de elétrons, onde acontece o **fluxo não cíclico** de elétrons, ou seja, os elétrons usados na síntese de NADPH não voltam a sua molécula de origem (água).

Apesar desses fotossistemas funcionarem de maneira concomitante na célula, o fotossistema I pode trabalhar independentemente do fotossistema II, num processo chamado de **fluxo cíclico de elétrons** (Figura 2.8). Os elétrons liberados da P_{700} excitada são transferidos para o receptor primário de elétrons, que, daí, não seguem até o $NADP^+$, mas sim para um receptor de elétrons da cadeia transportadora entre os fotossistemas I e II, percorrendo essa cadeia e voltando ao centro de reação

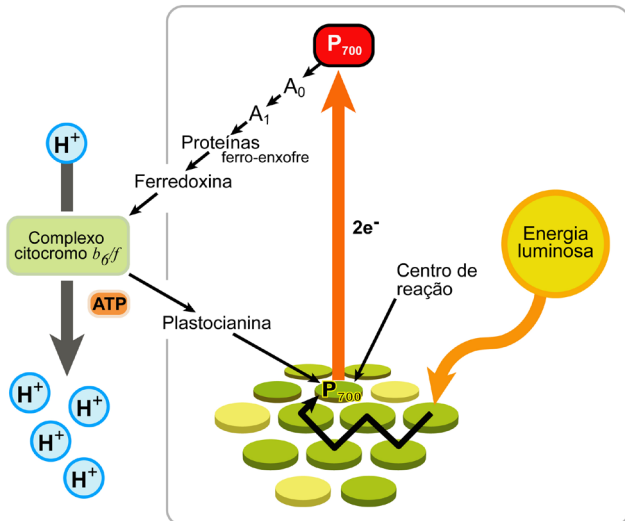


Figura 2.8: Esquema do processo do fluxo cíclico de elétrons do fotossistema I. Há formação de ATP a partir de $ADP + P_i$, mas não há formação de $NADPH$ e O_2 / Fonte: Cepa

do fotossistema I. Essa transferência de elétrons provoca um gradiente de H^+ através da membrana dos tilacoides, gerando energia suficiente para síntese de ATP, num processo chamado **fotofosforilação cíclica**. É muito importante notar que nesse processo não há formação de O_2 , pois não há fotólise da água.

As moléculas de NADPH e ATP geradas nas reações luminosas são essenciais para a segunda etapa da fotossíntese que veremos a seguir.



Agora é a sua vez...

Acesse o ambiente virtual e realize a **atividade on-line 2.2** proposta.

2.3.3 Reações de fixação do carbono: ciclo de Calvin

Nessa etapa da fotossíntese, as reações são independentes da luz. Porém, vale lembrar que as moléculas de ATP e NADPH essenciais para esta fase são provenientes das reações que envolvem os fotossistemas I e II.

No ciclo de Calvin, nome dado ao ciclo em homenagem ao pesquisador que elucidou essa via, Melvin Calvin, e por isso premiado com o Nobel em 1961, ocorre a incorporação (ou fixação) do carbono proveniente do CO_2 (dióxido de carbono) na síntese de carboidratos simples (açúcares). Todo esse processo ocorre em três fases.



Acompanhe a **Animação 2.2** para entender essa etapa.

Mas como um composto de três carbonos (G3P) pode regenerar um de cinco (RuBP)? Em que momento há a produção de carboidrato que caracteriza esta etapa? Ocorrem três voltas completas no ciclo, com a incorporação de três moléculas de CO_2 , para a produção de seis moléculas de G3P (cada uma com três carbonos). Dessas seis, cinco continuam no ciclo, regenerando três moléculas de RuBP; a outra é transportada para o citosol. Ou seja, o G3P (açúcar de três carbonos) é o produto imediato do ciclo de Calvin que será utilizado na síntese de glicose, de outros açúcares, de amido etc.

Analise a **Figura 2.9** com o ciclo completo e com as indicações do número de moléculas formadas em cada etapa.

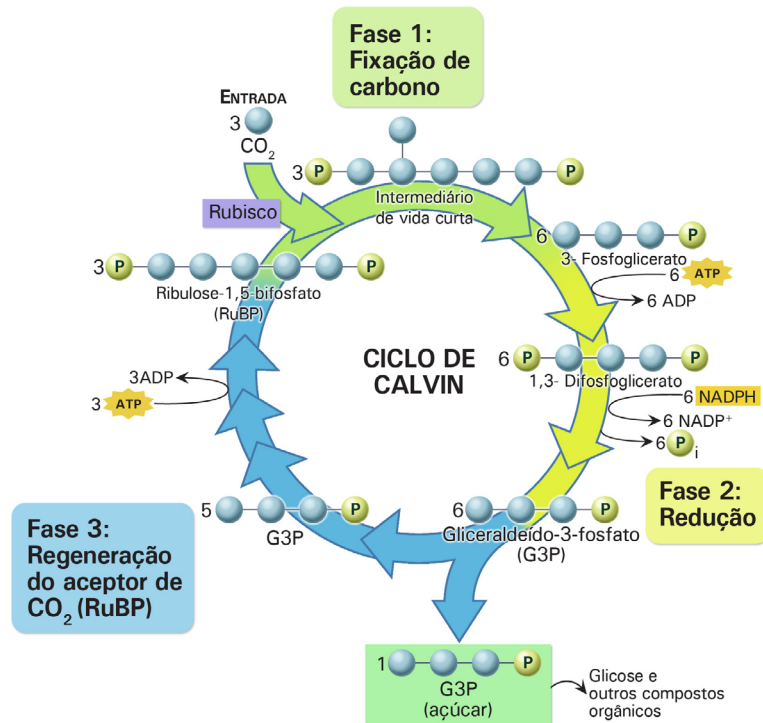


Figura 2.9: Ciclo de Calvin. Em cada volta no ciclo há a incorporação de uma molécula de CO_2 . Dessa forma, o esquema representa três voltas do ciclo. Toda a energia necessária para essas reações provem das reações luminosas da fotossíntese na forma de ATP e NADPH / Fonte: Cepa

O PGA (ácido 3-fosfoglicérico), um composto formado por três carbonos, é o primeiro composto detectável que se origina no ciclo de Calvin (**Figura 2.9**). Por isso, essa parte do processo da fotossíntese também é conhecida como **via C3**.

Já vimos que o G3P (açúcar de três carbonos) é o produto imediato do ciclo de Calvin que será utilizado na síntese de outros açúcares. Normalmente, a glicose aparece, nas representações da fotossíntese, como o açúcar formado no processo. Porém, pouca glicose livre é encontrada nas células das plantas. Grande parte desse açúcar é convertido em **sacarose** (dímero formado por uma molécula de glicose e outra de frutose), que é a forma mais comum de transporte de açúcares nas plantas, ou convertido em **amido**, principal forma de armazenamento de açúcares.



Agora é a sua vez...

Antes de prosseguir, realize a **atividade on-line 2.3**.

2.3.4 Outras vias de fixação do carbono - plantas C4 e CAM

O ciclo de Calvin não é a única forma de fixação de carbono nas plantas. Em algumas espécies (**plantas C4**), o primeiro composto formado na fixação do carbono não tem três, mas quatro carbonos, sendo essa via chamada de **via C4**.

As plantas C4 apresentam uma estrutura anatômica peculiar associada a um mecanismo de fotossíntese diferenciado (**Figura 2.10**). Nessas plantas, o CO_2 que entra pelos estômatos é usado na síntese de um composto de quatro carbonos nas **células do mesófilo da folha**; depois as células exportam esse produto para as **células da bainha do feixe**, onde há liberação do CO_2 que entra no ciclo de Calvin. A incorporação do CO_2 nas células do mesófilo é catalisada por uma enzima chamada **fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP-carboxilase)** que tem maior afinidade com o CO_2 que a RUBISCO, e nenhuma com o O_2 .

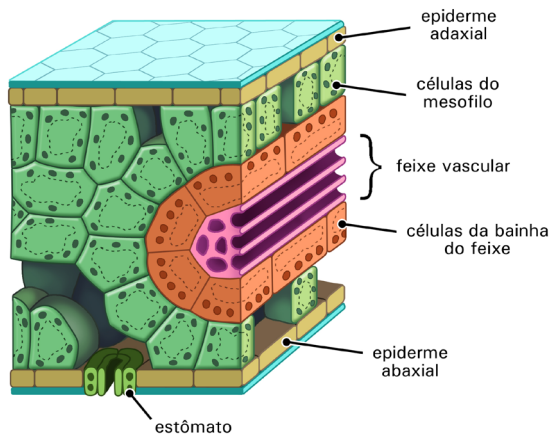


Figura 2.10: Desenho esquemático de um corte anatômico da folha de uma planta C4. Veja a distribuição das células do mesófilo e da bainha do feixe / Fonte: Cepa



Veja a [Animação 2.3](#) para acompanhar esse processo.

Outra forma de fixação de carbono é chamada de **metabolismo ácido das crassuláceas (CAM)** – sigla dada pela abreviação de *crassulacean acid metabolism*). As plantas que apresentam esse tipo de estratégia para fotossíntese são chamadas **plantas CAM**.

Nessas plantas, assim como nas plantas C4, estão presentes as vias C4 e C3 (ciclo de Calvin). A diferença é que nas plantas C4 há uma **separação espacial** entre essas vias, ou seja, a via C4

acontece nas células do mesófilo, enquanto o ciclo de Calvin acontece nas células da bainha do feixe. Já nas plantas CAM a **separação é temporal**, ou seja, a via C₄ de incorporação do carbono acontece no escuro (à noite), enquanto a via C₃ acontece durante o dia.

Durante a noite, os estômatos das plantas CAM estão abertos, o CO₂ é incorporado através da ação da PEP-carboxilase, há formação de oxaloacetato, que é imediatamente reduzido a malato. O malato é estocado no vacúolo na forma de ácido málico. Durante o dia, as reações luminosas da fotossíntese fornecem ATP e NADPH para a continuidade do processo em que o ácido málico retorna ao citossol, é descarboxilado e fornece CO₂ para o ciclo de Calvin.

2.4 Fotorrespiração

A RUBISCO ou RuBPCarboxilase/oxigenase catalisa a incorporação do CO₂ no ciclo de Calvin na presença de grande quantidade desse gás. No entanto, como o seu próprio nome sugere, essa enzima também tem afinidade com o O₂. Quando ela desempenha seu papel de oxigenase, catalisa a condensação do O₂ a RuBP, originando uma molécula de PGA e outra de fosfoglicolato (dois carbonos). Esse processo é chamado de **fotorrespiração**, pois, analogamente à respiração celular, consome O₂ e libera CO₂, porém, num processo dependente da luz. A grande diferença é que na fotorrespiração não há produção de ATP ou NADH. Além disso, é importante ressaltar que não há fixação de carbono nesse processo.

O PGA produzido na fotorrespiração é direcionado para o ciclo de Calvin. Já o aproveitamento dos dois carbonos da molécula de fosfoglicolato é um processo bastante complexo que envolve três organelas: o cloroplasto, o peroxissomo e a mitocôndria, mas está ligado à liberação de CO₂.

Aparentemente, no decorrer da evolução, a RUBISCO foi selecionada de modo a ter um ambiente ativo não específico para o CO₂ ou O₂. Daí, supõe-se que grande parte do processo evolutivo dessa enzima tenha se passado antes do O₂ ser um importante componente da atmosfera terrestre (ver disciplina **História da vida na Terra e distribuição atual da vida no planeta**).

2.5 Fotossíntese anoxigênica

Na fotossíntese anoxigênica, a energia luminosa é convertida em energia química, armazenada, por exemplo, em ATP, sem a liberação de O₂.

Alguns autores acreditam que a fotossíntese anoxigênica tenha precedido a fotossíntese oxigênica, realizada por bactérias que usariam H_2 , H_2S ou íons ferrosos como doadores de elétrons no lugar da água.

Ao contrário do processo de fotossíntese oxigênica, a fotossíntese anoxigênica utiliza somente um fotossistema, ou seja, apresenta somente um tipo centro de reação, que contém tipos especiais de pigmentos chamados **bacterioclorofilas**, que servem de doadores primários de elétrons, analogamente à clorofila *a* na fotossíntese oxigênica.

Atualmente, existem grupos de bactérias que realizam esse processo: bactérias púrpuras sulfurosas e bactérias verdes sulfurosas. Nesses grupos, bacterioclorofilas específicas são excitadas pela luz e direcionam, através de uma cadeia de transportadores de elétrons, a transferência de elétrons para redução do CO_2 até a síntese de um açúcar. Os aceptores primários de elétrons na cadeia, assim como os mecanismos usados na reposição dos elétrons das moléculas de pigmento envolvidas, são variáveis nos diferentes grupos de bactérias.

A bacterioclorofila apresenta picos máximos de absorção de luz diferentes da clorofila, em comprimentos de onda mais longos (**Figura 2.11**). Dessa maneira, as bactérias que possuem esse pigmento podem crescer abaixo de grandes adensamentos de algas, utilizando-se dos comprimentos de onda não absorvidos por aqueles organismos.

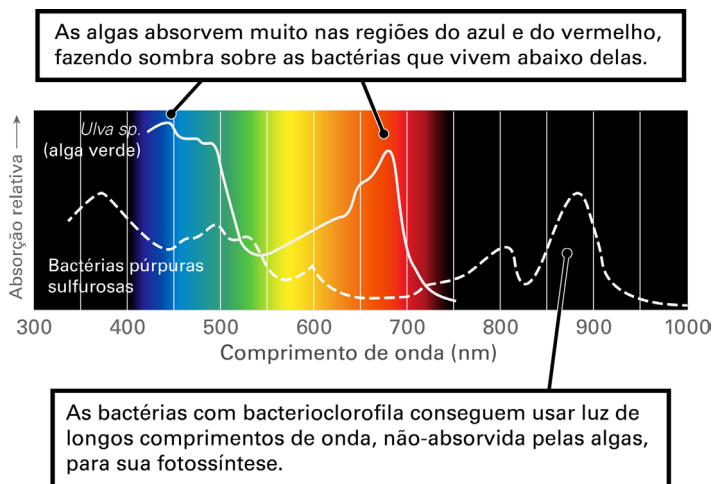


Figura 2.11: Comparação entre o espectro de absorção de uma bacterioclorofila e da clorofila *a*. A clorofila *a* não absorve em comprimentos de onda maiores que 750 nm, já a bacterioclorofila apresenta seu pico máximo de absorção em torno de 850 nm / Fonte: Cepa

2.6 Quimiossíntese

Quimiossíntese é um processo usado para produzir energia, semelhante à fotossíntese, mas sem a utilização de luz solar. Esse termo indica que a energia para a biossíntese de compostos orgânicos é obtida através de uma oxidação química, processo que foi descoberto no final de séc. XIX por Sergei Winogradski, através de observações de uma bactéria que crescia na completa ausência de matéria orgânica, mas na dependência de sulfeto de hidrogênio (H_2S).

Os organismos capazes de realizar esse processo são bactérias que vivem em condições de completa ausência de luz, em águas profundas, em torno de fontes hidrotermais no fundo do oceano. As condições ambientais tão adversas que esses organismos suportam levam a sua denominação como **extremófilos**. Essas bactérias sintetizam carboidratos e outras moléculas orgânicas a partir da oxidação de sulfatos ou amônia, ou seja, obtêm energia a partir da oxidação de H_2S e outras substâncias liberadas na água quase fervente que flui das fendas vulcânicas no fundo dos oceanos. Normalmente, vivem em relações simbióticas e parasitárias com outros organismos, o que maximiza suas chances de sobrevivência.



Sugestão de leitura avançada: GRAF & SMITH 2011. **Trends in Plant Science** 16(3): 169-175.

Fechamento do Tópico

Nesse tópico estudamos em detalhe o processo da fotossíntese. Entendemos que os organismos fotossintetizantes são os responsáveis pela entrada de energia na biosfera. A partir de substâncias simples como CO_2 e água, e na presença de luz, esses organismos são capazes de produzir seu próprio alimento, ou seja, produzem matéria-prima para seu crescimento. Dessa forma, vimos que a fotossíntese tem grande importância no estabelecimento e manutenção das relações entre as espécies existentes na Terra. Nos próximos tópicos estudaremos mais profundamente essas relações.

Referências Bibliográficas

- CAMPBELL, N. A. et al. **Biologia**. (Tradução de Anne D.Villela e outros) 8.ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 1464 p.
- JANNASCH, H. W. **Chemosynthesis**: the nutritional basis for life at deep-sea vents. In: The discovery of hydrothermal vents – 25th Anniversary. CD-ROM. Woods Hole Oceanographic Institution, 2002.
- OLSON, J. M. **Photosynthesis in the Archean** Era. *Photosynthesis Research*.v.88, n. 2. 2006, 109-117.
- RAVEN, P. H., EVERT, R.F & EICHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 830 p.