

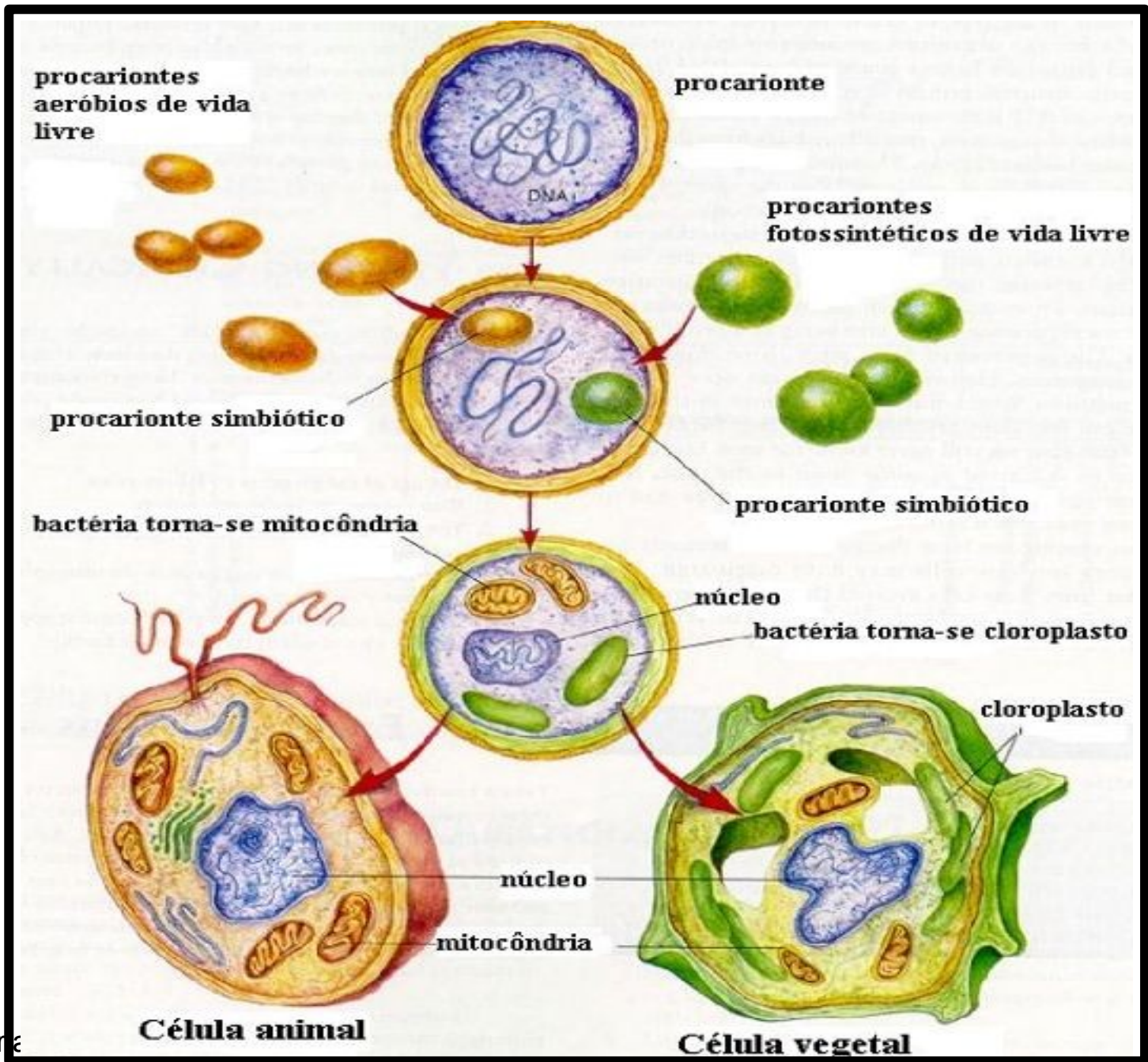
Plastos

- - **plastídeos** → organelas de células vegetais que possuem o próprio genoma.
- - existem vários tipos dentre eles os cloroplastos, diferem entre si em estrutura e função.
- - os outros plastídeos são rodeados por duas membranas do envelope mas não possuem as membranas dos tilacoídes nem os outros componentes do aparato fotossintético.

- - os diferentes plastídeos são classificados de acordo com o tipo de pigmento que contêm:
 - **cloroplasto** → clorofila
 - **cromoplastos** → não possuem clorofila mas possuem carotenóides → responsáveis pela cor amarela, laranja e vermelha → responsáveis pelas cores de flores e frutos → não se sabe ao certo a sua exata função no metabolismo celular.
 - **leucoplastos** → não possuem pigmentos → armazenam uma variedade de fontes de energia em tecidos não-fotossintéticos.
 - **ex:** amiloplasto → amido
 - oleoplasto → lipídeos
 - proteoplastos → proteína

ORIGEM

- A **HIPÓTESE SIMBIÓTICA** é a mais aceita para explicar a origem dos cloroplastos.
- **EVIDÊNCIAS BIOQUÍMICAS** sustentam essa hipótese → DNA circular e ribossomos tamanho de procariontes.



• Tamanho

- 2 a 4 μm de largura;
- 5 a 10 μm de comprimento;
- Devido ao seu tamanho são facilmente visualizados ao microscópio ótico comum;

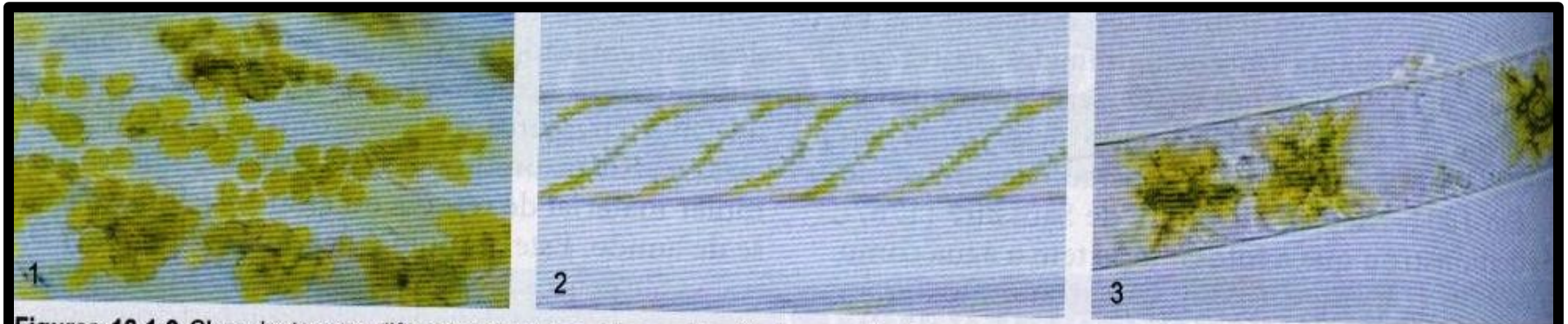
• Número

- Varia em função da espécie e do tecido vegetal:
 - Parênquima foliar → encontrados de 10 a 100 cloroplastos por célula

1- Cloroplasto de gramíneas;

2- alga *Spyrogira* em formato de fita espiralada;

3- alga *Zygnema* em forma de estrela;



Figuras 18.1-3 Cloroplastos em diferentes formatos, observados à microscopia óptica, em preparações a fresco. **Figura 18.1** Cloroplastos de gramínea em formato típico, esférico ou elipsóide. **Figura 18.2** Cloroplastos da alga *Spyrogira*, em formato de fita espiralada. **Figura 18.3** Cloroplastos da alga *Zygnema*, em forma de estrela.

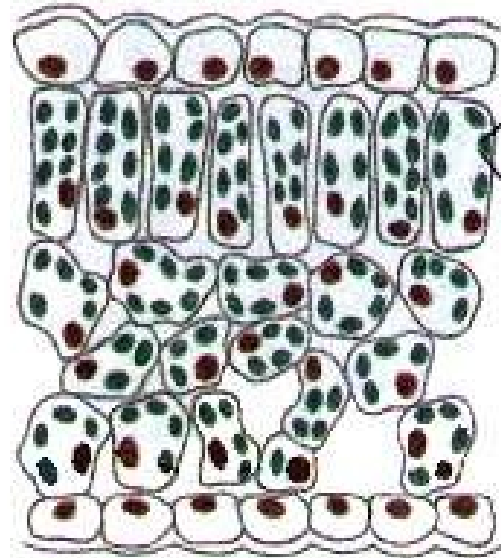
ULTRA-ESTRUTURA

- Os cloroplastos são organelas delimitadas por **DUPLA MEMBRANA**, semelhante as mitocôndrias.
- Espaço intermembranas → espaço existente entre as duas membranas;
- A membrana interna delimita o **ESTROMA** → análogo à matriz mitocondrial e contém diversas enzimas, grãos de amido, ribossomos, DNA e RNA.

| — 2 μm — |

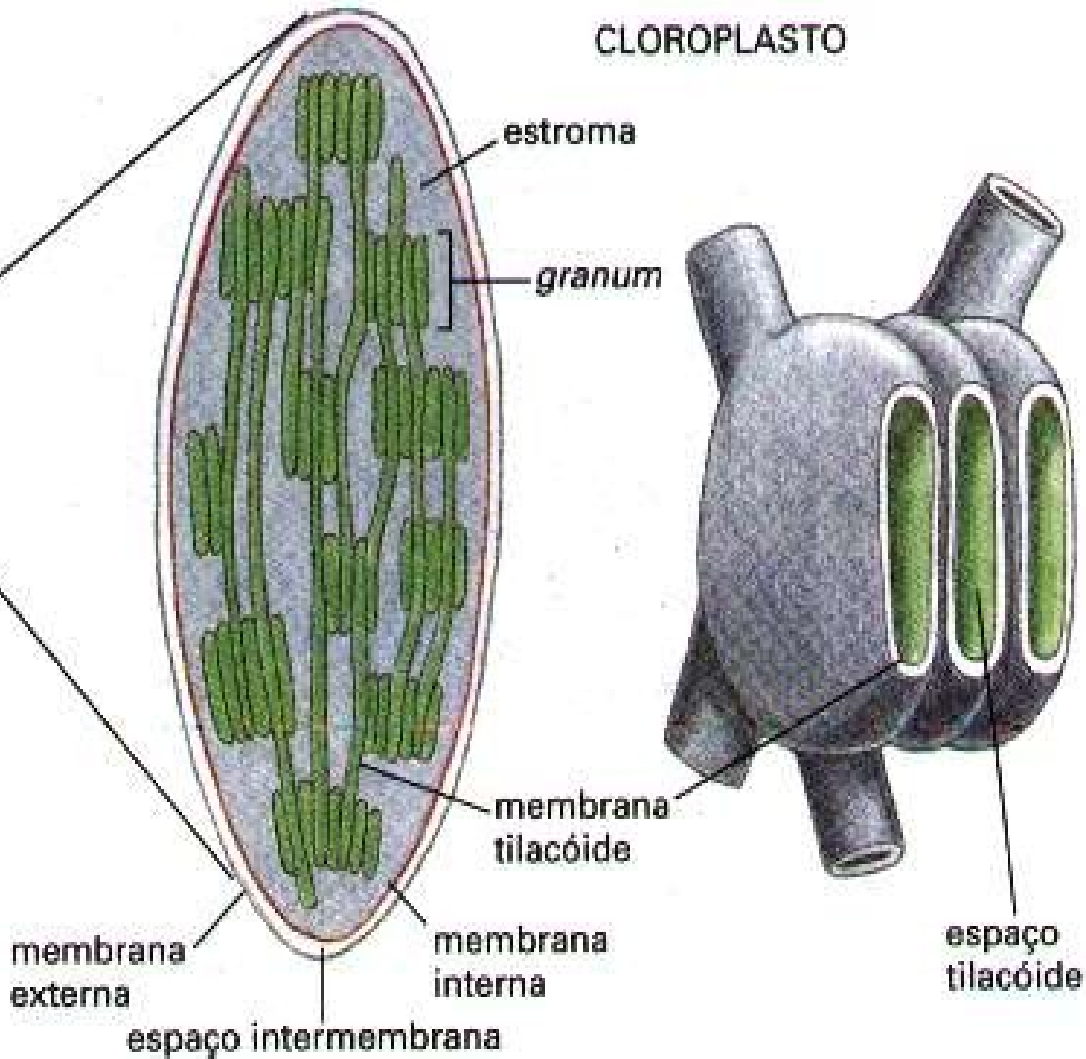
FOLHA

epiderme superior



epiderme inferior

CLOROPLASTO



estroma

granum

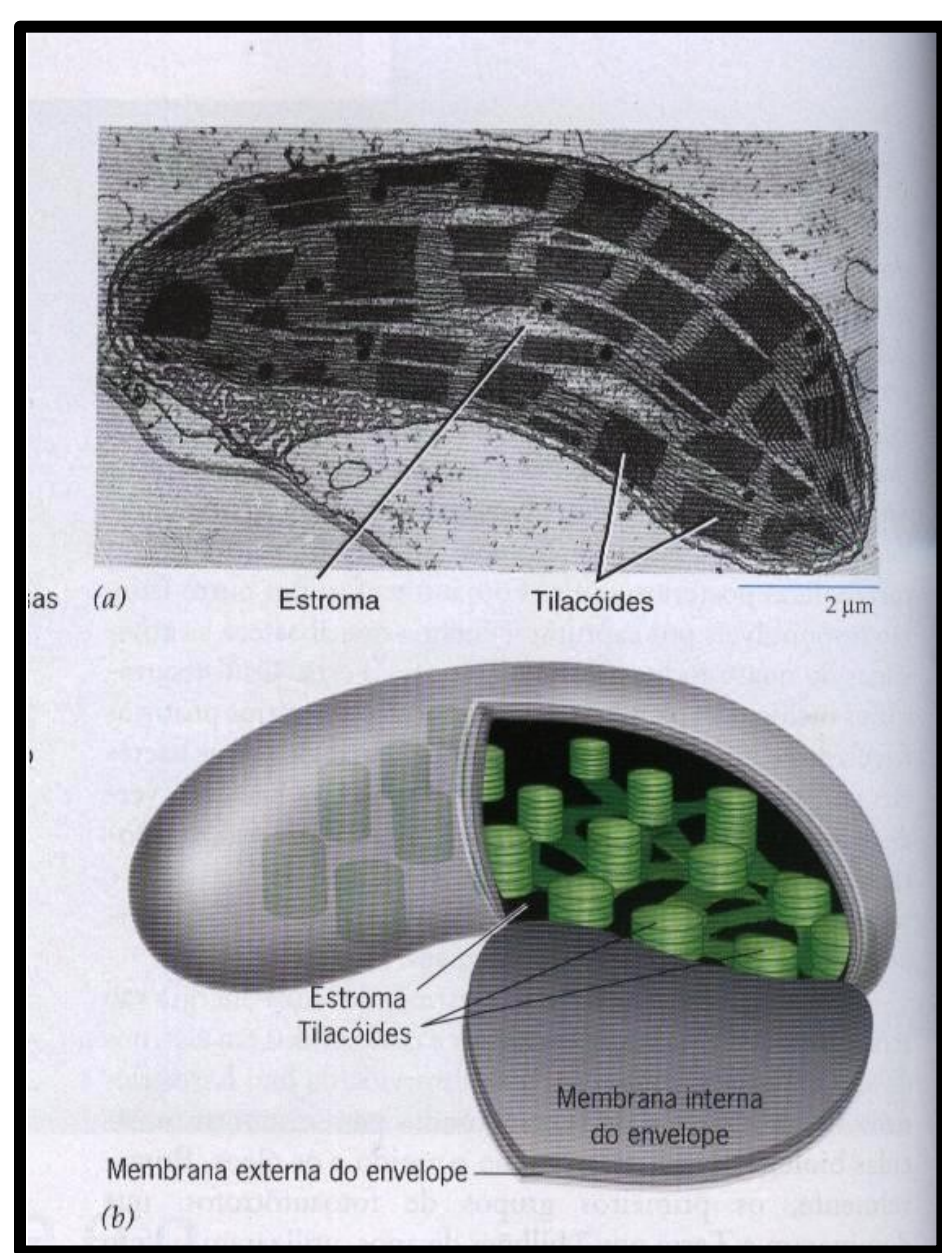
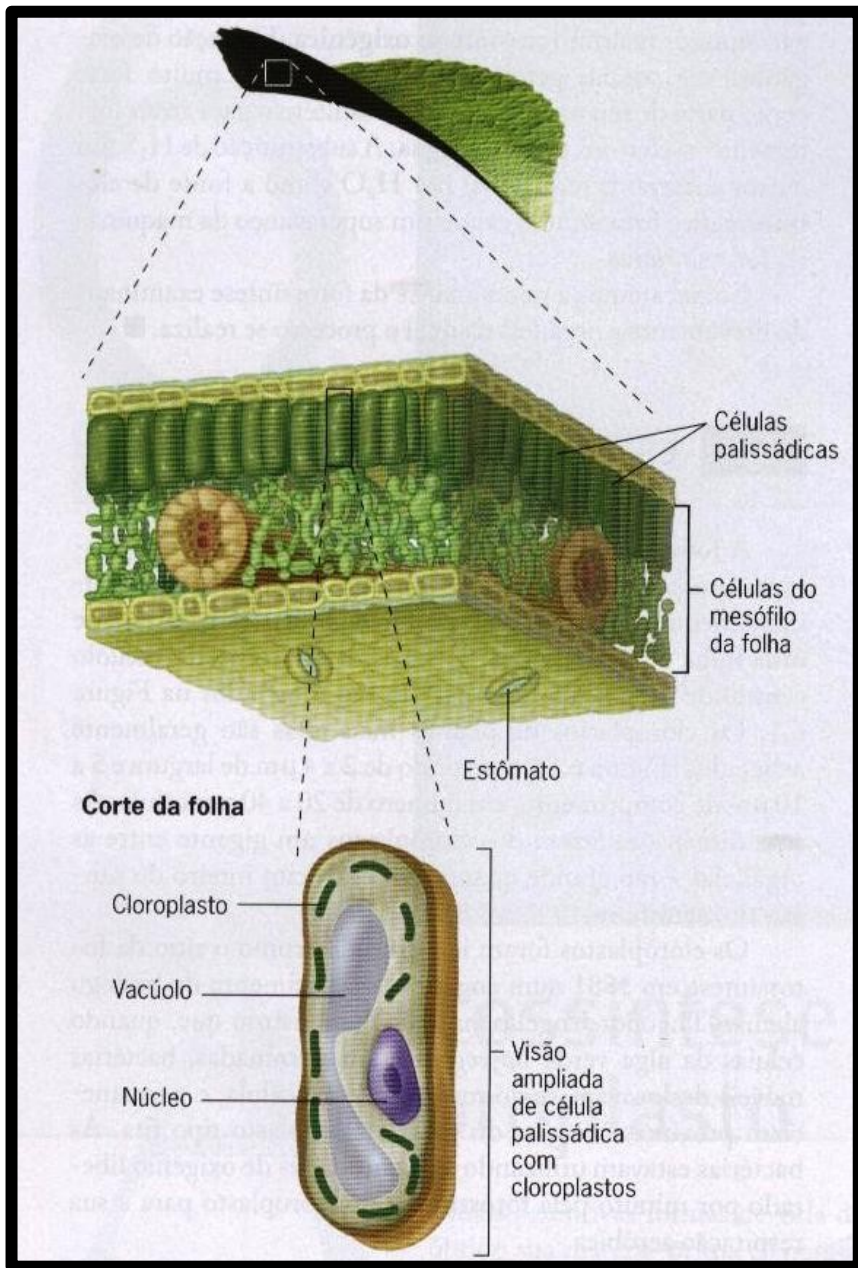
membrana tilacóide

membrana externa

membrana interna

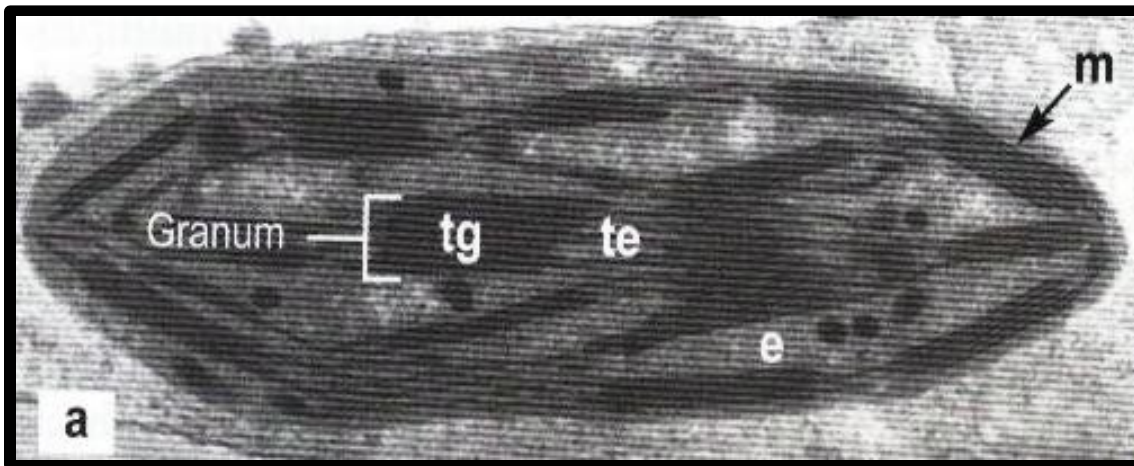
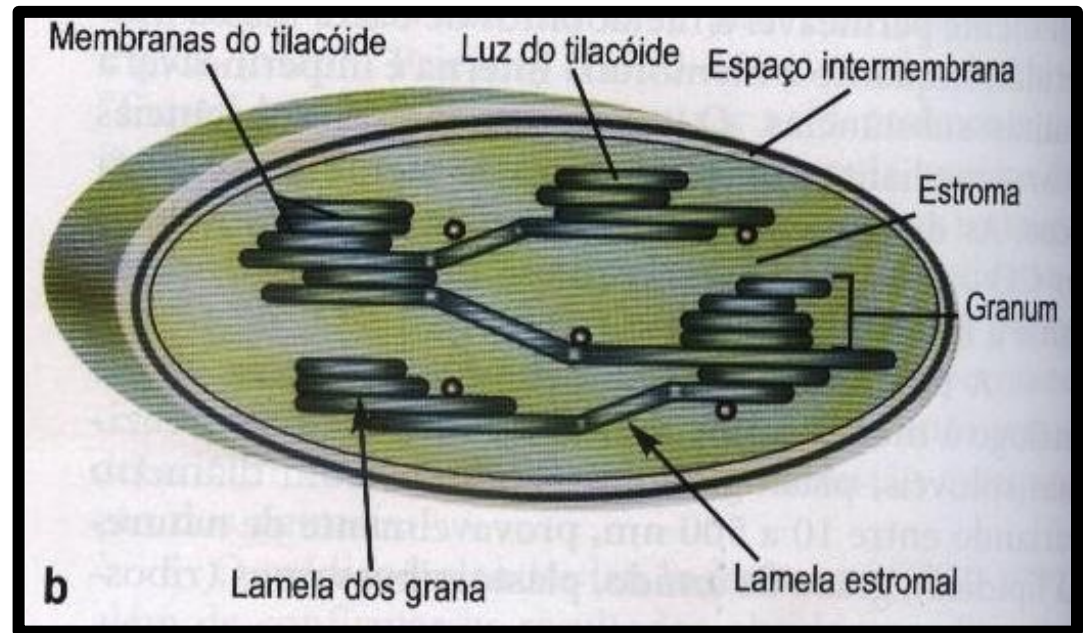
espaço intermembrana

espaço tilacóide



- Suspensos no estroma, encontram-se pilhas de pequenas bolsas achatadas, os **TILACÓIDES**
 - Tilacoídes do granum → pilhas de discos que se estendem pelo estroma;
 - Tilacoídes do estroma → interligam os diferentes grana;
- Um número variável de tilacóides empilhados formam o **GRANUM** → o conjunto de granum é denominado **GRANA**

Representação esquemática das principais estruturas observadas nos cloroplastos - MET.



Micrografia eletrônica mostrando as principais estruturas

tg → tilacóides do granum
te → tilacóides do estroma

- Membrana externa → altamente permeável a metabólitos de baixa massa molecular;
- Membrana interna → impermeável a muitas substâncias → transportadores de membrana específica;
- As duas membranas são permeáveis ao CO_2 → substrato para a síntese de carboidratos durante a fotossíntese;

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

- Nas membranas dos tilacóides são encontradas:
 - **Complexo ATPsintase (CF_o e CF₁)** → semelhante ao encontrado em mitocôndrias;
 - **Ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (RuBisCO)**.
- A RuBisCO (560 KDa) é constituída por oito subunidades pequenas (14 KDa) e por oito subunidades maiores (56 KDa) → representa cerca de 50% das proteínas solúveis nas folhas → considerada a proteína mais abundante da natureza.

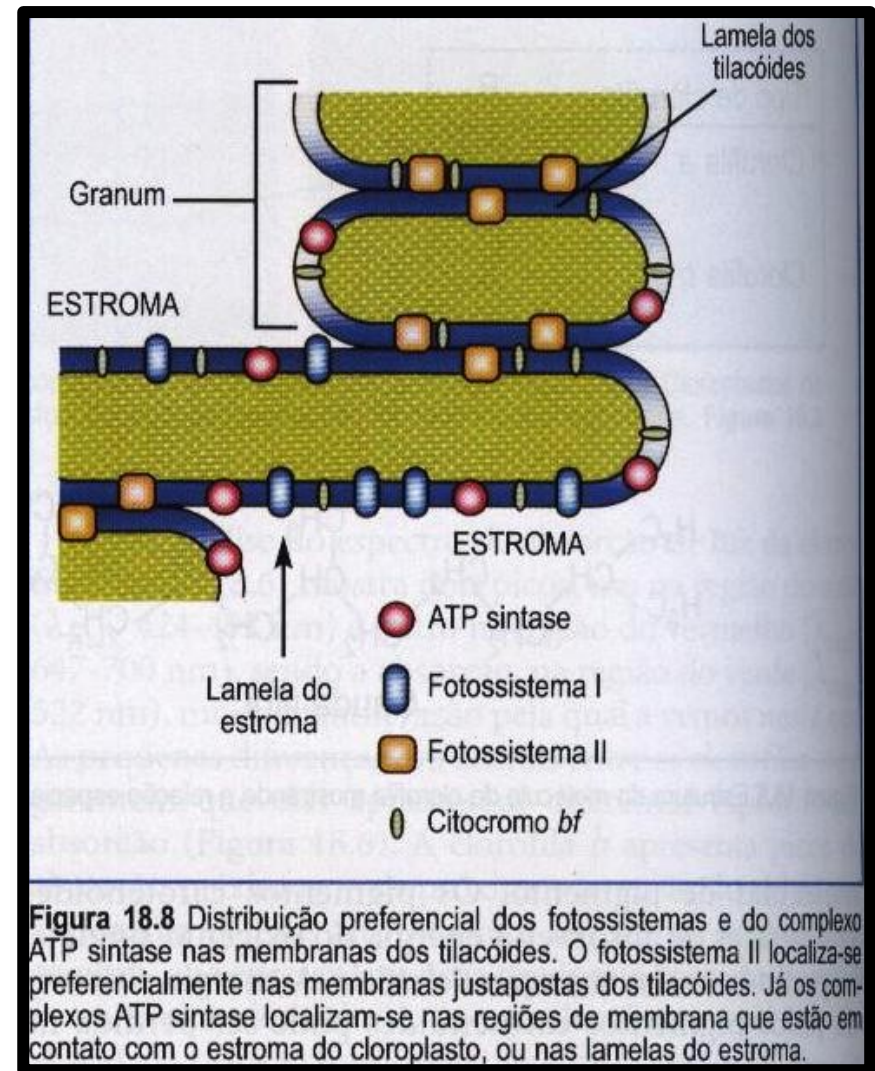
COMPOSIÇÃO QUÍMICA

- Os **PIGMENTOS** responsáveis pela absorção da luz localizam-se nas membranas dos tilacóides das plantas superiores e das algas.
- Nas plantas superiores e nas algas os principais pigmentos encontrados são:
 - **CLOROFILA A** e a **CLOROFILA B** → sendo a primeira a mais abundante.

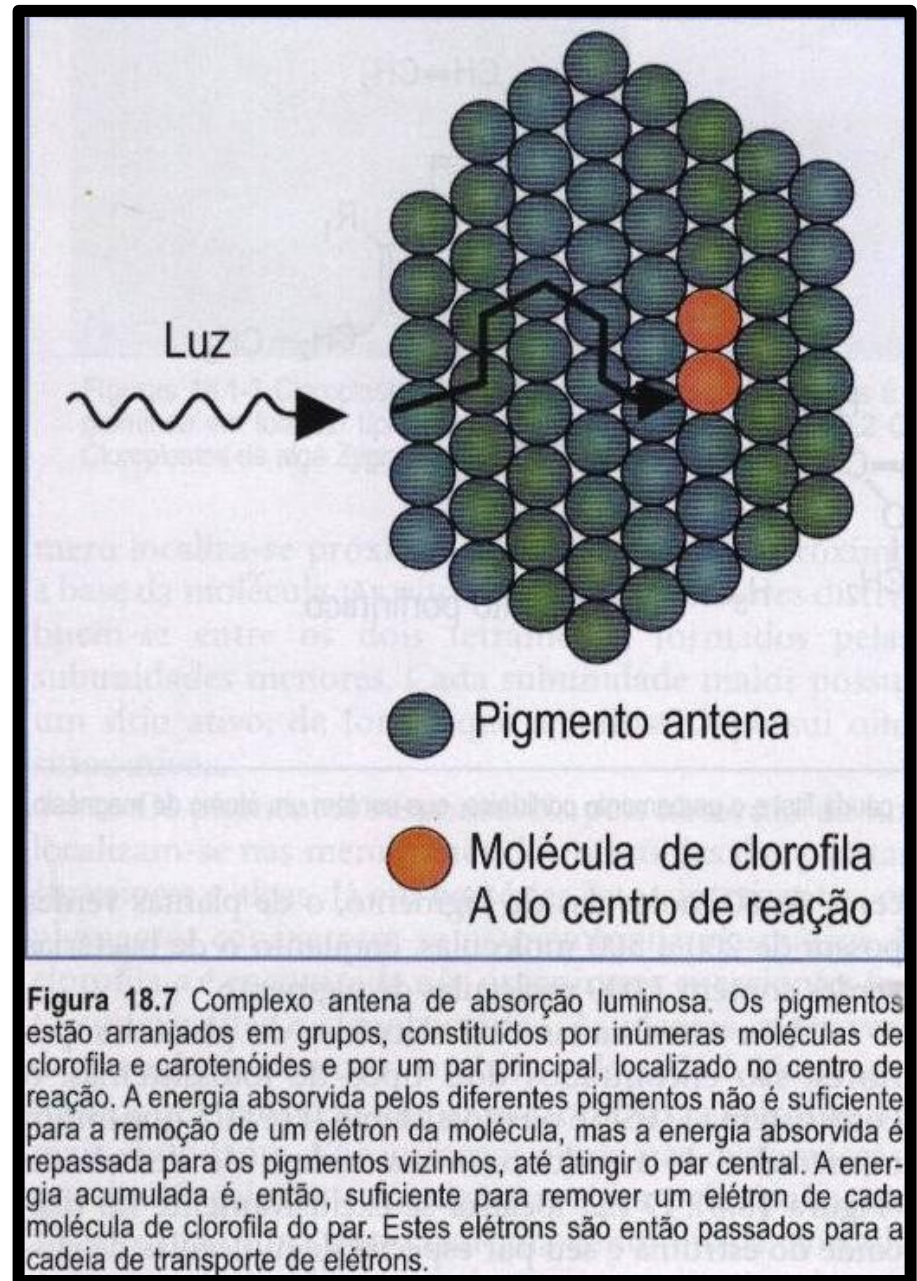
- **CAROTENÓIDES** → carotenos e xantofilas → desempenham função protetora → absorvem a energia do radical livre formado (oxigênio).
- **FICOBILINAS** → representadas pelas ficoeritrinas e ficocianina e são encontradas em certas algas e cianobactérias;

- As clorofilas e os pigmentos acessórios organizam-se constituindo unidades funcionais denominadas **FOTOSSISTEMAS**.
- Nas **MEMBRANAS DOS TILACÓIDES** das plantas encontram-se dois tipos de fotossistemas, o **FOTOSSISTEMA I** e o **FOTOSSISTEMA II** → encontrados nas membranas dos tilacoídes dos vegetais superiores → foram numerados de acordo com sua ordem de descoberta.

- **FSI** (700 μm – P700) localiza-se exclusivamente no **TILACOIDE DO ESTROMA**
- **FSII** (680 μm – P680) estabelece-se apenas nos **TILACÓIDES DO GRANUM.**



- Complexo antena de absorção luminosa.
- Pigmentos estão arranjado em grupos, constituídos por inúmeras moléculas de clorofila e carotenóides e por um par principal, localizado no centro da reação.



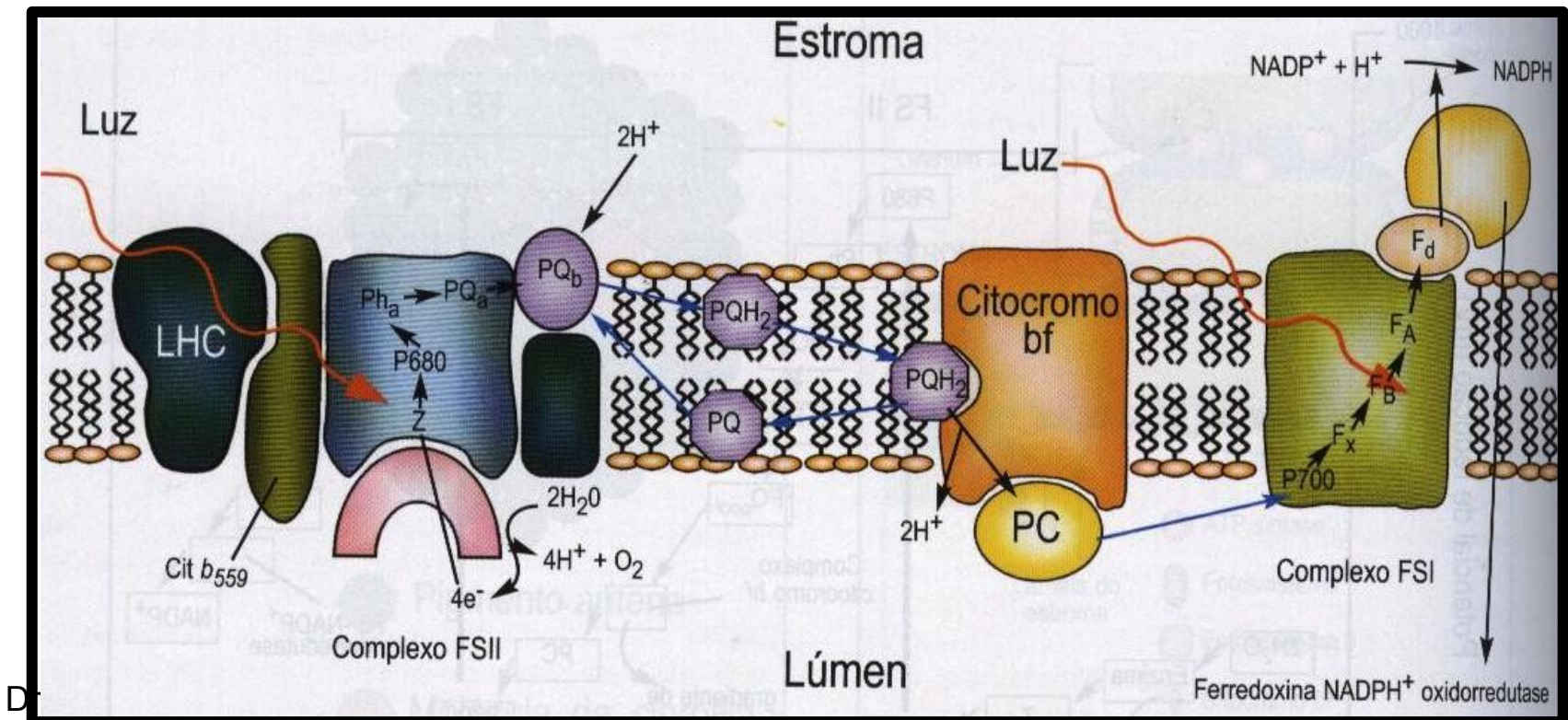
- **Fotossíntese**

- **As reações que ocorrem durante a fotossíntese podem ser divididas em:**
- 1- Reações da cadeia transportadora de elétrons (etapa fotoquímica ou reações dependentes da luz) → ocorrem devidos a captação da energia luminosa pelos pigmentos do complexo antena;
 - A energia captada pelos pigmentos individuais do complexo antena é transferida ao par de moléculas de clorofilas do centro de reação do fotossistema, que, então, libera um par de elétrons para a cadeia transportadora de elétrons síntese de ATP e NADPH.
- 2- reações de fixação de carbono (etapa química ou reações independentes da luz) → nesta fase são utilizados o ATP e o NADPH → são utilizados como fonte de energia e poder redutor para a conversão de CO₂ em carboidratos.

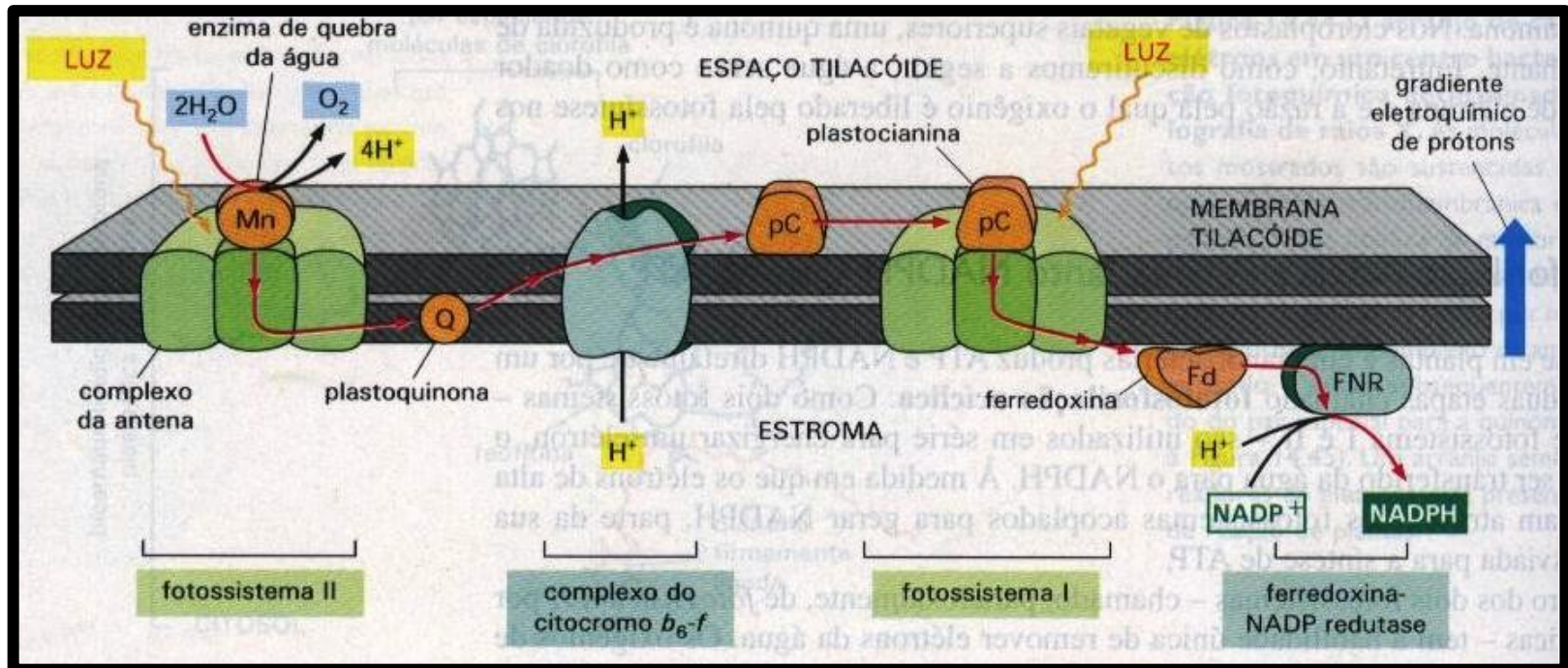
Fotofosforilação cíclica → o aumento de prótons gerado pelo fluxo cíclico de elétrons favorece a síntese de ATP → não ocorre a fotólise da água com a liberação de O_2 nem a redução do $NADP^+$;

-Depende da disponibilidade de ATP e $NADP^+$ nos cloroplastos;

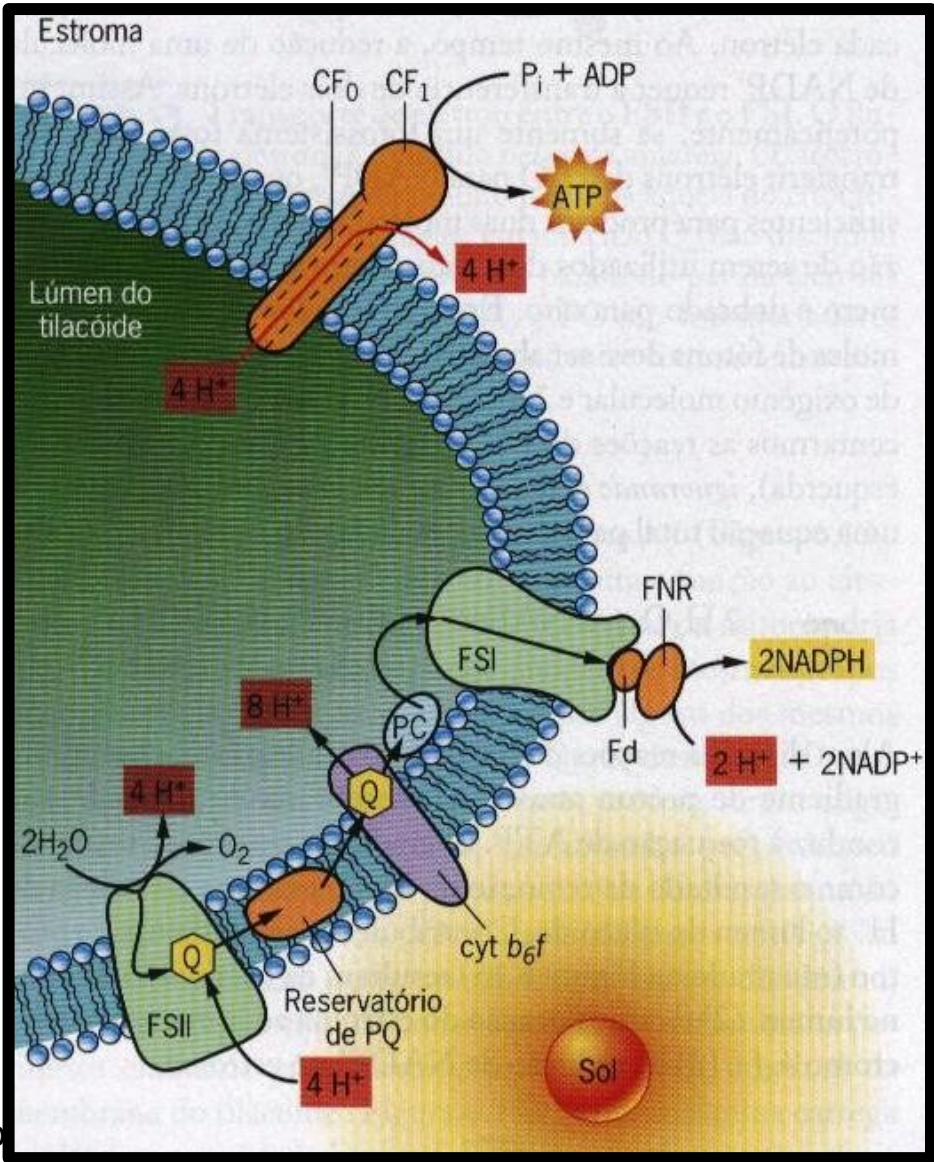
-Se a quantidade de $NADP^+$ é baixa ou se a célula necessita de fornecimento adicional de ATP predomina o transporte cíclico de elétrons → caso contrário predomina o acíclico;



Fotofosforilação acíclica → nesta via os elétrons são primeiramente transportados da H_2O ao FSII → do FSII ao FSI → fim do FSI ao $NADP^+$;



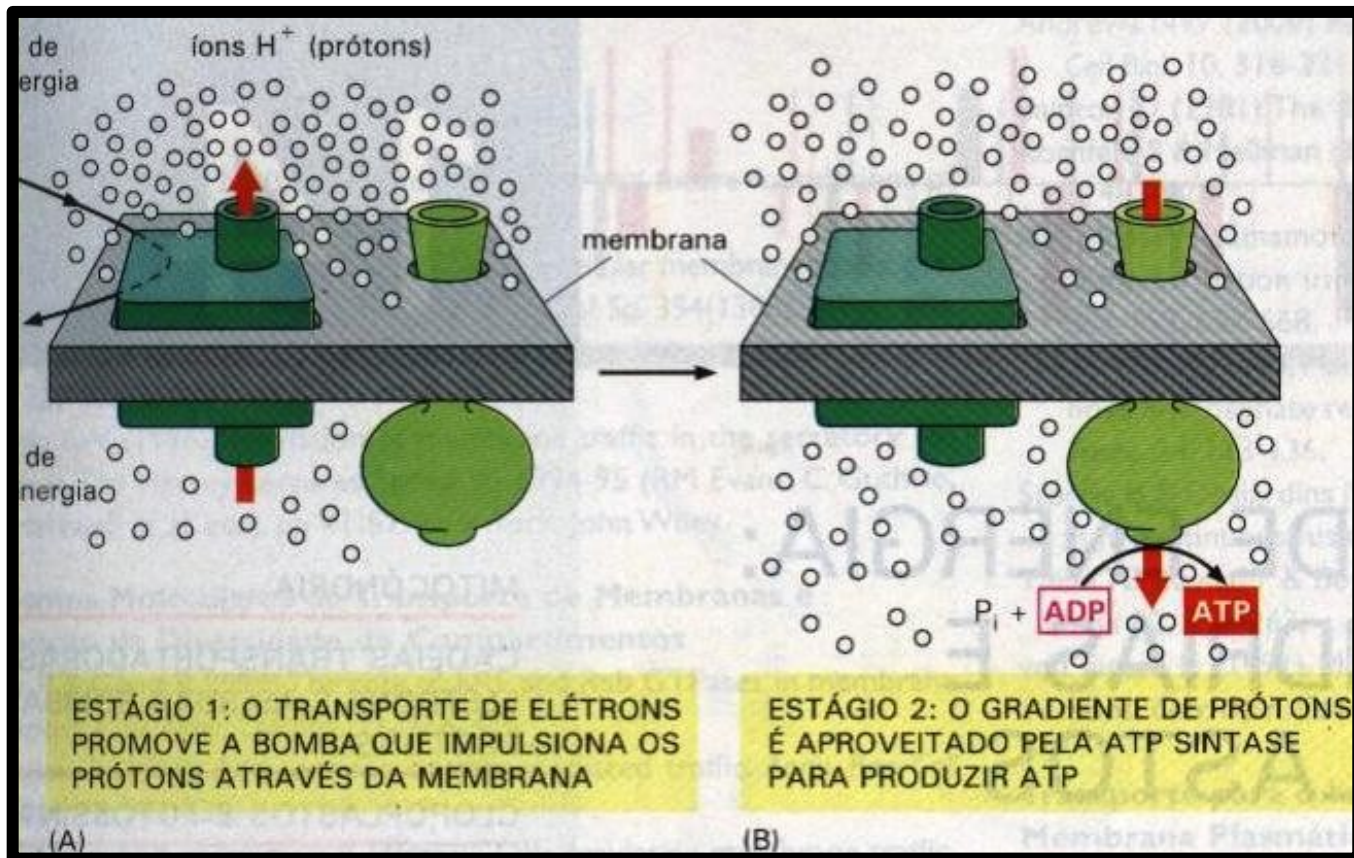
Resumo das reações dependentes de luz



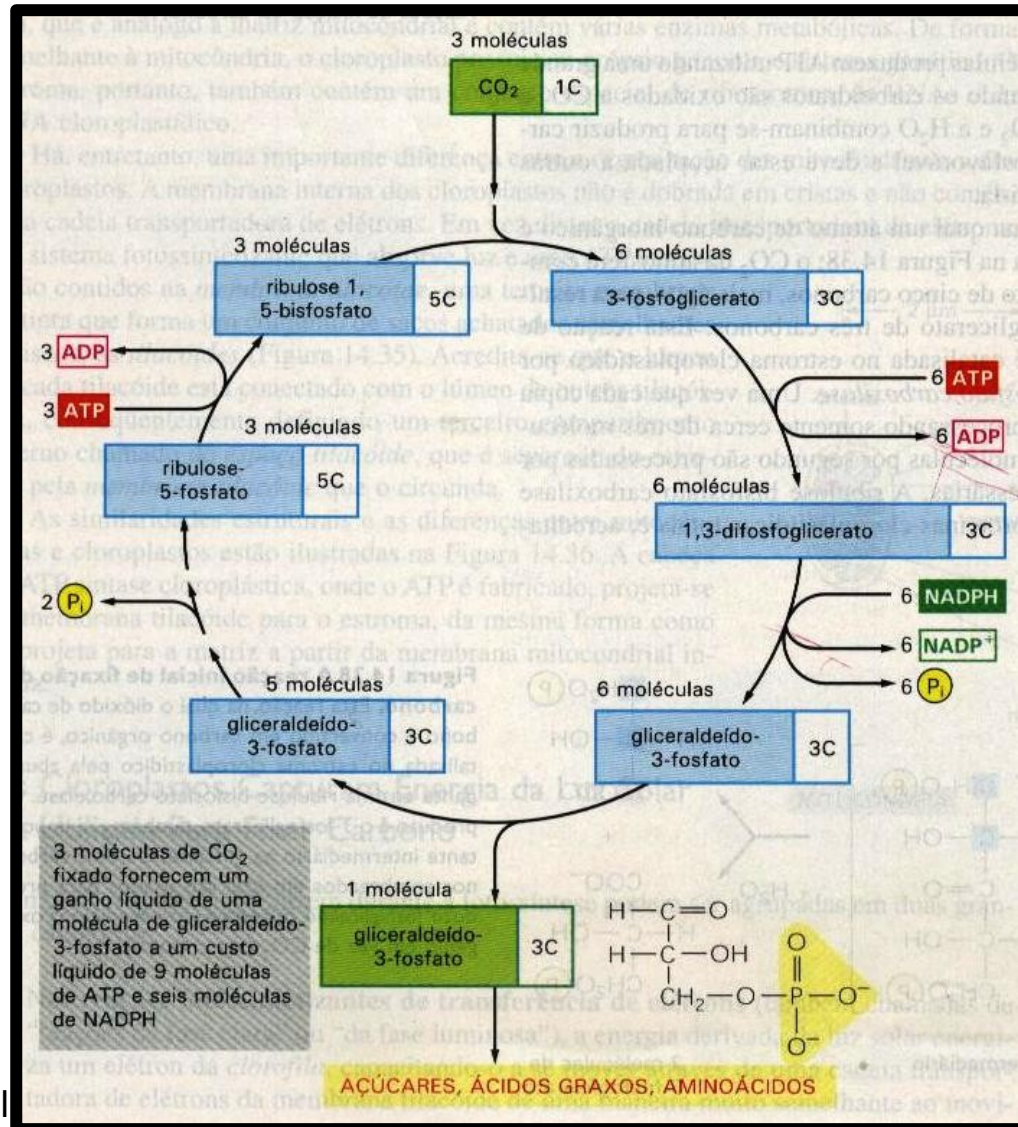
Fotofosforilação

- A fosforilação oxidativa nos cloroplastos depende da luz → **fotofosforilação**.
- Reação acoplada ao transporte de elétrons que gera um gradiente de prótons que possibilita a síntese de ATP pela ATPsintase (CF_0CF_1).
- O gradiente de prótons gerado na cadeia transportadora fornece energia para a síntese quimiosmótica de ATP.
- O ATP sintetizado é liberado no estroma, onde será consumido pelas reações da fase do escuro.

Formação do ATP



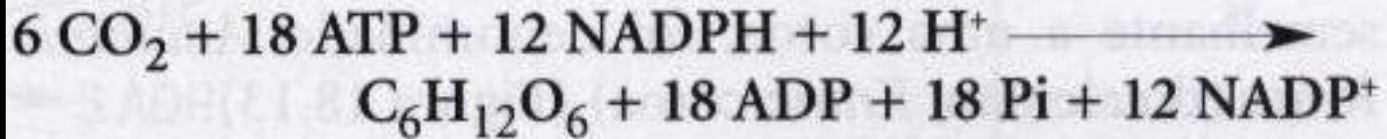
Ciclo de Calvin



Conversão do carbono fixado em sacarose e em amido

- Pouca glicose livre é produzida pelas células fotossintetizantes.
- A maior parte do carbono fixado à G3P (gliceraldeído-3-fosfato), no Ciclo de Calvin, é transferida para o citoplasma e por meio de uma série de reações químicas é convertido em **sacarose** → glicose + frutose → principal forma de transporte de açúcares nas plantas.
- Ainda no citoplasma a G3P pode ser utilizado para a síntese de aminoácidos, metabólitos secundários, como o látex, celulose ou entrar na via glicolítica, produzindo **piruvato**.
- Quando o G3P é produzido em excesso é convertida em **amido**.
- À noite a sacarose é produzida a partir da degradação do amido → transportada das folhas até as outras regiões da planta → podendo ser utilizada para a síntese de outras moléculas à planta.

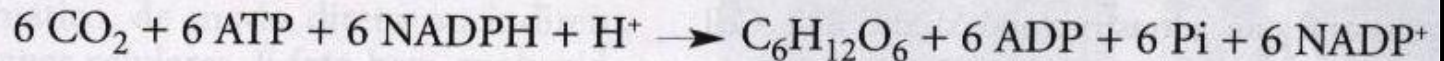
Simplificando as reações



As reações da fase clara podem ser simplificadas da seguinte forma:



A fase escura pode ser resumida como:

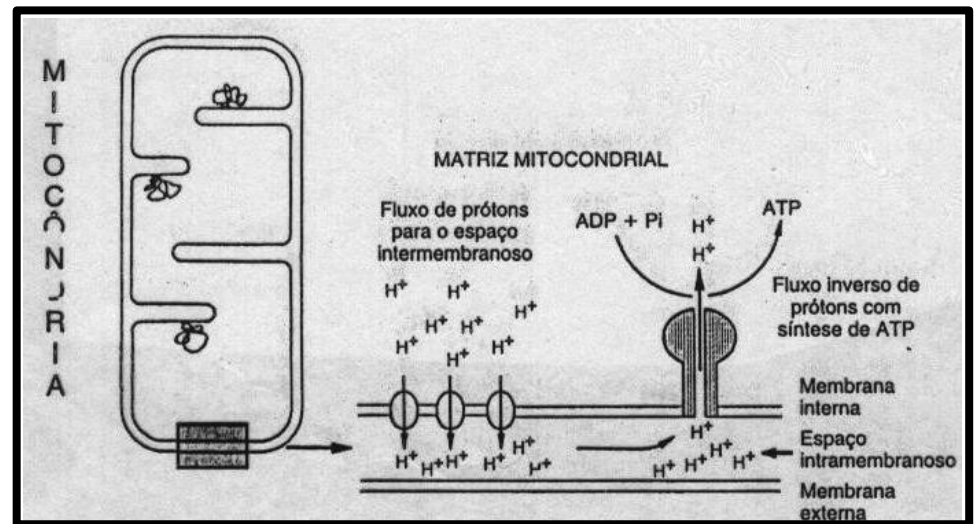
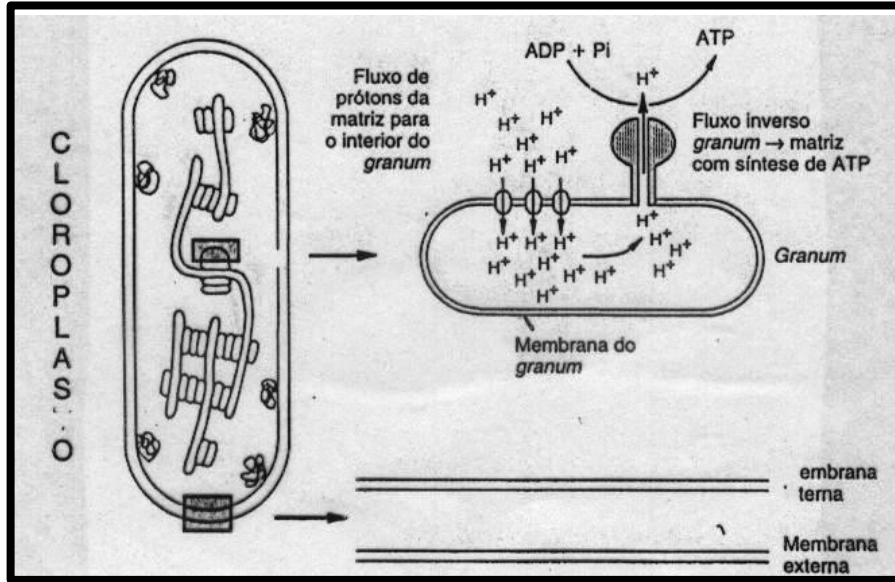


Considerando os termos comuns às duas reações, temos:

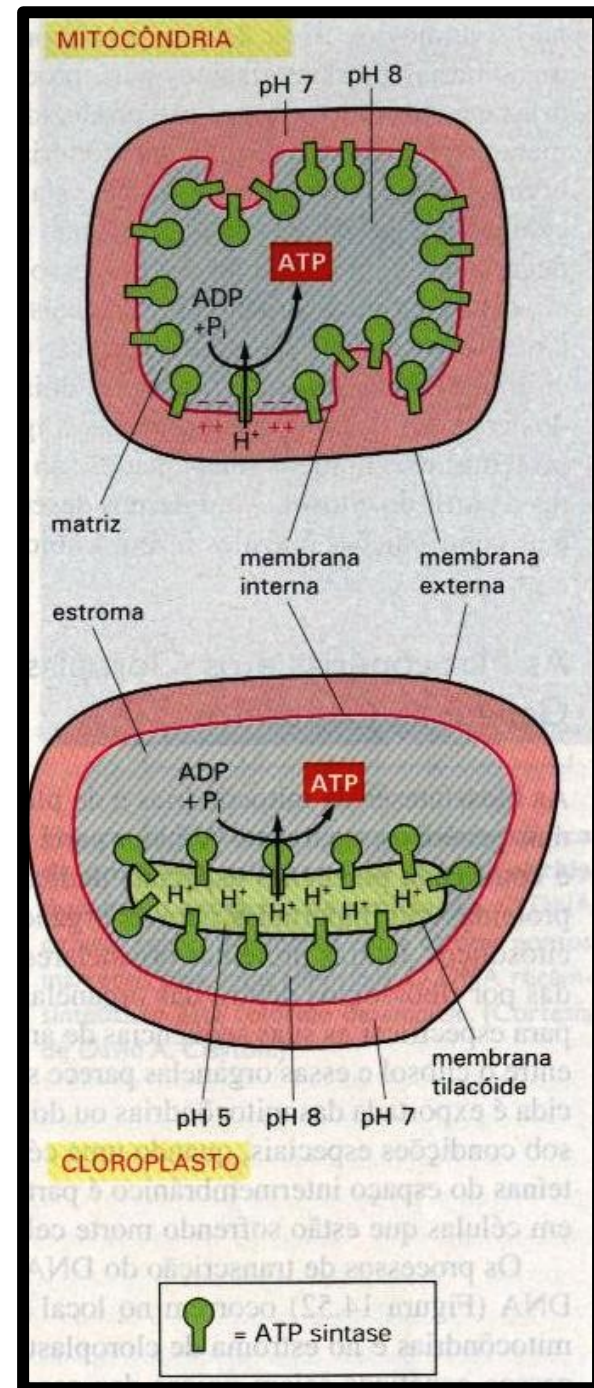


que representa a formação de carboidratos e oxigênio a partir de gás carbônico e água.

Comparação – Cloroplasto e Mitocôndria



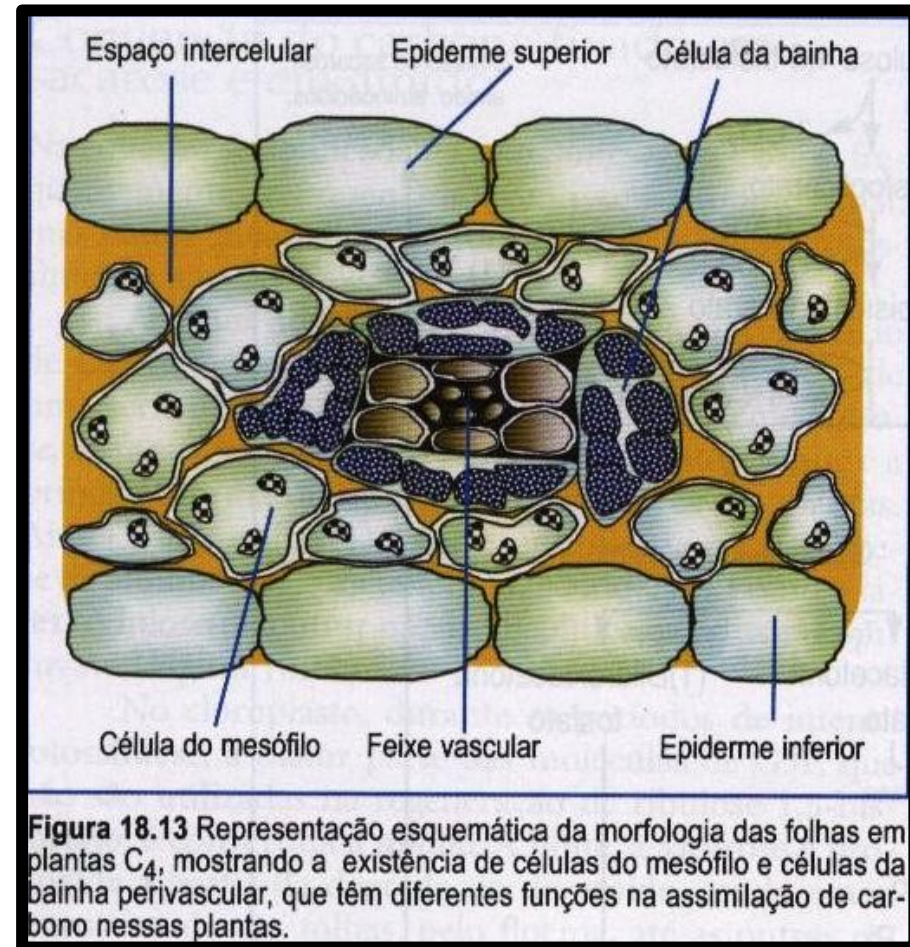
Comparação – Cloroplasto e Mitocôndria



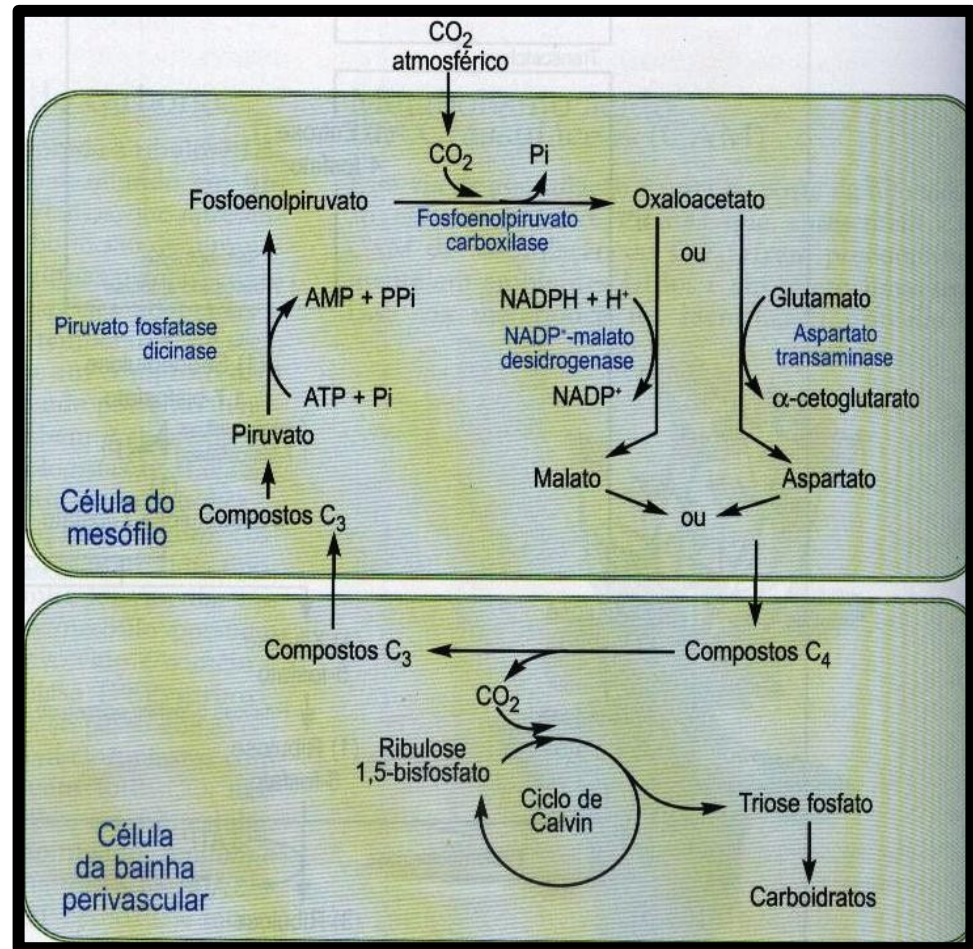
Ciclo C4 de assimilação do carbono

- No Ciclo de Calvin, o CO_2 é incorporado à ribulose 1,5-bisfosfato pela ação da RuBisCo, resultado em um composto de 3 carbonos (3GP) → plantas C_3 .
- Milho, cana-de-açúcar, sorgo, e espécies adaptadas a altas intensidades luminosas, altas temperaturas e seca → incorporação do CO_2 → composto de 4 carbonos → oxaloacetato (AOA) → plantas C_4 → via Hatch-Slach → fisiologistas australianos.

- Folha das plantas C_4 → apresenta dois tipos celulares distintos:
 - Células da bainha perivascular → possuem cloroplasto com grana menos desenvolvido → possuem RuBisCo mas não enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP carboxilase);
 - Células do mesófilo → possuem cloroplastos com grana bem desenvolvido → PEP mas não possuem a RuBisCo;



- PEP carboxilase incorpora CO_2 , células do mesófilo \rightarrow ácidos oxalacético \rightarrow malato ou aspartato \rightarrow depende da descarboxilase presente nas células do mesófilo;
- Malato ou aspartato \rightarrow células da bainha \rightarrow descarboxilado \rightarrow liberação do CO_2 \rightarrow refixado pela ação da RuBisCo \rightarrow Ciclo de Calvin.

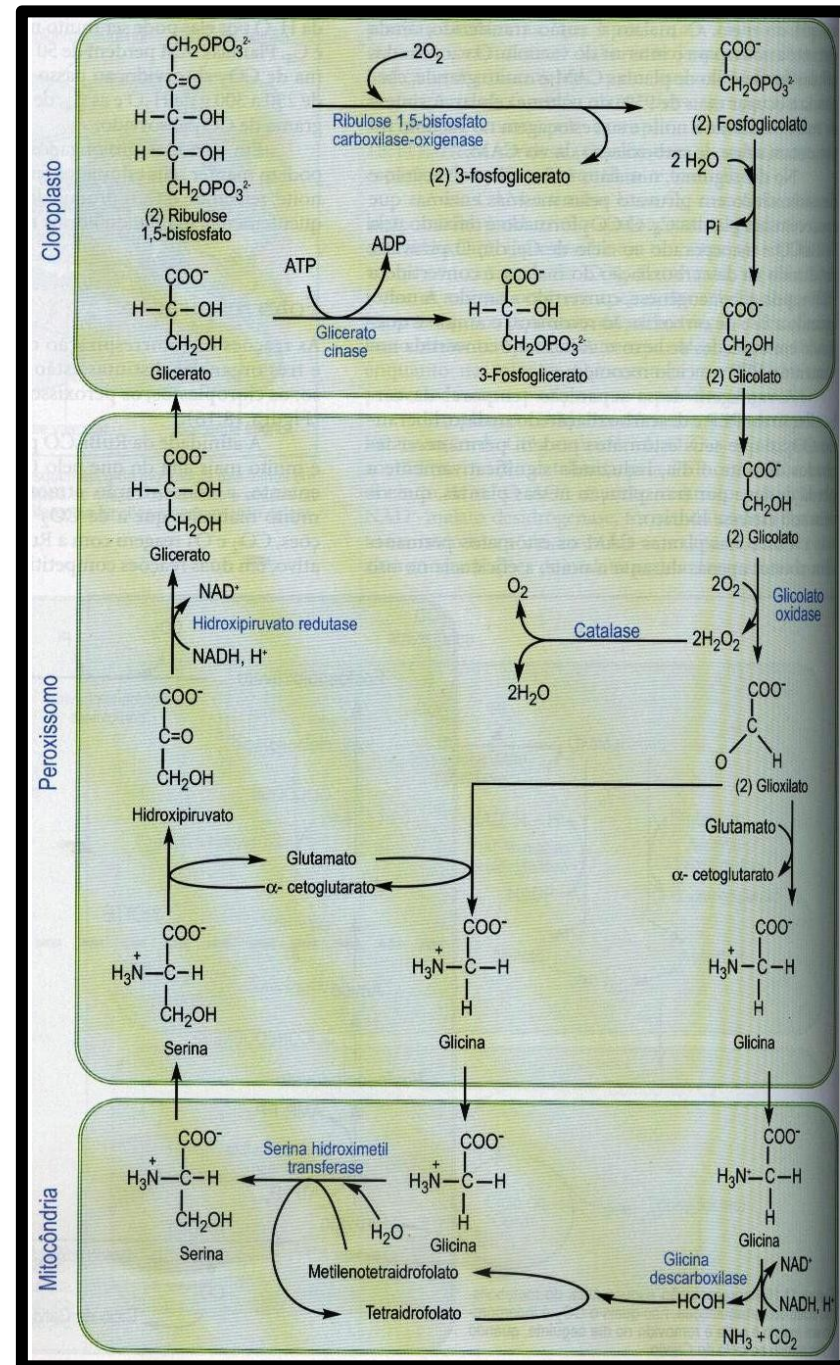


- Nas células do mesófilo das plantas C_4 , a concentração de CO_2 é muito baixa, isso ocorre porque essas plantas normalmente vivem em ambientes quentes e áridos.
- Nestas condições essas plantas mantêm seus estômatos fechados, na tentativa de reduzir a perda de água por transpiração.
- Em conseqüência, há uma entrada de ar reduzida e baixa concentração de CO_2 .

- A PEP carboxilase catalisa a incorporação de CO_2 mesmo que ele esteja em concentração extremamente baixa (2 ppm), como a encontrada nas células do mesófilo.
- A RuBisCo só catalisa a fixação do CO_2 quando a concentração superior a 50 ppm.
- A descarboxilação do malato ou aspartato, nas células da bainha perivascular, produz um grande aumento na concentração de CO_2 nessas células, possibilitando a sua incorporação ao ciclo de Calvin.

Fotorrespiração

- Ocorre em plantas C_3 e envolve 3 organelas;
- A afinidade da RuBisco pelo CO_2 é muito mais alta do que pelo O_2 ;
- No entanto a concentração atmosférica do O_2 é muito mais alta que a do CO_2 ;
- Nestas condições, CO_2 e O_2 reagem com a RuBisCo, no mesmo sítio ativo, em duas reações competitivas entre si, a de carboxilação da ribulose 1,5-bisfosfato e a sua oxigenação;
- Cloroplasto \rightarrow Glicolato \rightarrow peroxissomo \rightarrow glicina \rightarrow mitocôndria \rightarrow serina \rightarrow peroxissomo \rightarrow glicerato \rightarrow cloroplasto \rightarrow 3- fosfoglicerato (3PG) \rightarrow Ciclo de Calvin.



- **Fotorrespiração** → envolve gasto de energia → consumo de O_2 no cloroplasto e no peroxissomo → liberação de CO_2 na mitocôndria;
- Ocorre devido a oxigenação da ribulose 1,5-bisfosfato;
- Plantas C_3 → vivem expostas a altas temperaturas ou sob estresse hídrico → fecham seus estômatos para evitar a perda de água por transpiração.
- Isso leva a não absorção do CO_2 e conseqüente queda na sua concentração no mesófilo e um aumento na concentração de O_2 produzido na fotossíntese → favorece a ocorrência da fotorrespiração.