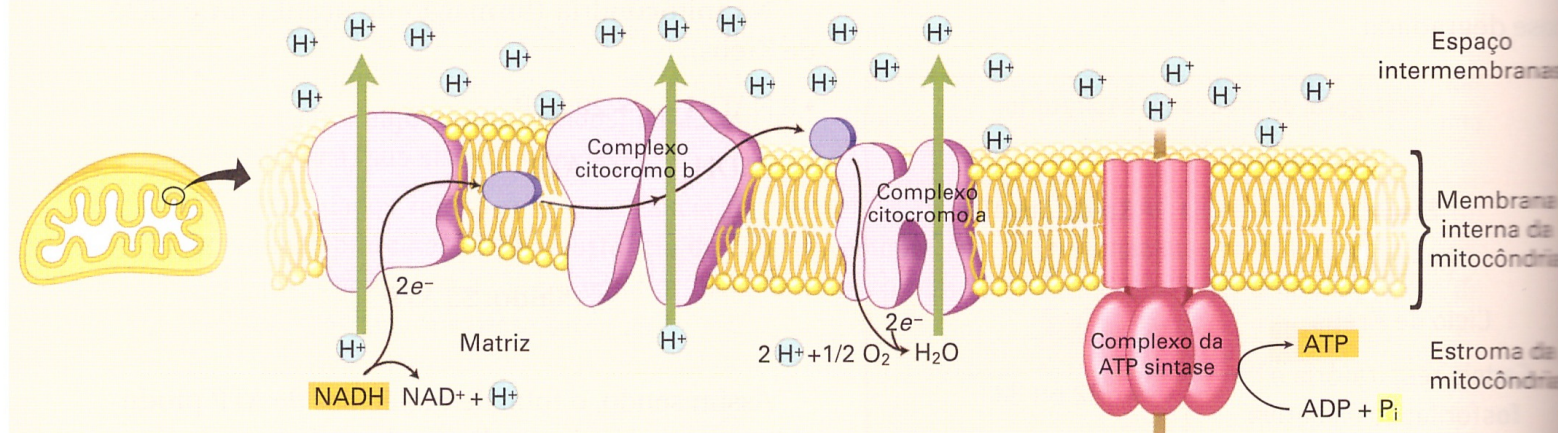


Esquema do mecanismo quimiosmótico de síntese de ATP na fotofosforilação. (Cores-fantasia.)



# Bioenergética - Fotossíntese e Quimiossíntese

Prof<sup>o</sup> Fernando Belan - Biologia Mais



# Plastos ou plastídeos

- Organelas encontradas nas algas eucariontes e nos vegetais;
- Não são encontradas em procariontes, fungos, protozoários e animais





# Classificação

- **Leucoplastos** - armazenam substâncias de reserva:
- **Amiloplasto** - reserva amido
- **Proteoplasto** - reserva proteínas
- **Oleoplastos** - reserva lipídios





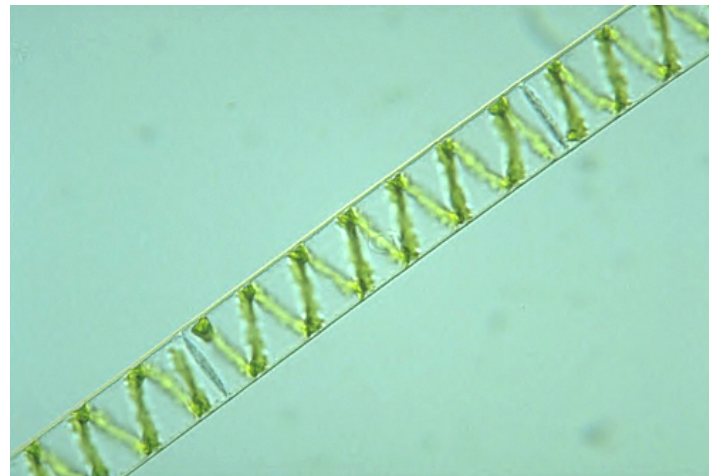
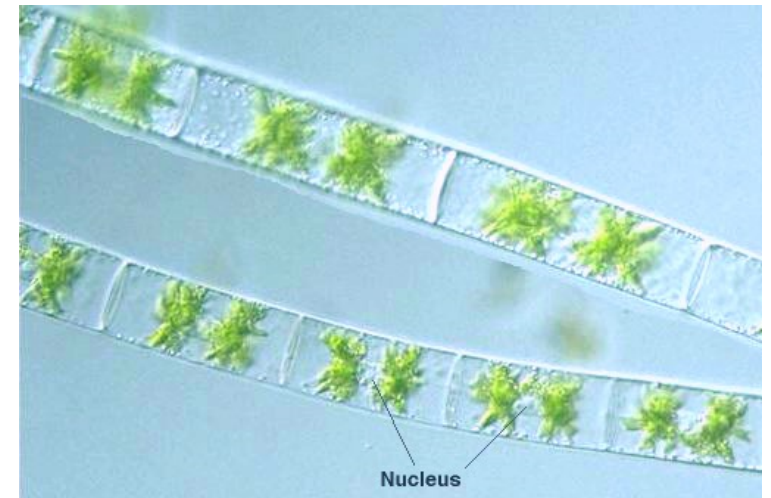
# Classificação

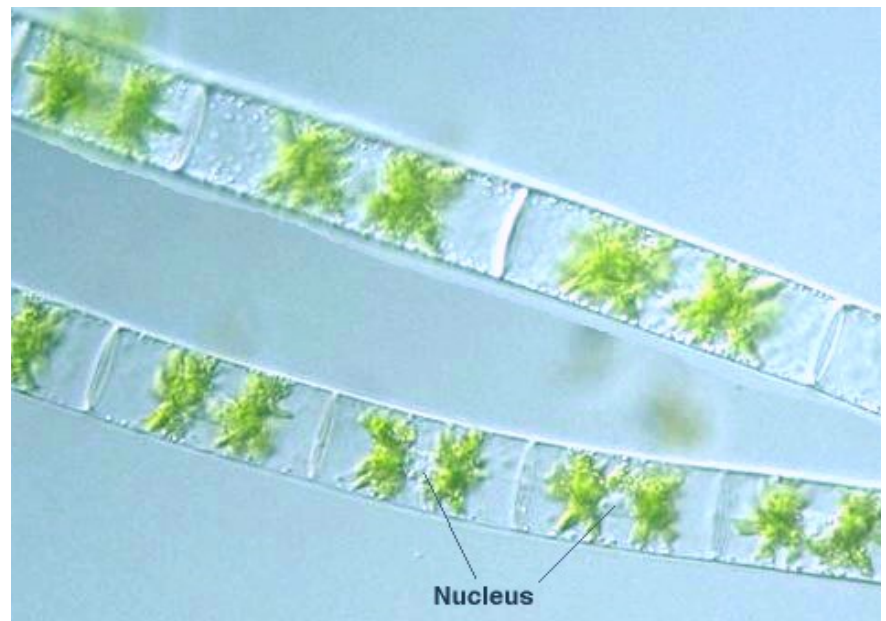
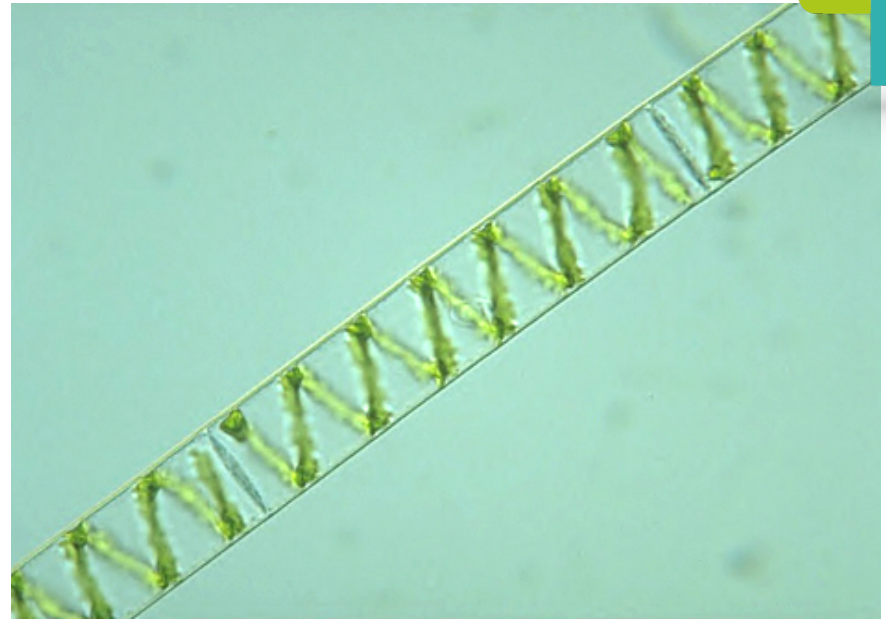
- **Cromoplastos** - reservam pigmentos que atuam na captação de energia luminosa.
- **Xantoplastos** – pigmento amarelo, algas, folhas e vegetais amarelos. Pode ocorrer também o pigmento alaranjado como o caroteno.
- **Eritroplasto** – vermelho, (licopeno) algas vermelhas, folhas, frutos.
- **Feoplastos** – marrom, algas pardas.
- **Cloroplastos** – verde, clorofila.



# Cloroplastos

- Podem ser encontrados em vários formatos, desde ferradura, estrela e espiral.

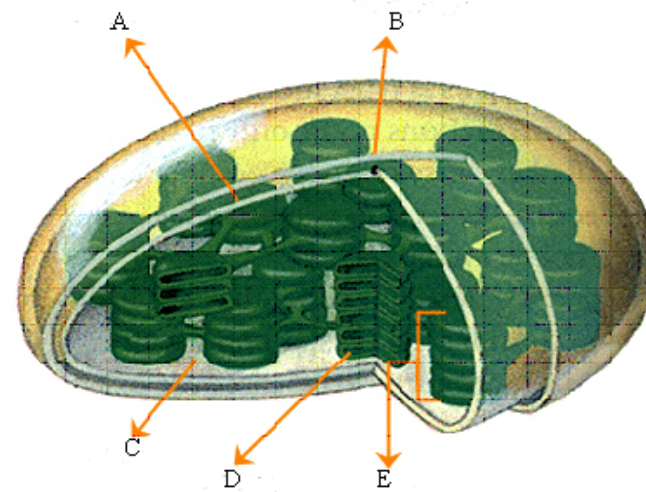
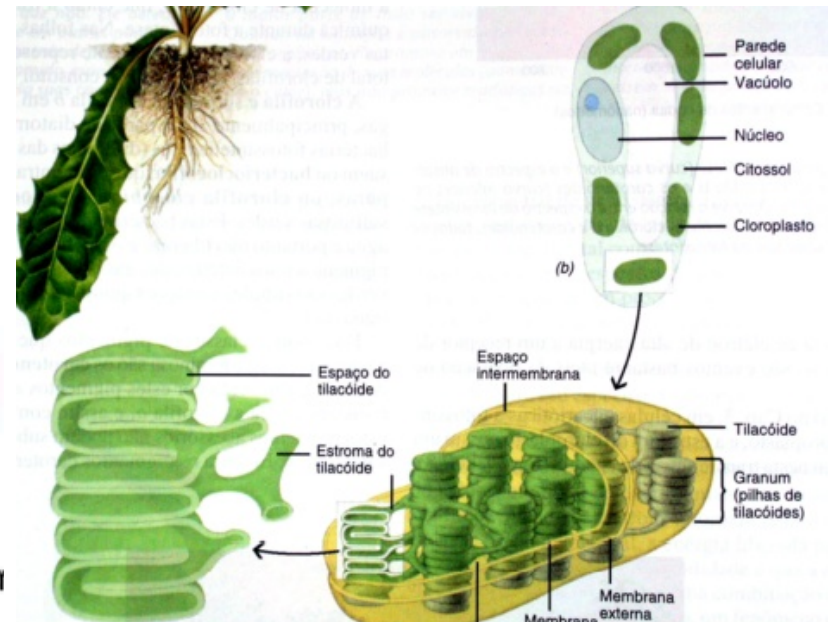
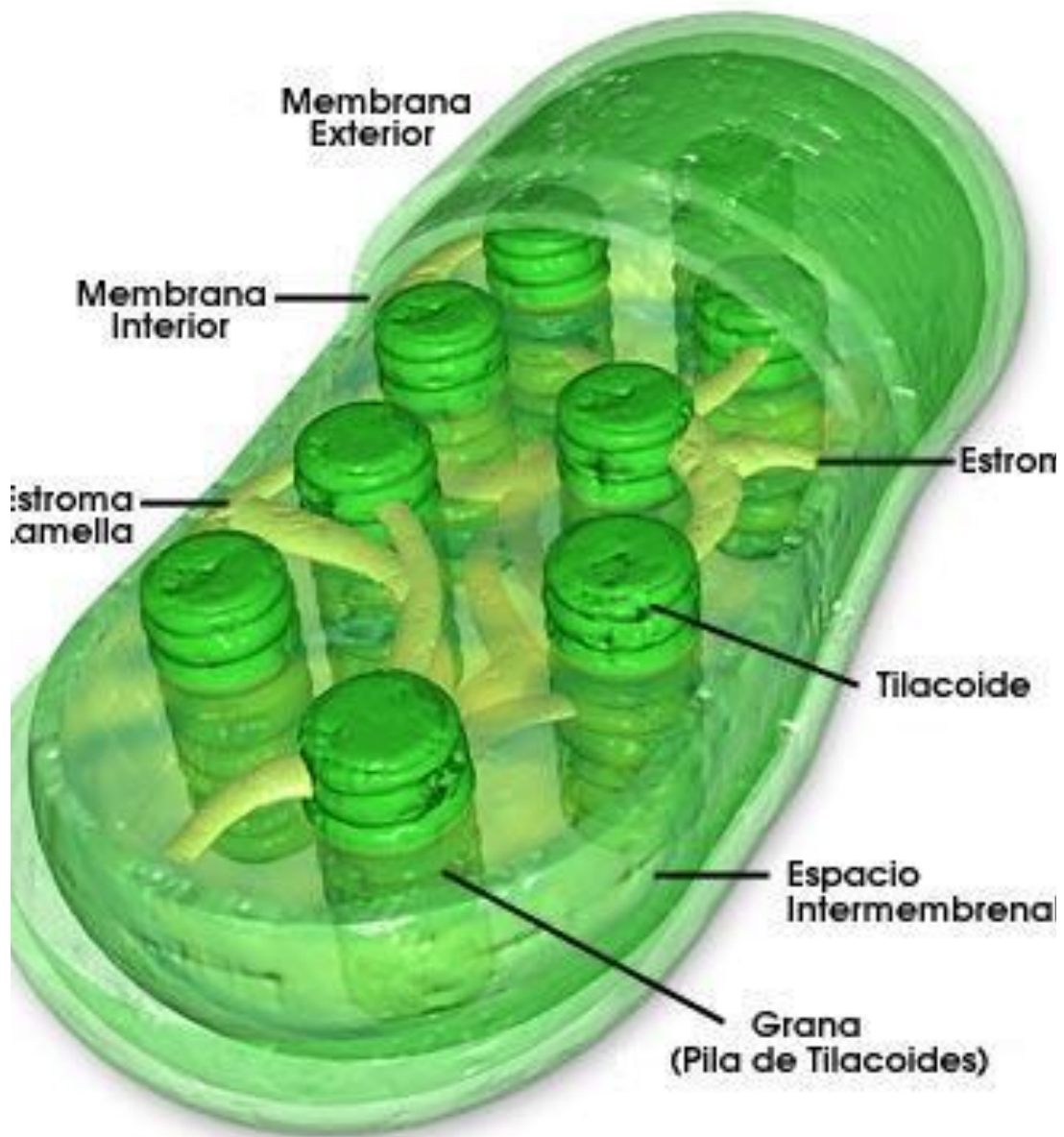




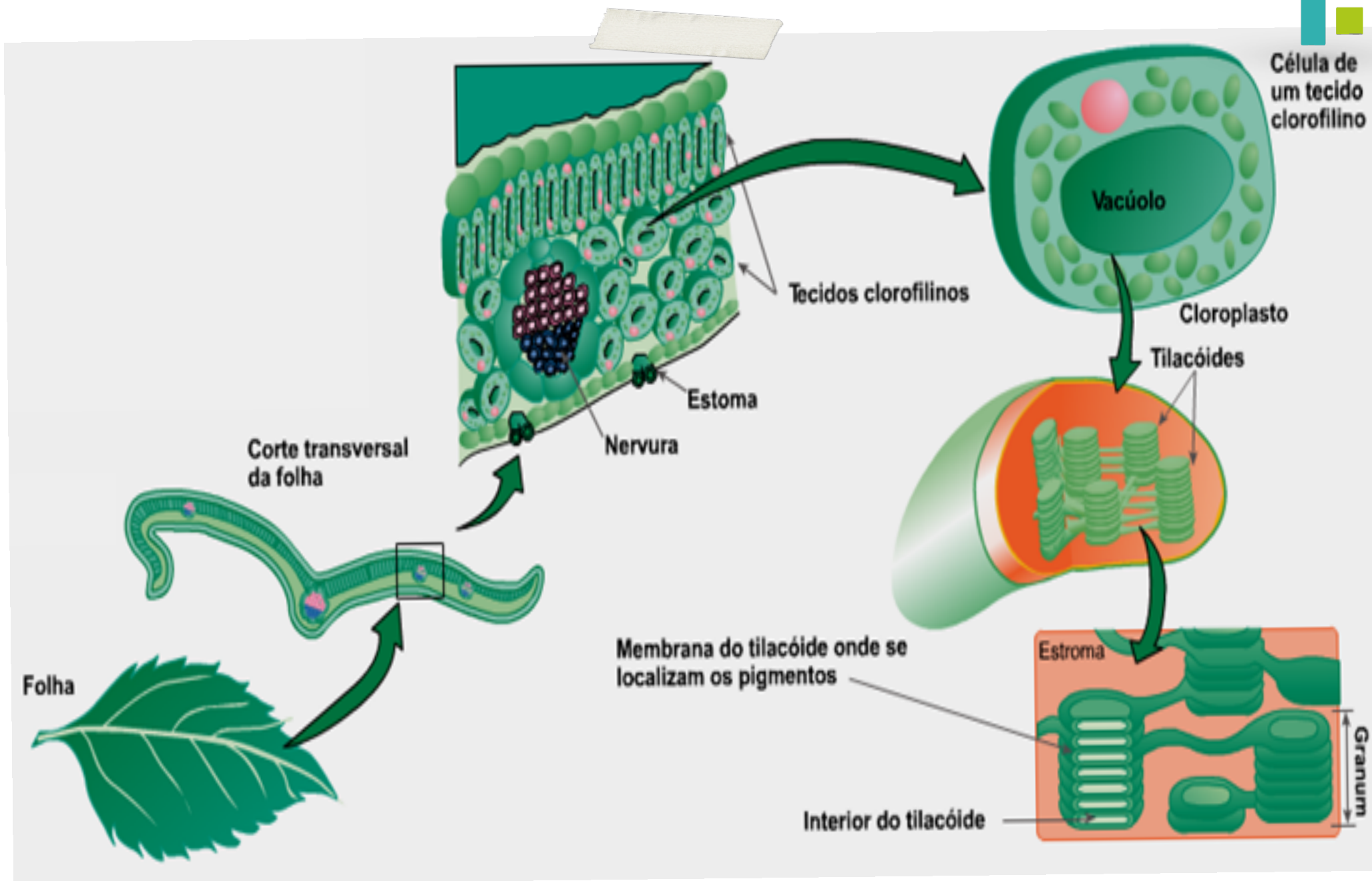


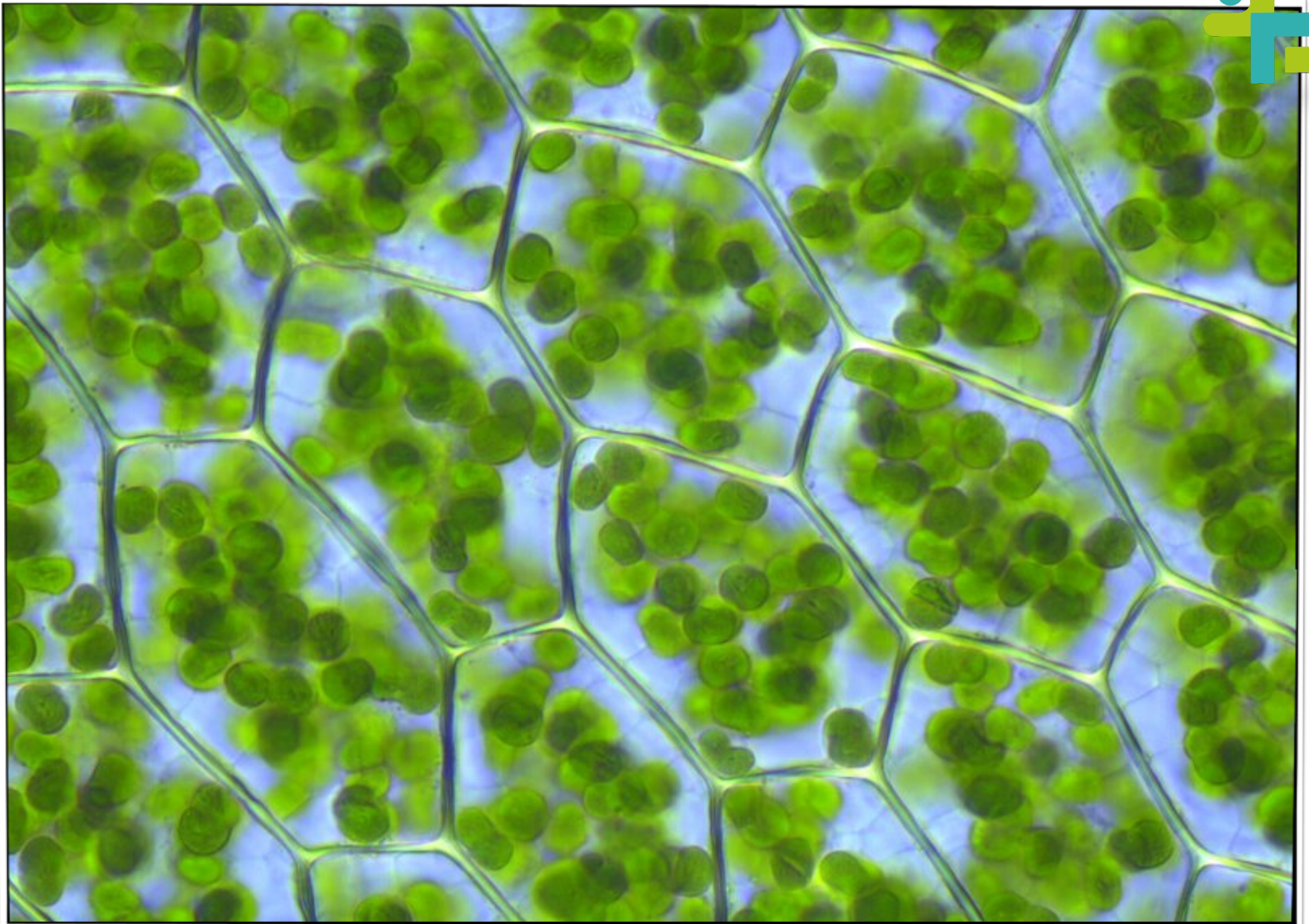
# Estrutura

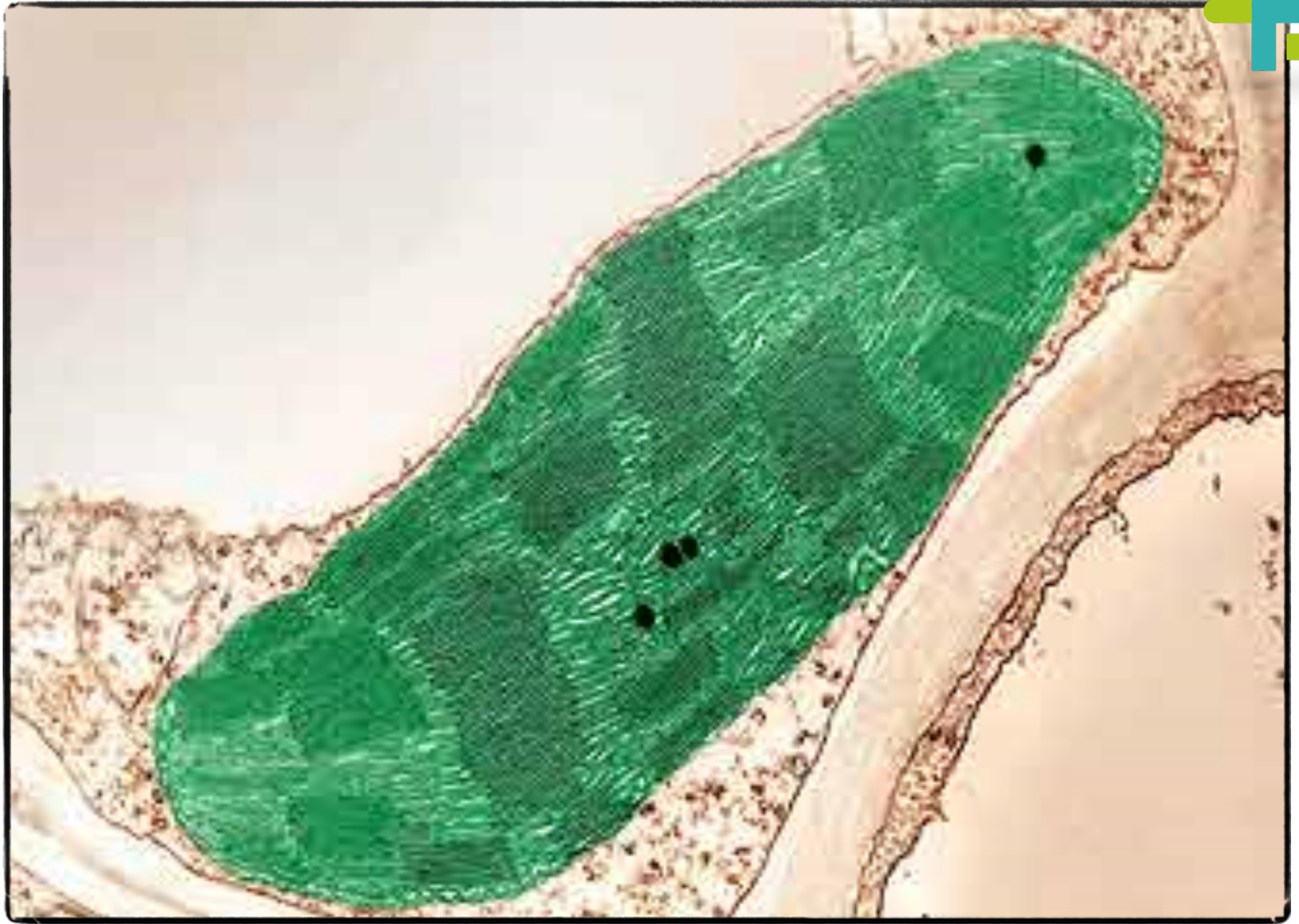
- Formado por duas membranas, interna e externa, semelhantes à membrana plasmática.
- Lamelas, estroma, tilacóides, granum (grana), DNA, RNA, ribossomos;

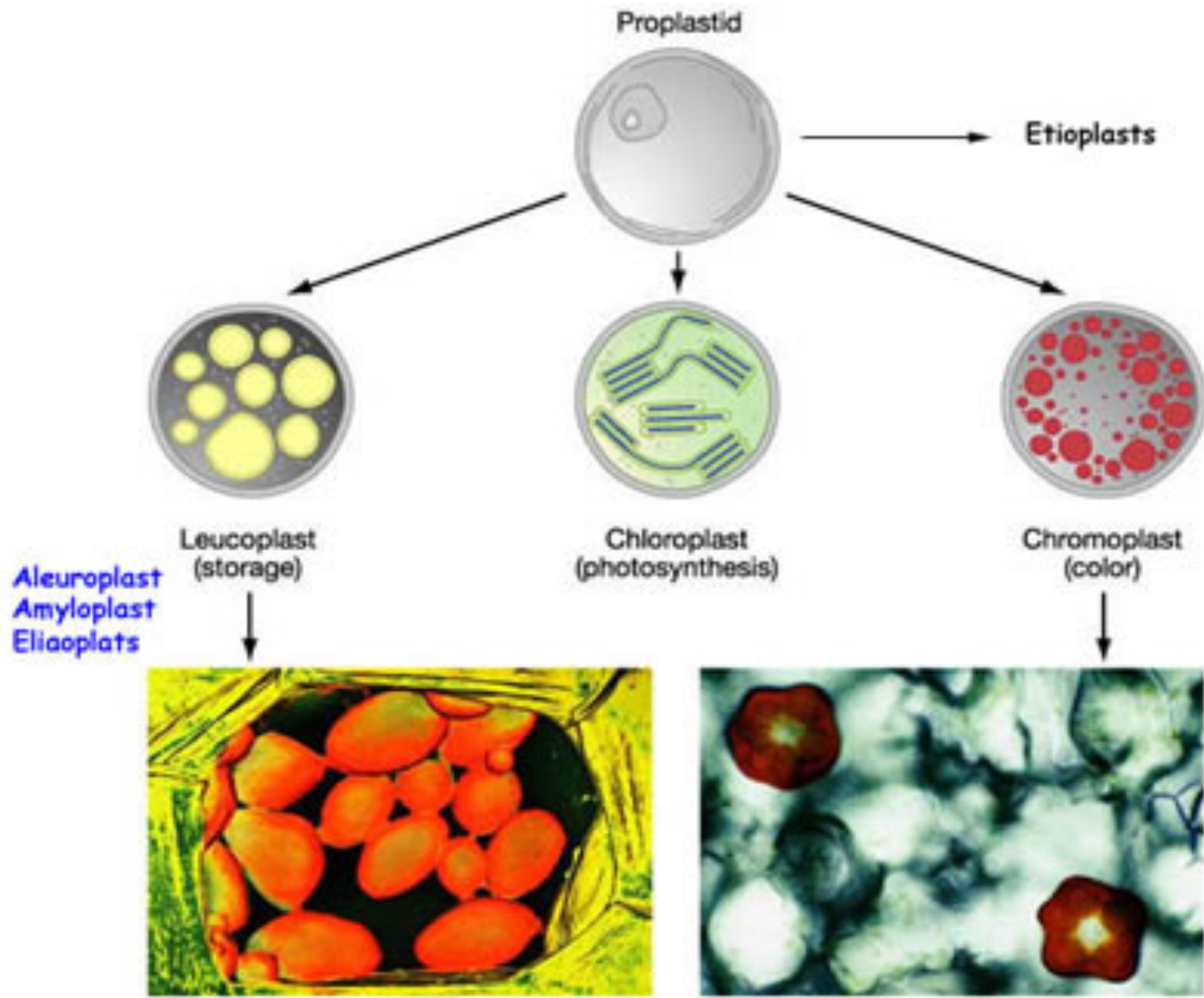












# Plastídeos



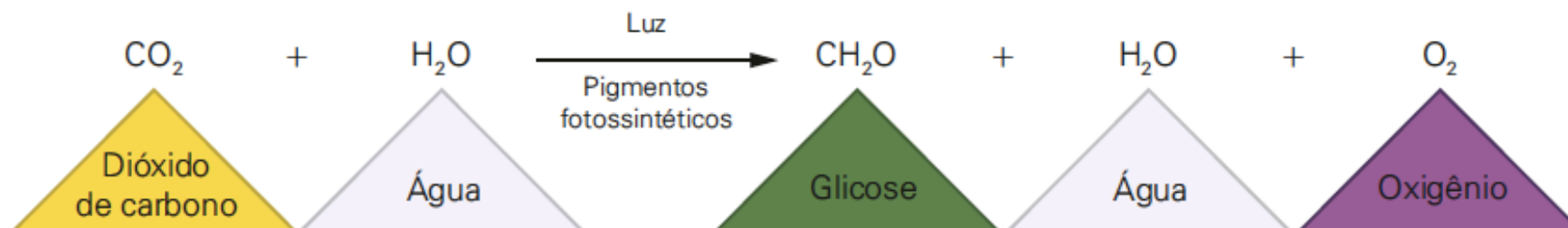
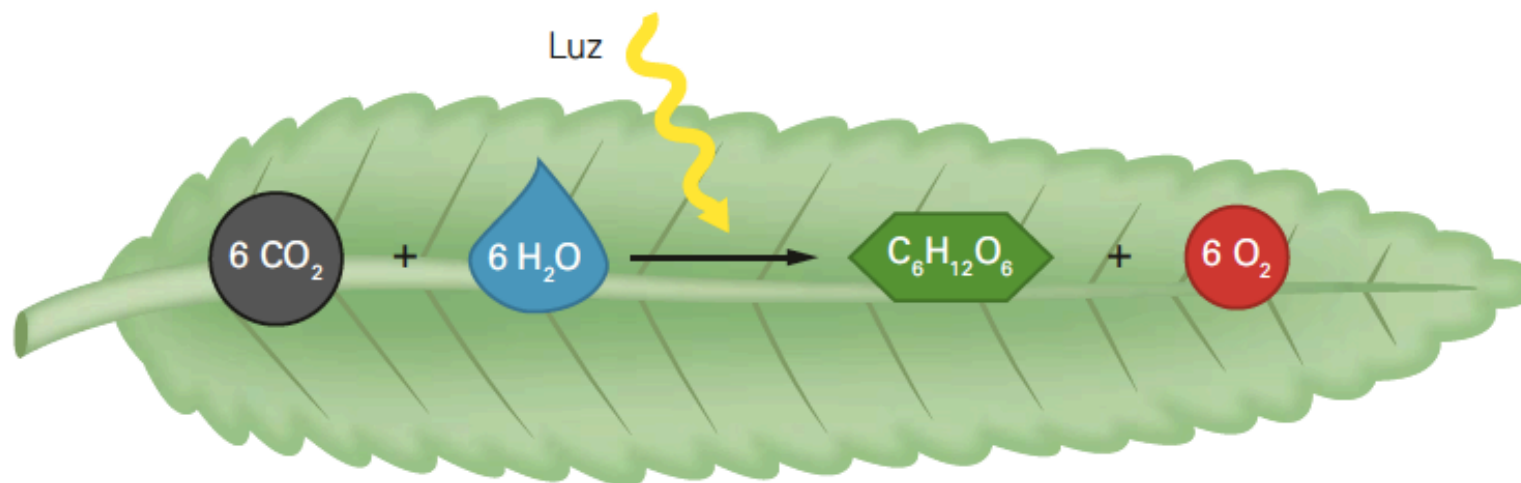


# Fotossíntese

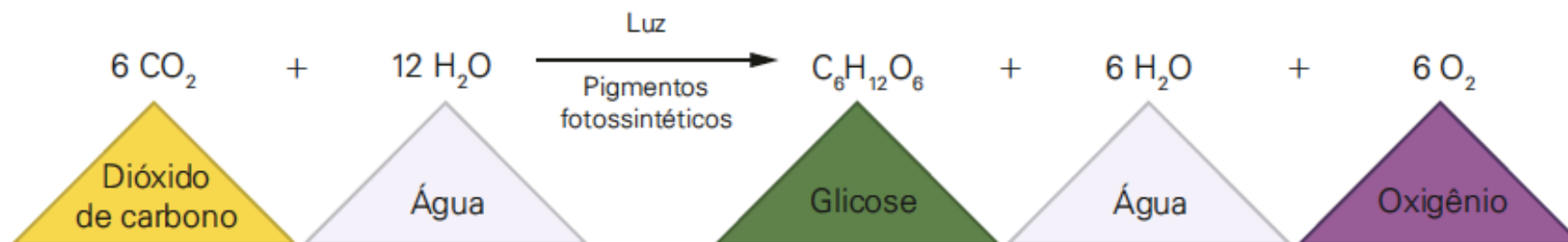
- Realizada por seres clorofilados: plantas, algas, bactérias fotossintetizantes e cianobactérias.
- Fotossíntese oxigénica - Libera O<sub>2</sub>. Fundamental para manutenção da vida no planeta. Base da cadeia alimentar, produz O<sub>2</sub> utilizado pelos seres aeróbios.
- $3\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  (PGAL - 3C).
- $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  (Glicose - 6C).
- $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

# Fotossíntese Anoxígena

- Bactérias vermelhas sulfurosas (sulfobactérias).
- Não utilizam água e nem produzem oxigênio.
- Utilizam CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S (sulfeto de hidrogênio) e produzem carboidrato e enxofre.
- Portanto o O<sub>2</sub> é originado da **água** e não do CO<sub>2</sub>.
- $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + 2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ . (bacterioclorofila).



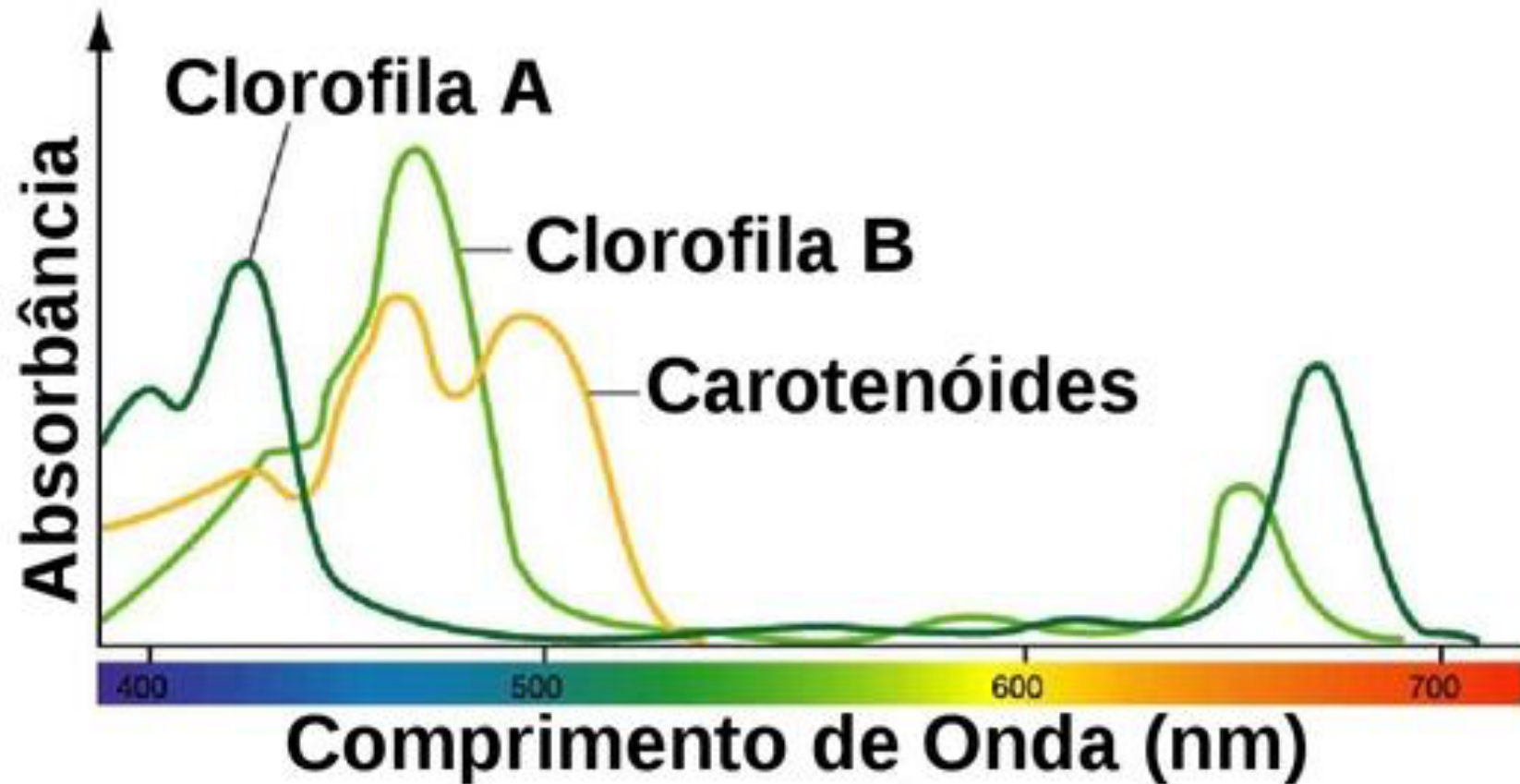
ou



Equação geral da fotossíntese.



# Espectro de absorção de luz



Plantas iluminadas com luz vermelha: Crescem, fazem fotossíntese.

Plantas iluminadas com luz verde: Não crescem, não fazem fotossíntese.

# Pigmentos da fotossíntese



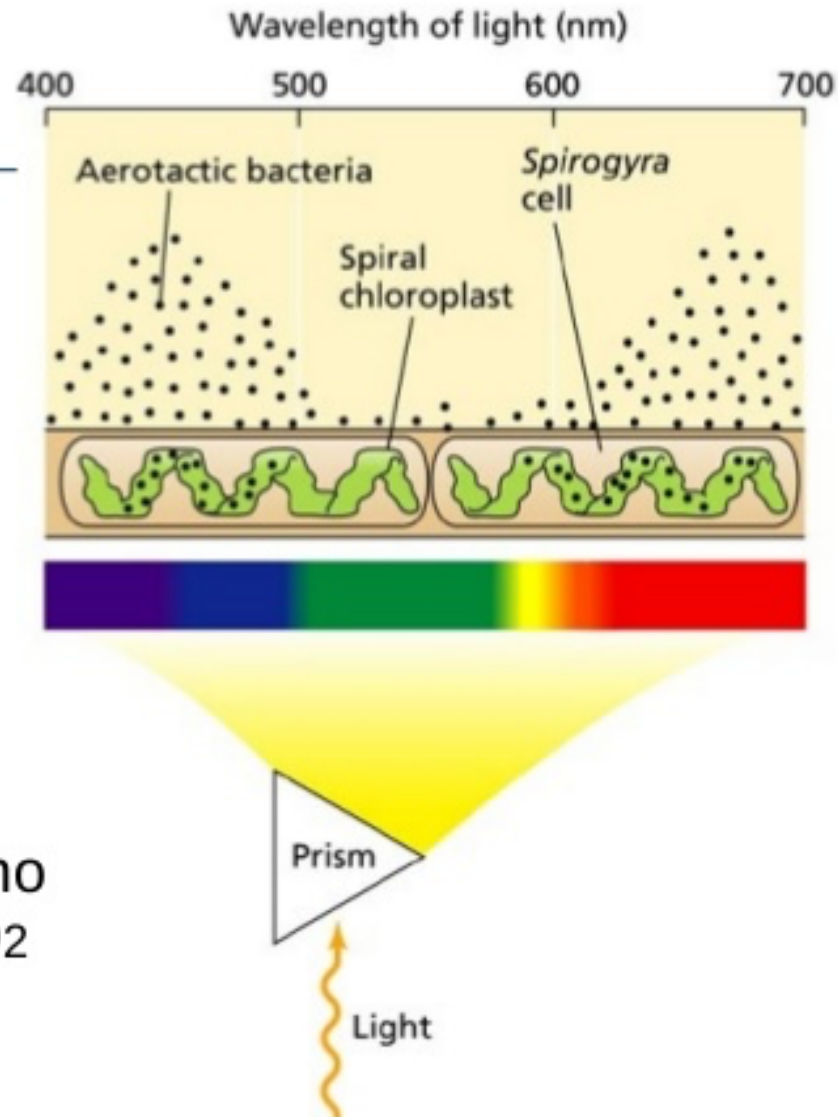
- **Clorofila a:** Ocorre nas cianobactérias e todos os eucariontes fotossintetizantes.
- **Clorofila b:** Ocorre em todas as plantas e nas algas verdes.
- **Clorofila c:** ocorre nas algas pardas e diatomáceas.
- **Bacterioclorofila:** Fotossíntese anoxígena de sulfobactérias.
- Outros pigmentos: **carotenoides** e **ficobilinas** (cianobactérias).

# Experimento de Engelmann

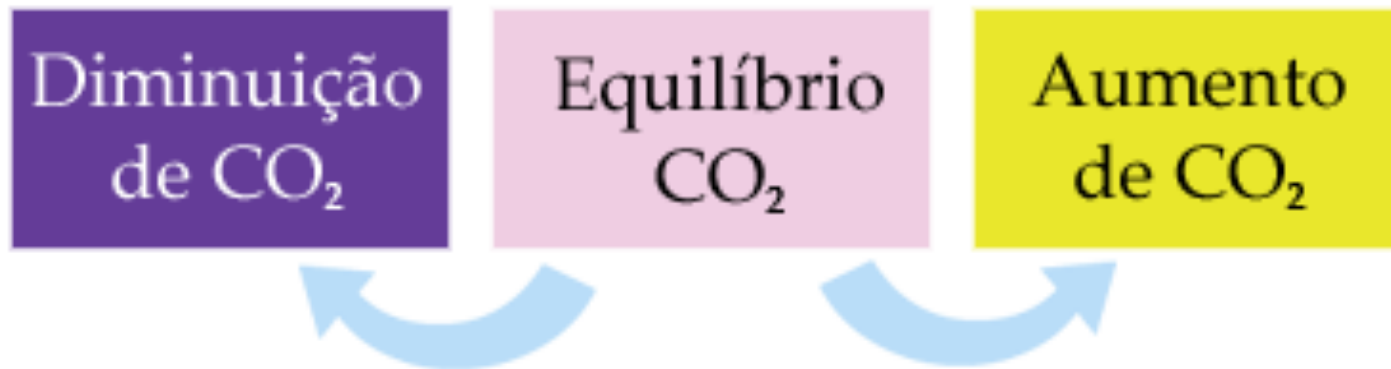
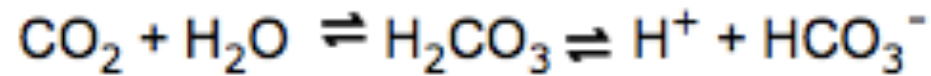


## Espectro de luz

- Experimento de Engelmann (1883)
  - Luz em prisma: arco-íris sobre a mesa
  - Alga sob o arco-íris
  - Bactérias aeróbias ao longo da alga
  - Crescimento bacteriano maior onde há mais O<sub>2</sub>



# Vermelho de cresol - indicador de fotossíntese



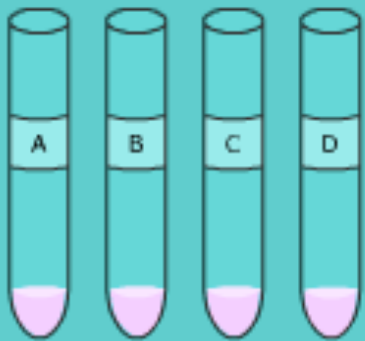
Roxo → < CO<sub>2</sub>; Mais fotossíntese

Rosa → Equilíbrio; Fotossíntese = Respiração

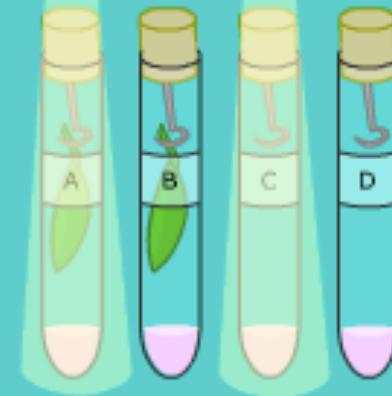
Amarelo → > CO<sub>2</sub>; Mais respiração

# Indicador de fotossíntese

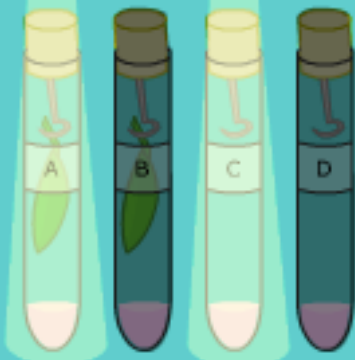
Os tubos de ensaio permaneceram abertos por algum tempo para entrar em equilíbrio com o ar circundante, evitando-se respirar diretamente sobre eles.



Ambiente com boa iluminação



Ambiente escuro



**Parabéns!**





- ◆ **Heliófilas (plantas de sol)**: necessitam de alta luminosidade para atingir o ponto de compensação fótico.
- ◆ **Umbrófilas (plantas de sombra)**: atingem o ponto de compensação fótico com menos luminosidade.

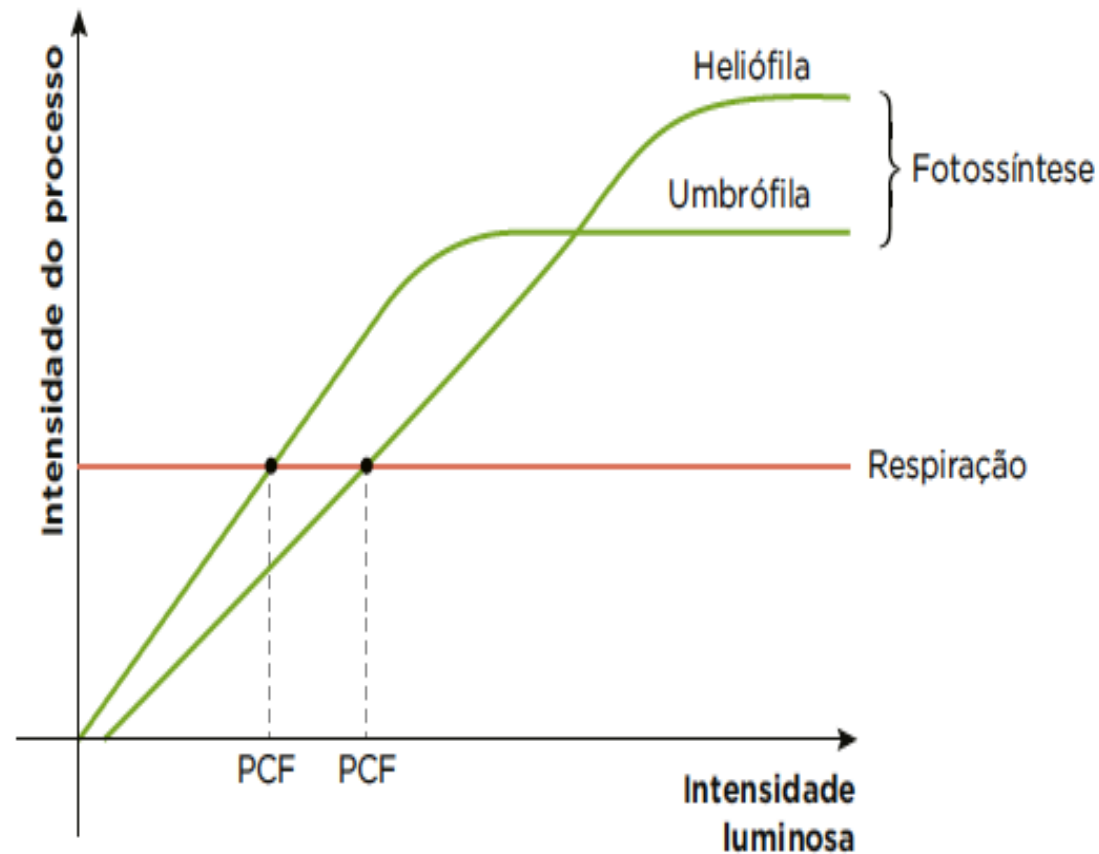


Gráfico comparando o ponto de compensação fótico (PCF) de plantas heliofilas e umbrófilas.

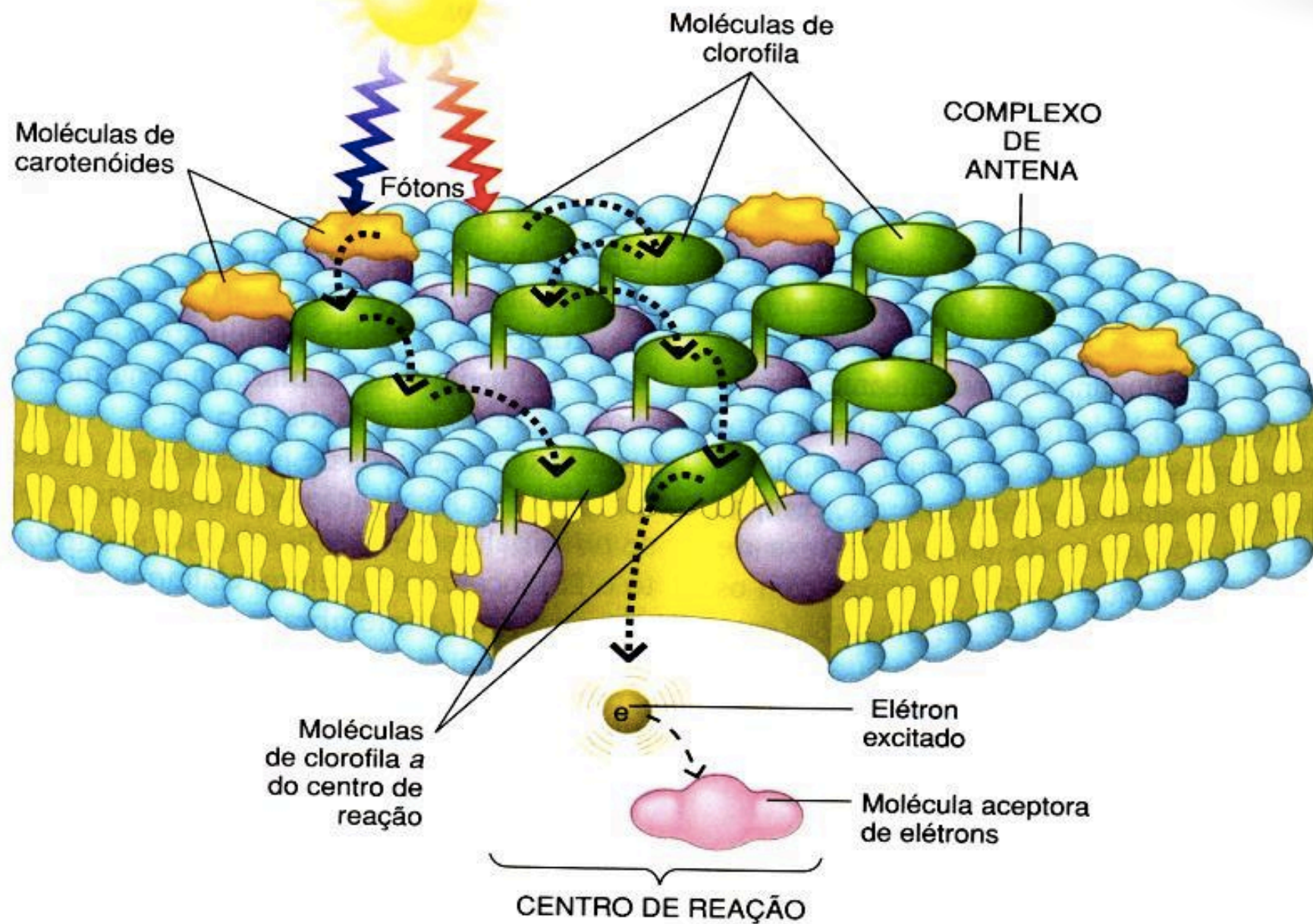
# Organização da clorofila.



- Dentro do cloroplasto, nos tilacoides, os pigmentos formam os chamados complexo antena.
- Em cada complexo antena, a energia luminosa captada é transferida para um par especial de clorofilas a (centro de reação).
- Fotossistema = Complexo antena + centro de reação.

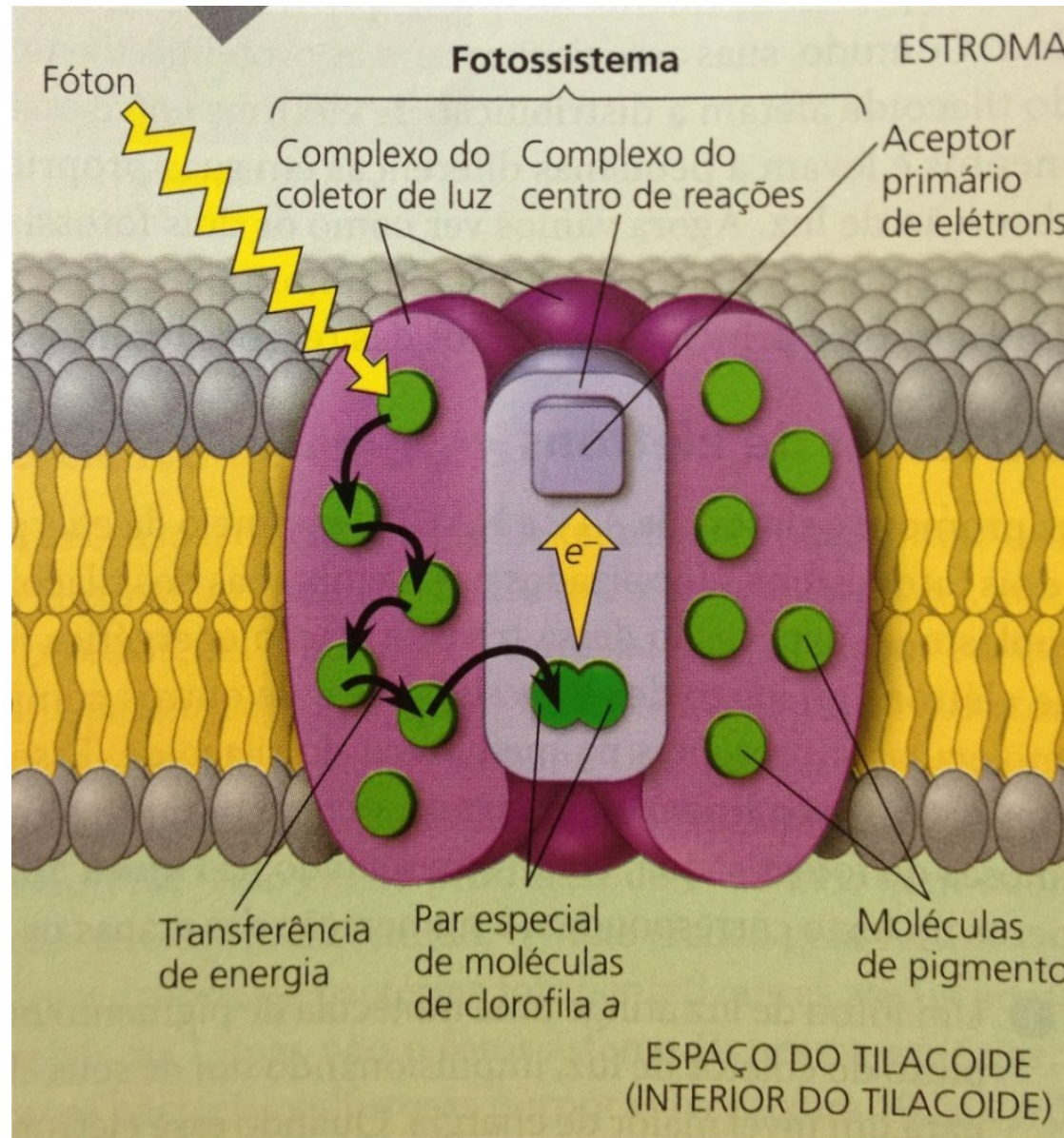


# FOTOSISTEMA





# Fotossistema

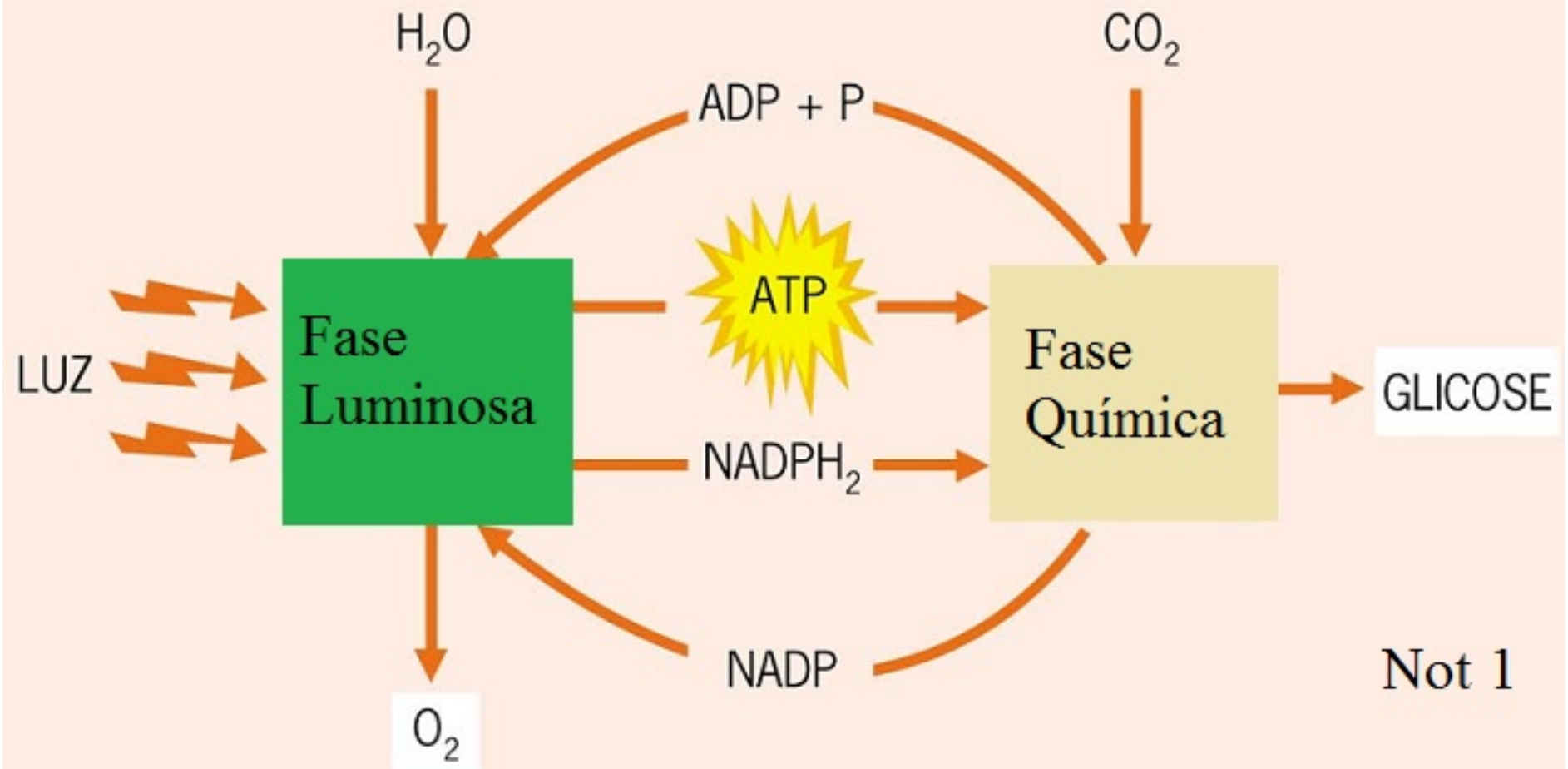


# Etapas da fotossíntese

- **Etapa fotoquímica:** Reações de claro; Há necessidade da luz.
- **Etapa química:** Reações de escuro; Não necessita da luz, mas sim dos produtos da fase fotoquímica.
- Obs. A fase clara ocorre na presença da luz; A fase escura ocorre enquanto houver produtos da fase clara.



## Fotossíntese: fase de claro e fase de escuro



# Etapa fotoquímica



- Dois processos inter-relacionados: Fotofosforilação e a fotólise da água.
- **Fotofosforilação:** Adição de fosfato ao ADP em presença de luz, formando o ATP.
- **Fotólise da água:** Quebra da molécula de água em presença de luz.
- Ambos os processos estão relacionados aos fotossistemas.



# Fotossistemas

- Fotossistema I (PSI): Possui no centro de reação a clorofila que absorve melhor a luz de 700 nm. Clorofila P<sub>700</sub>.
- Fotossistema II (PSII): Possui no centro de reação a clorofila que absorve melhor a luz de 680 nm. Clorofila P<sub>680</sub>.
- O PSI pode operar independentemente do PSII.
- O PSII, porém, depende do PSI.

# Fotossistemas e Fosforilações.



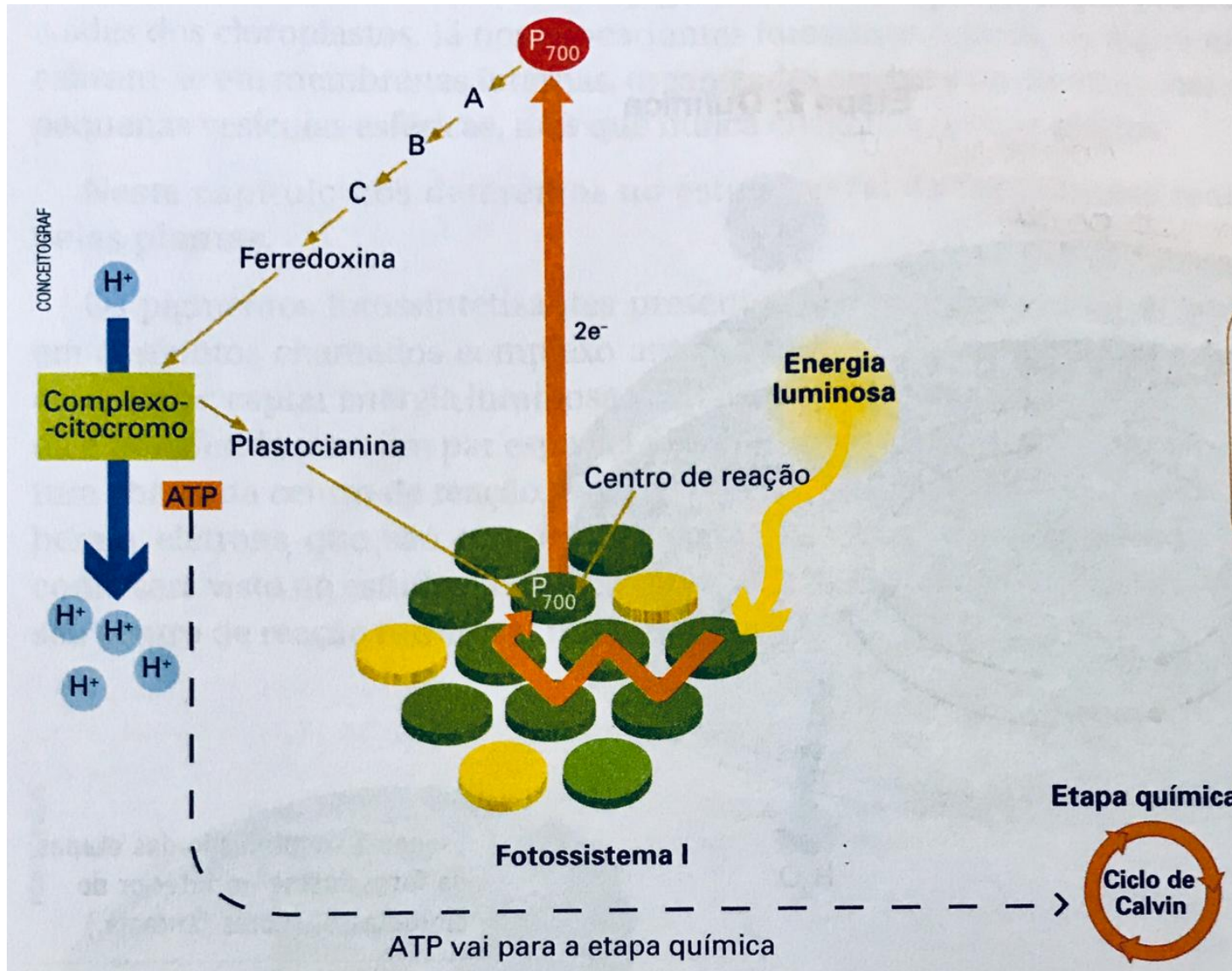
- **Fosforilação cíclica:** Quando o PSI atua de forma independente.
- **Fosforilação acíclica:** Quando PSI e PSII atuam em conjunto.

# Fosforilação Cíclica.



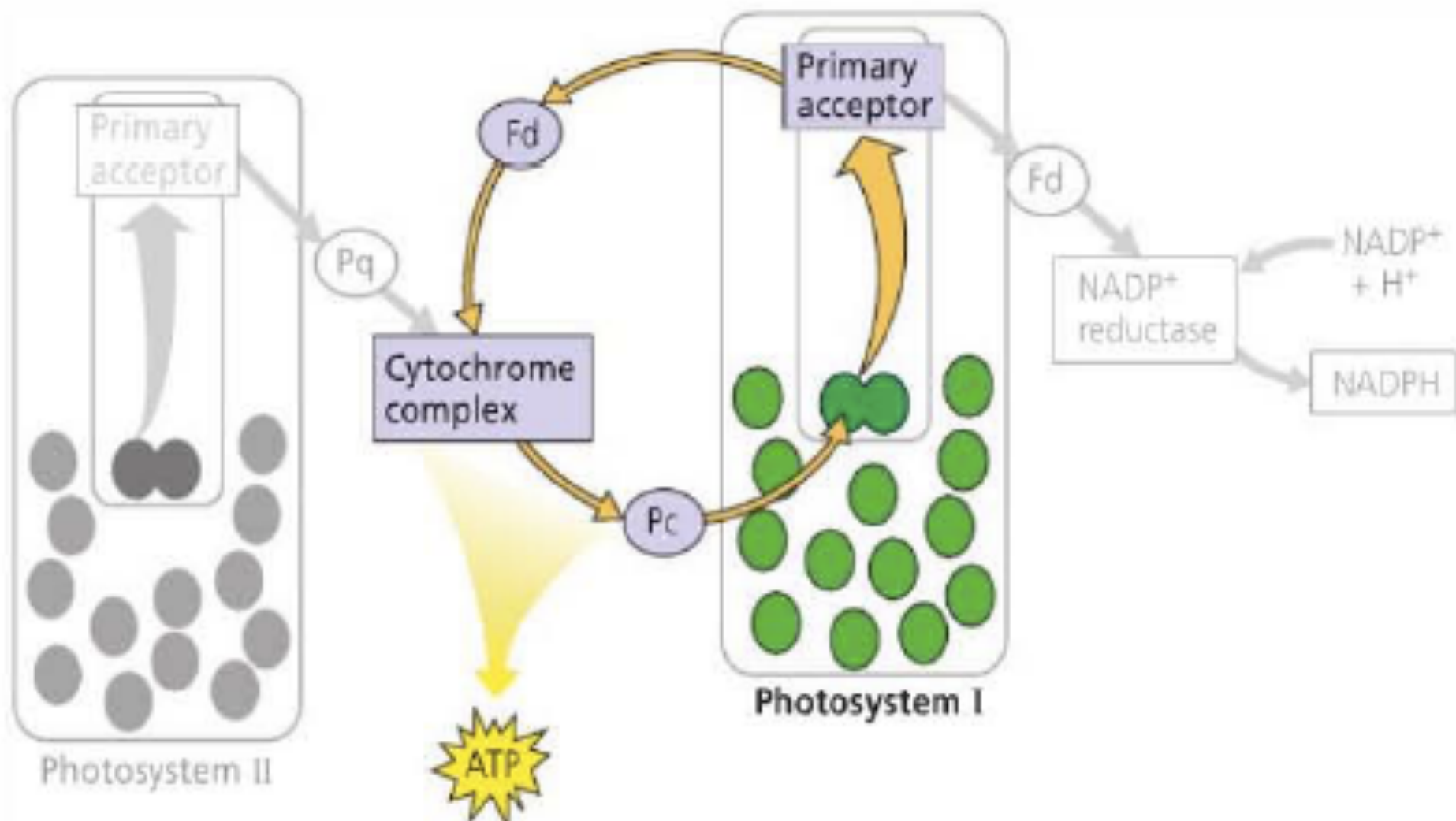
- A  $P_{700}$  excitada pela luz, libera elétrons para substâncias aceptoras que são transferidos para uma cadeia transportadora de elétrons.
- Os elétrons vão perdendo energia gradualmente e retornam para a  $P_{700}$ .
- A energia dos elétrons no complexo-citocromos, bombeia  $H^+$  para o lúmen do tilacoide.
- Por difusão os  $H^+$  retornam para o estroma através da ATP sintase, gerando ATP.

# Fosforilação Cíclica





# Fosforilação Cíclica



# Fosforilação Acíclica



- A  $P_{680}$  excitada pela luz libera elétrons que são transferidos para uma cadeia transportadora de elétrons.
- Nesse trajeto os elétrons perdem energia e são transferidos para a  $P_{700}$ , repondo os elétrons liberados pelo PSI.
- Os elétrons da  $P_{700}$  vão para **uma proteína aceptora de elétrons** até chegarem no  $NADP^+$  que recebe  $H^+$  do estroma formando o NADPH ou  $NADPH_2$ .

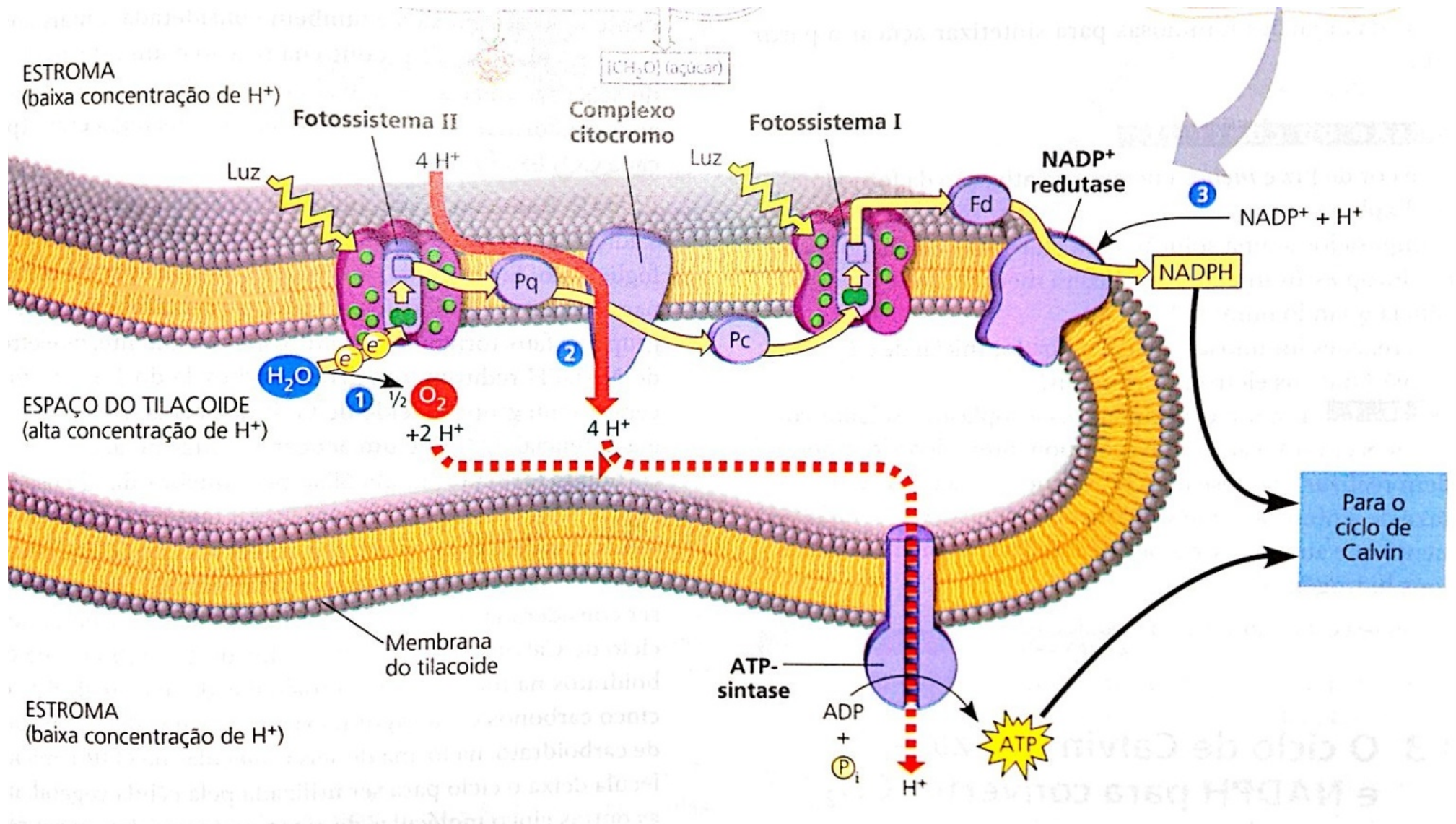
# Fosforilação Acíclica



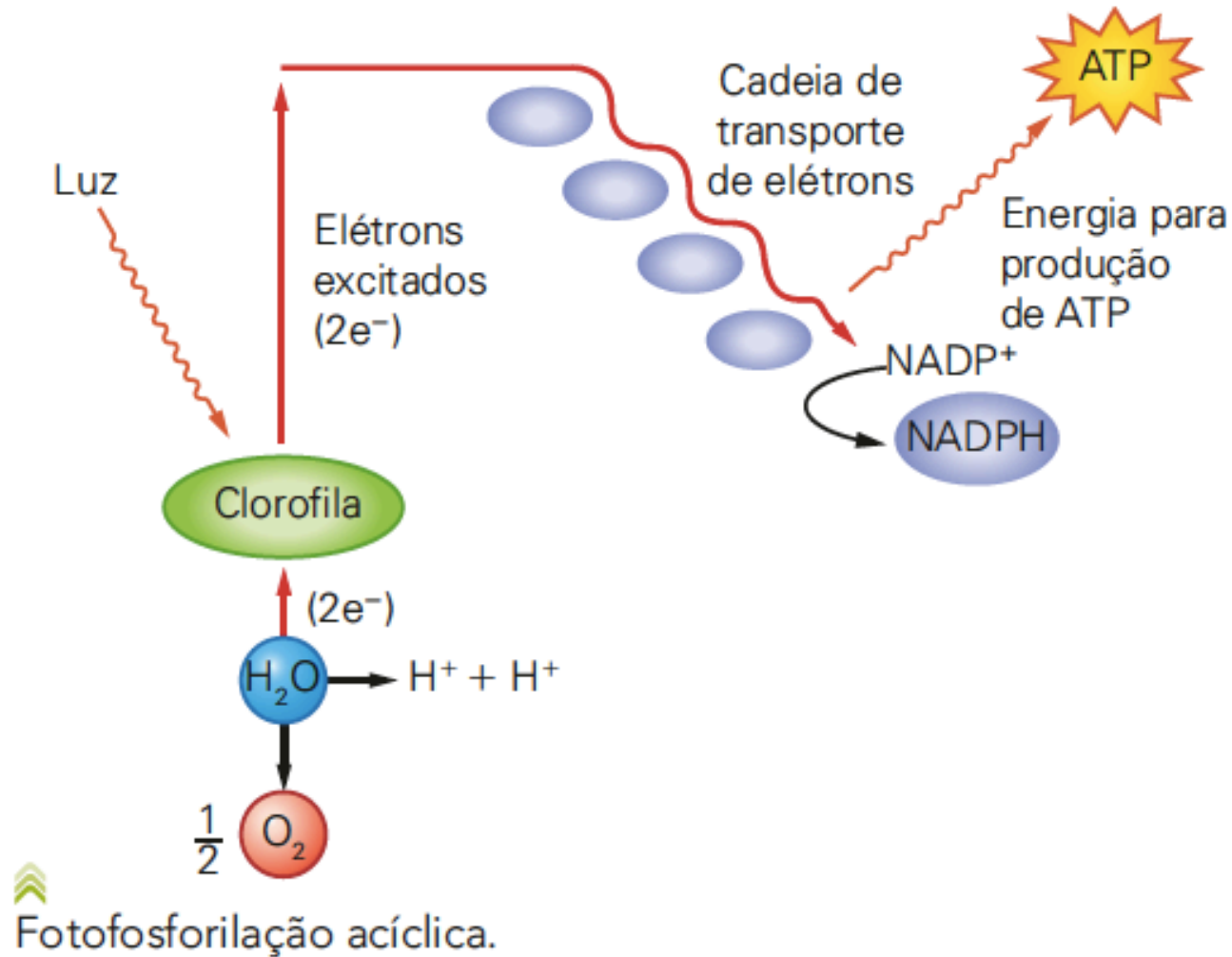
- O caminho dos elétrons saindo do PSII e chegando ao PSI, gera ATP ao passar pela cadeia transportados de elétrons.
- O PSII repõe seus elétrons perdidos pela fotólise da água. O PSI repõe seus elétrons com os elétrons do PSII.
- A fosforilação acíclica ao final produz ATP e NADPH.



# Fotossistemas

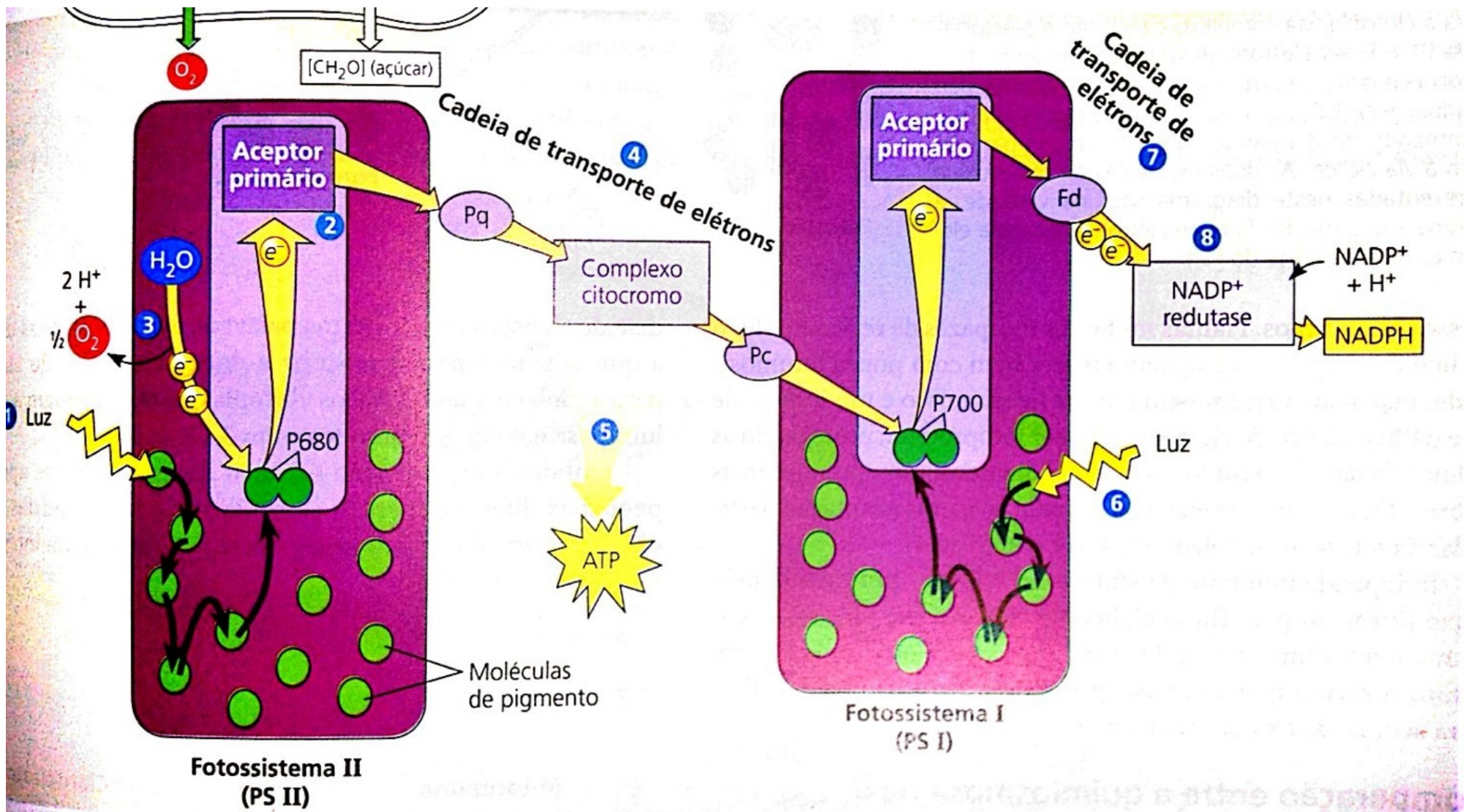


# Fosforilação Acíclica



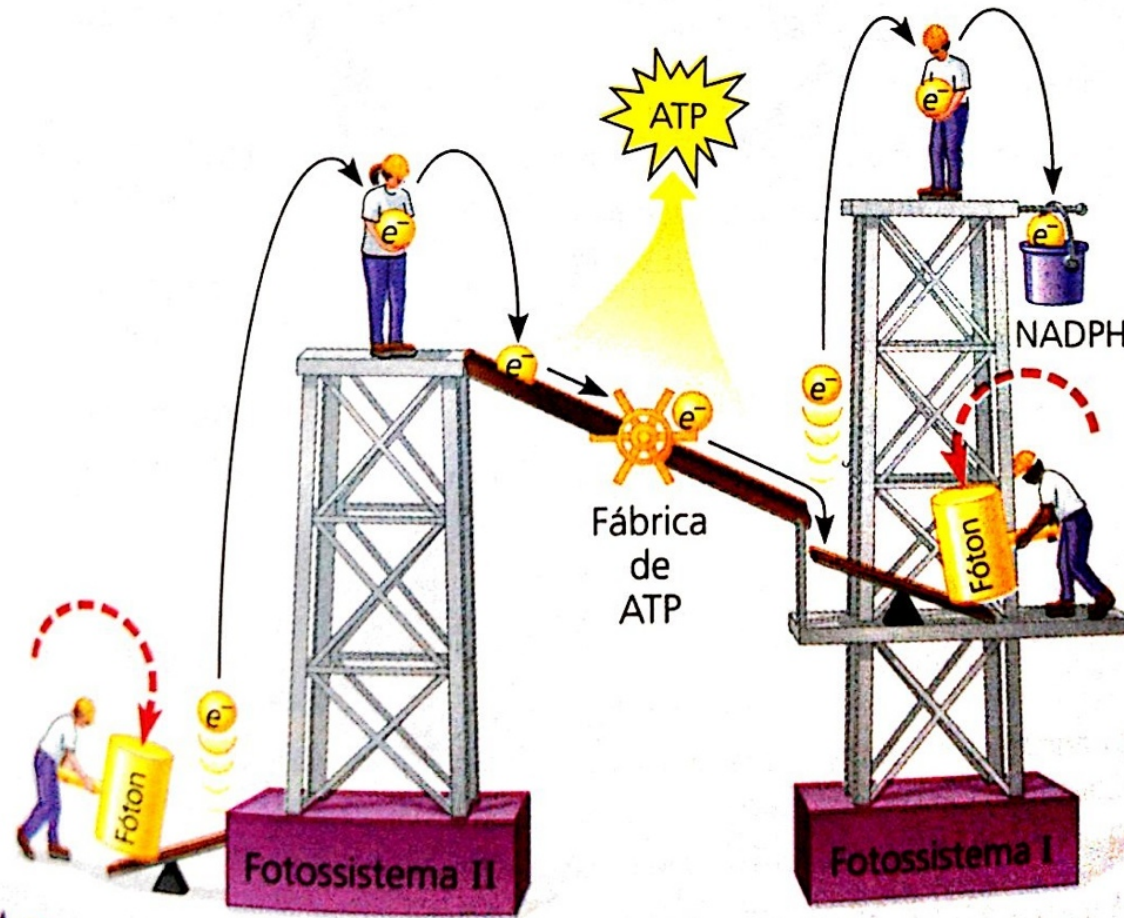


# Fosforilação Acíclica





# Fosforilação Acíclica



▲ Figura 10.14 Analogia mecânica das reações luminosas.

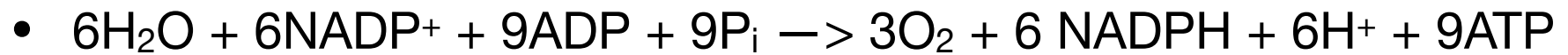


# Fotólise da água

- Equação de Hill.
- $2\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow 4\text{e}^- + 4\text{H}^+ + \text{O}_2$
- Os elétrons irão para a  $\text{P}_{680}$  (PSII); os  $\text{H}^+$  irão para o estroma participar da produção de ATP e depois para o  $\text{NADP}^+$ .
- O  $\text{O}_2$  é liberado para fora do cloroplasto.
- $\text{NADP}^+$ ,  $\text{H}^+$ , ATP são usados na etapa seguinte (química).



# Equação geral da etapa fotoquímica.

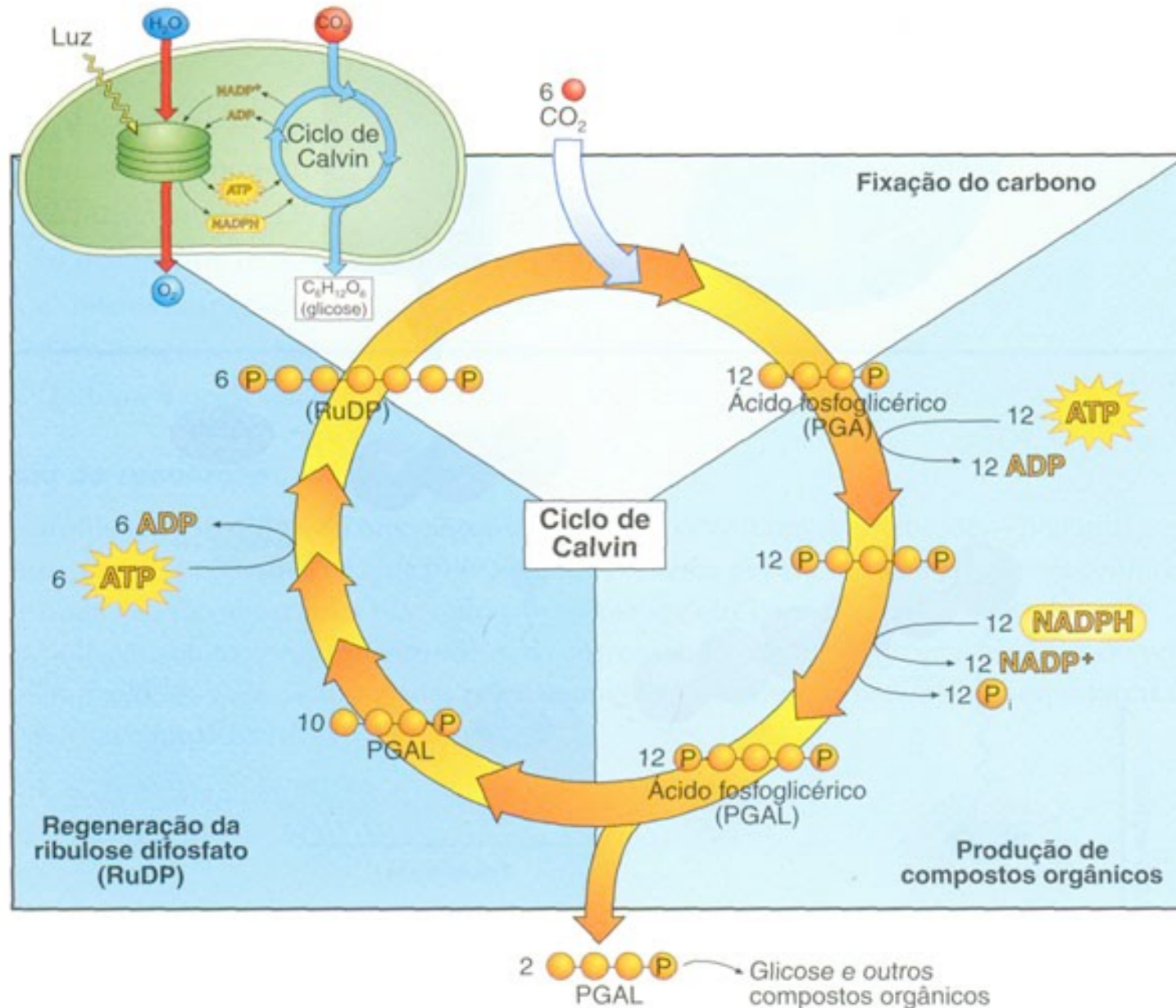


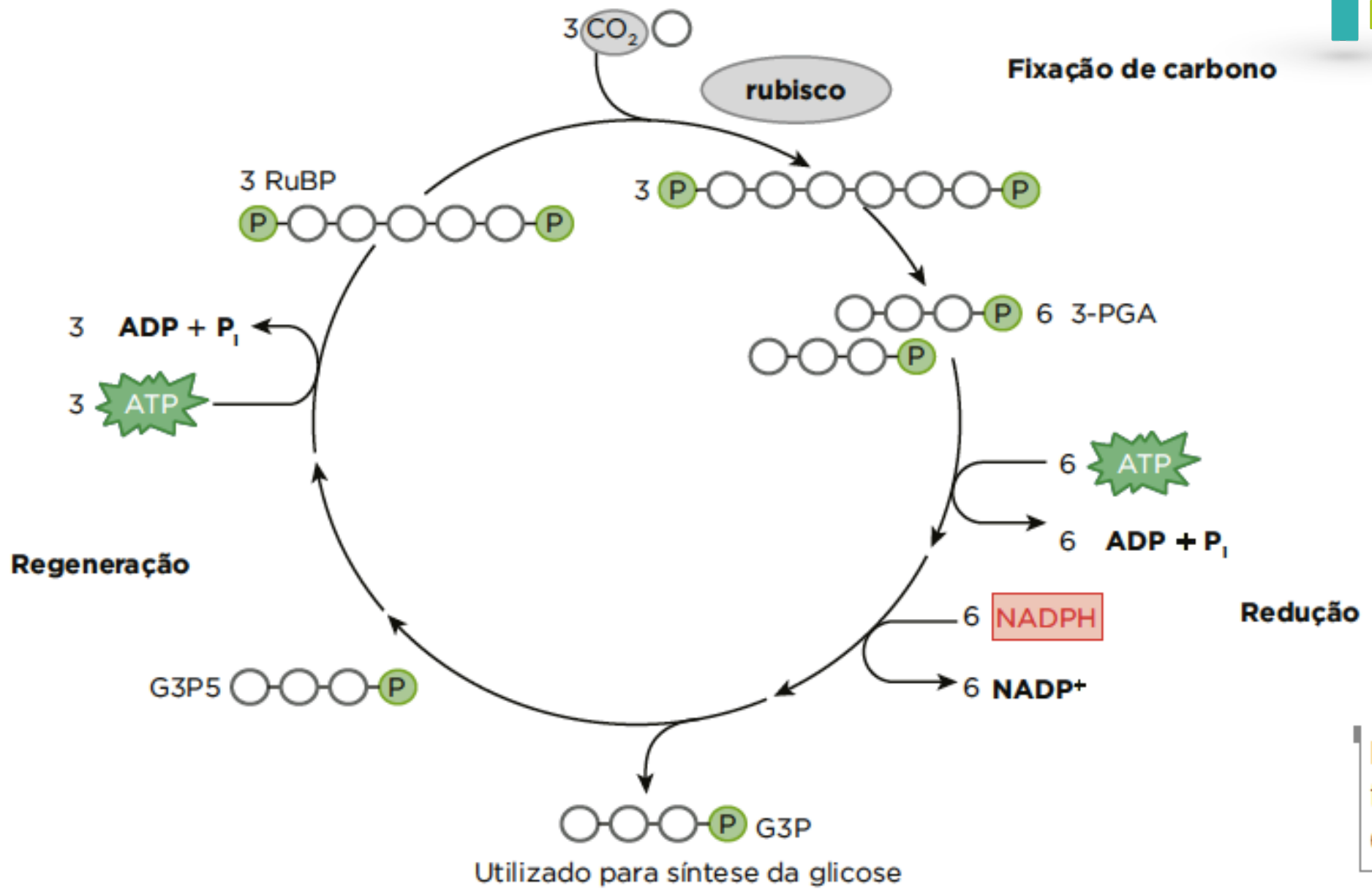


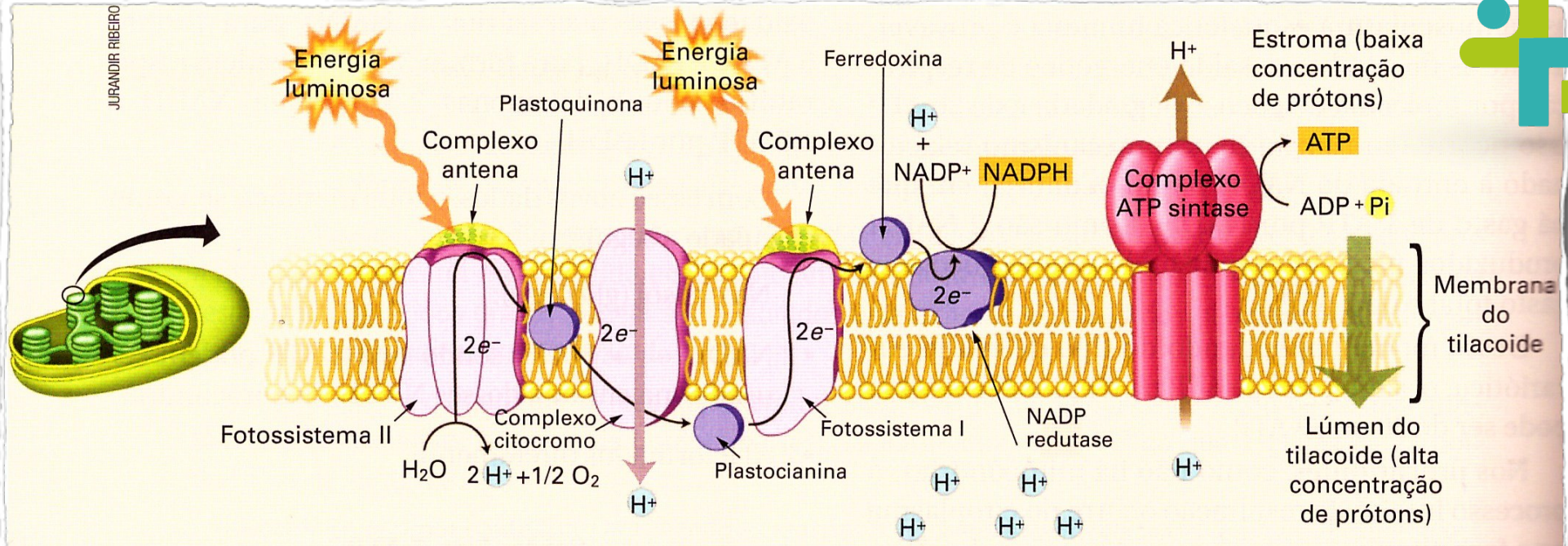
# Etapa Química

- Ocorre no estroma do cloroplasto, sem necessidade direta de luz.
- Captação do  $\text{CO}_2$  pelos estômatos, que recebem os  $\text{H}^+$  transportados pelo NADPH proveniente da fase clara.
- Há formação de carboidrato (**Fixação** do carbono), pois o carbono para a integrar moléculas orgânicas.
- Ciclo de **Calvin-Benson** ou ciclo **das pentoses** (Fixação; formação de compostos orgânico; regeneração).
- Principais moléculas: RuBP (Ribulose Bifosfato - 5C - base); Rubisco (enzima); PGAL (3C - Produto).

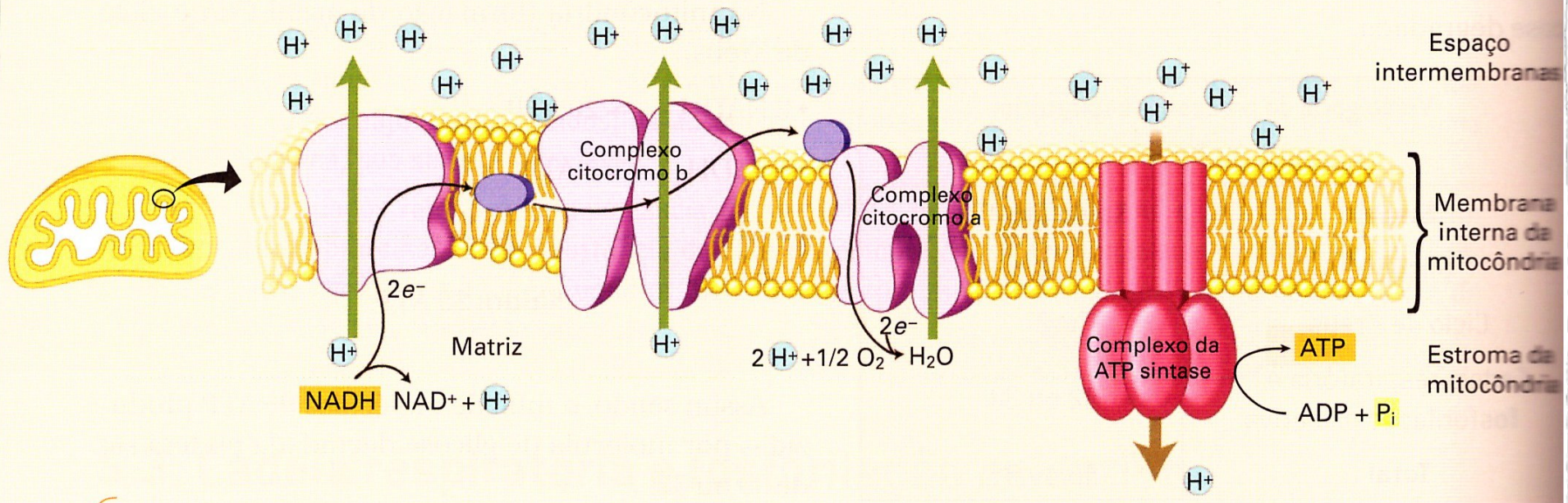
# Ciclo de Calvin







Esquema do mecanismo quimiosmótico de síntese de ATP na fotofosforilação. (Cores-fantasia.)



Esquema do mecanismo quimiosmótico da síntese de ATP na fosforilação oxidativa. (Cores-fantasia.)

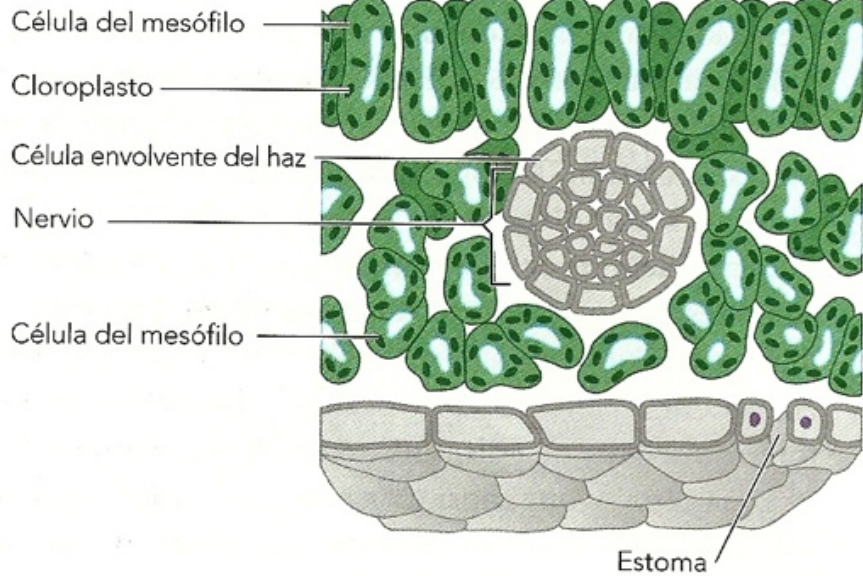


# Plantas C3, C4 e CAM

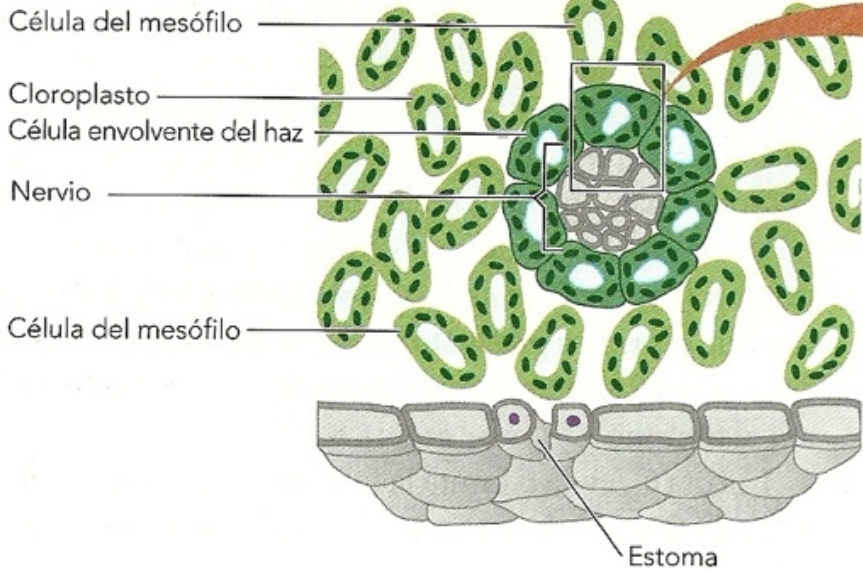
- **C3:** O primeiro carboidrato do ciclo de Calvin é o PGAL (3 carbonos); Maioria;
- **C4:** Fixa o CO<sub>2</sub> no mesofilo em C4; O C4 vira C3 na bainha do feixe, liberando CO<sub>2</sub> com estômato fechado. Cana, Milho.
- **CAM:** Durante a noite forma C4; Durante o dia C4 vira C3 liberando CO<sub>2</sub> com estômato fechado. Cactos, bromélias, abacaxi.

Células que llevan a cabo el ciclo de Calvin  
 Células que llevan a cabo la ruta C<sub>4</sub>

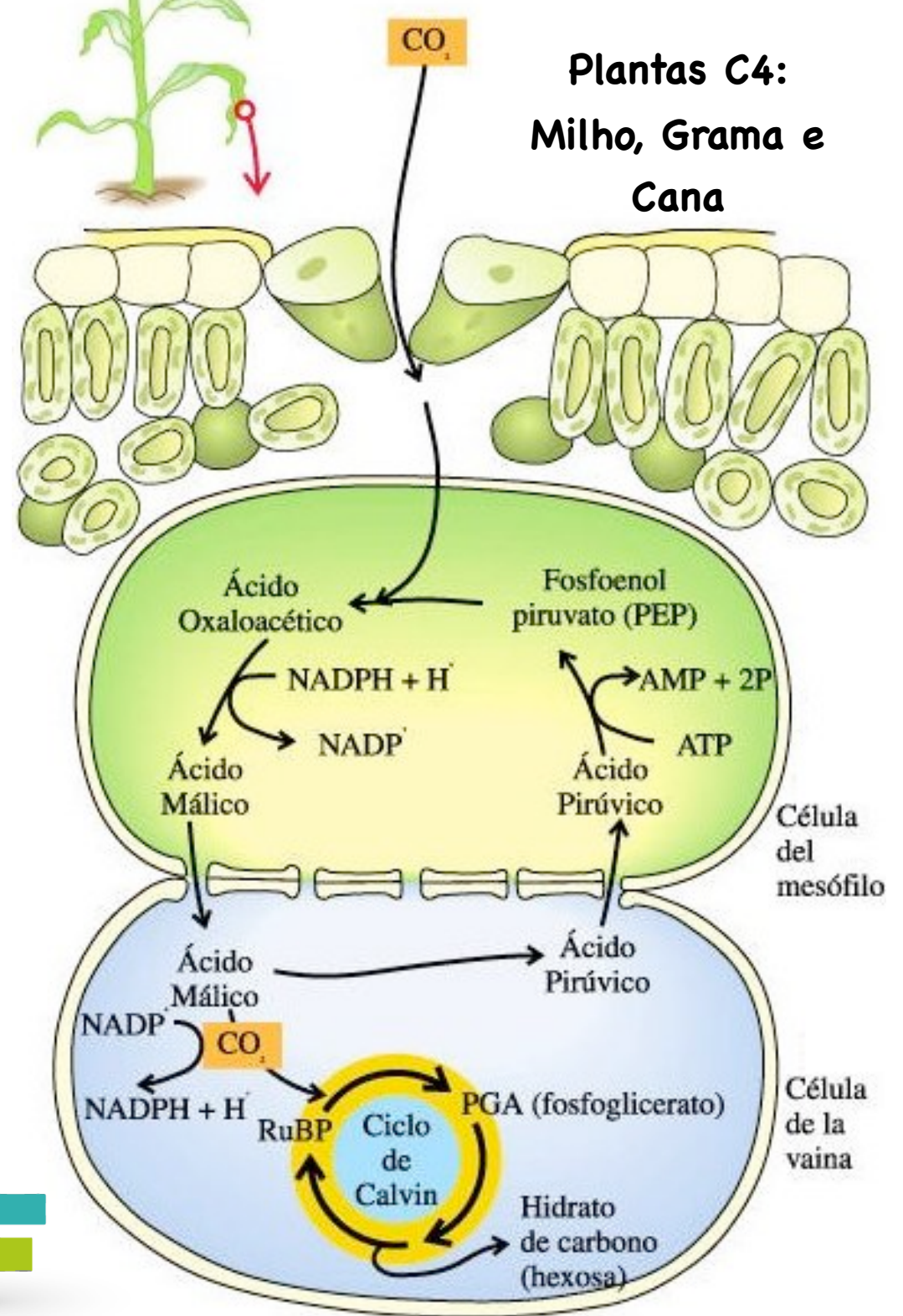
(a) Hoja C<sub>3</sub>



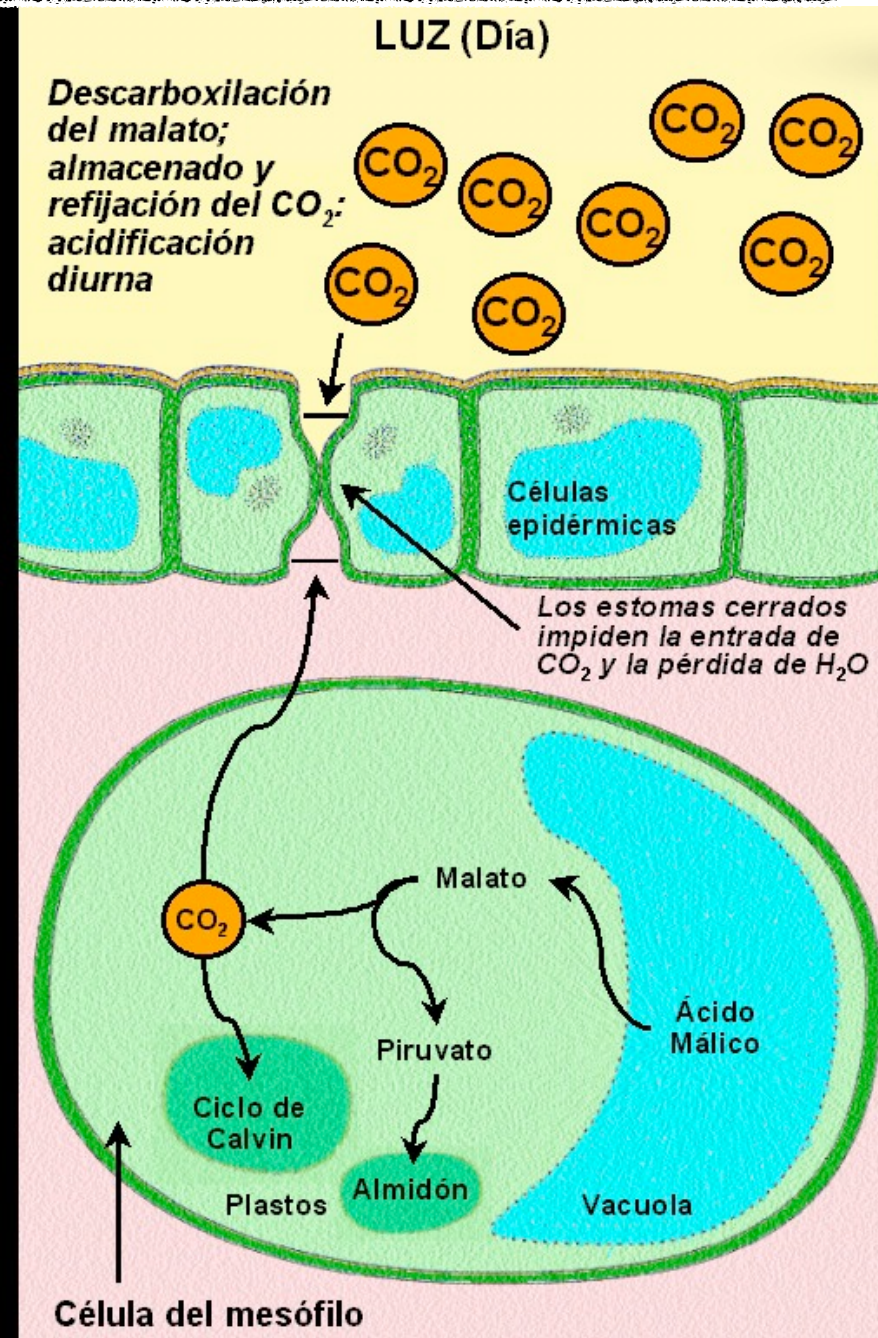
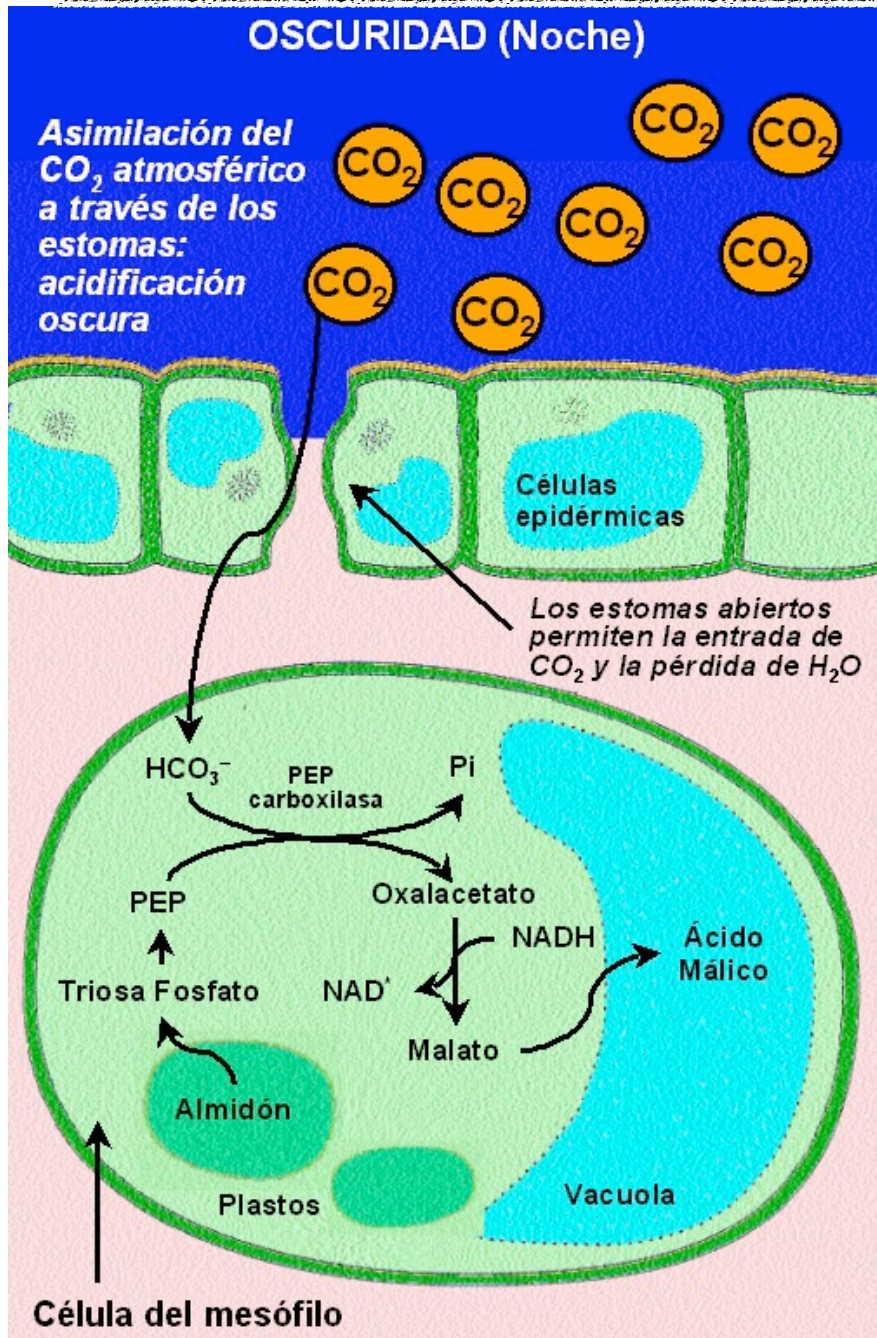
(b) Hoja C<sub>4</sub>



## Plantas C<sub>4</sub>: Milho, Grama e Cana

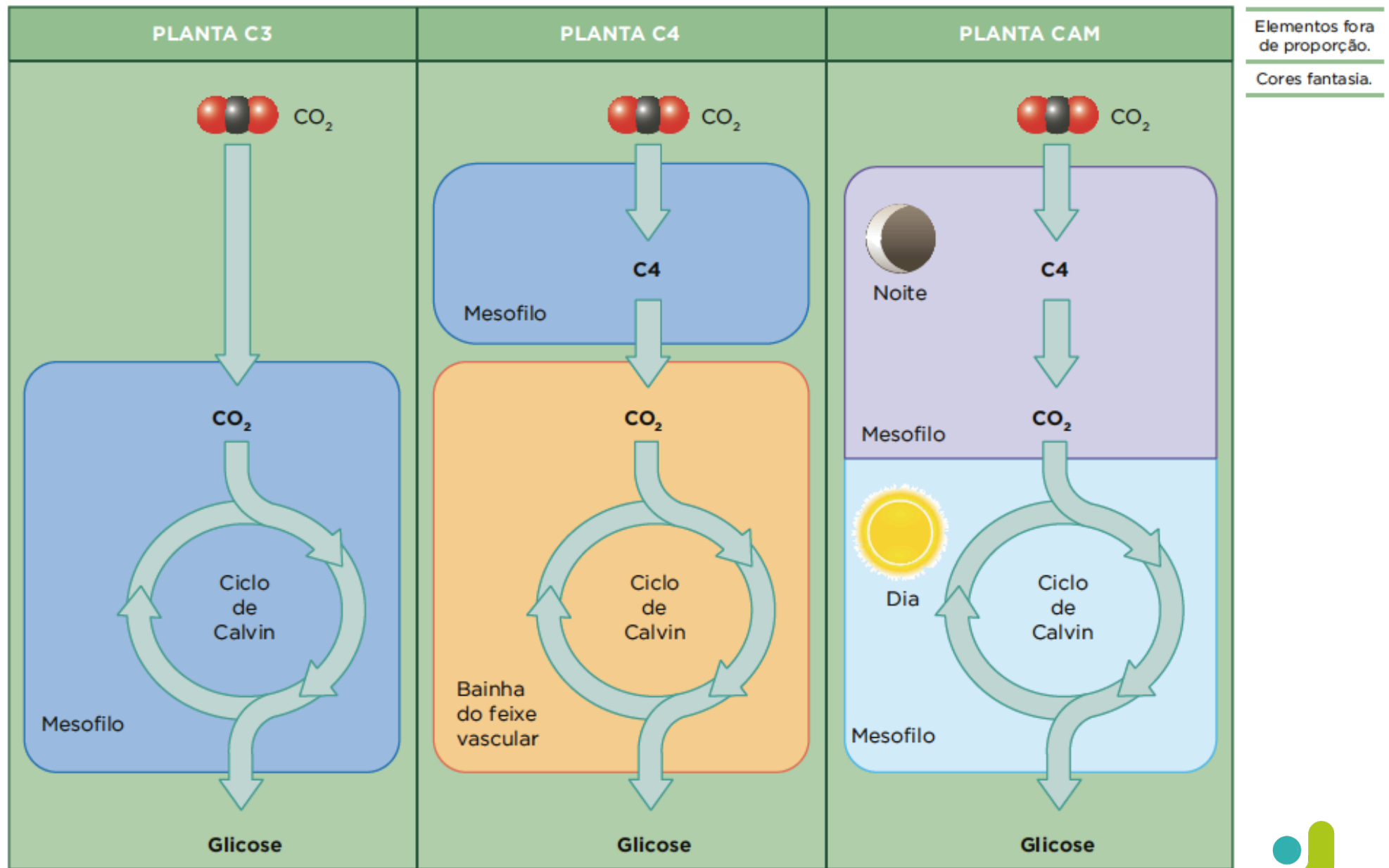


# Plantas CAM: Cactus, bromélias e Abacaxi.





- As plantas **C3**, **C4** e **CAM** possuem diferentes mecanismos de **fixação do gás carbônico**.



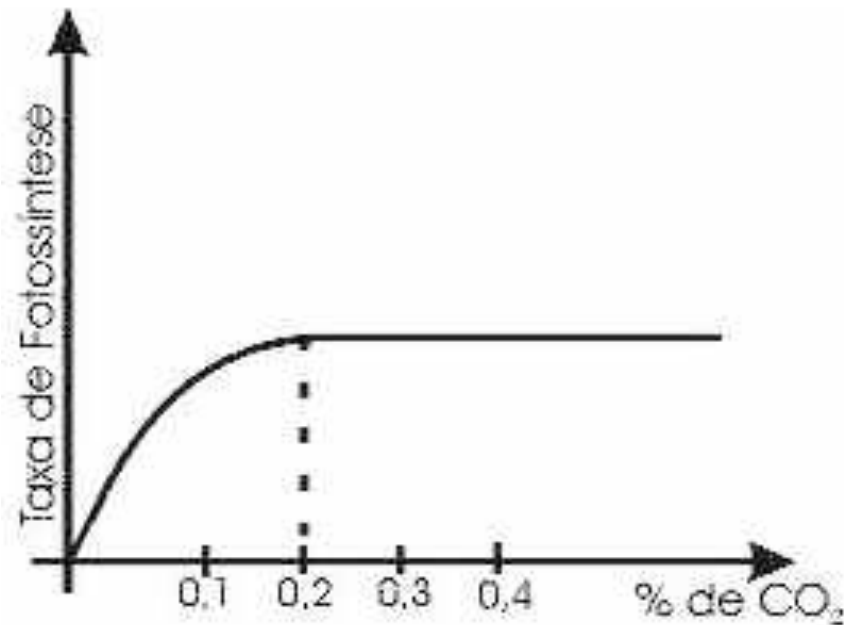
Esquema simplificado das diferenças metabólicas entre as plantas C3, C4 e CAM.



# Concentração de CO<sub>2</sub>



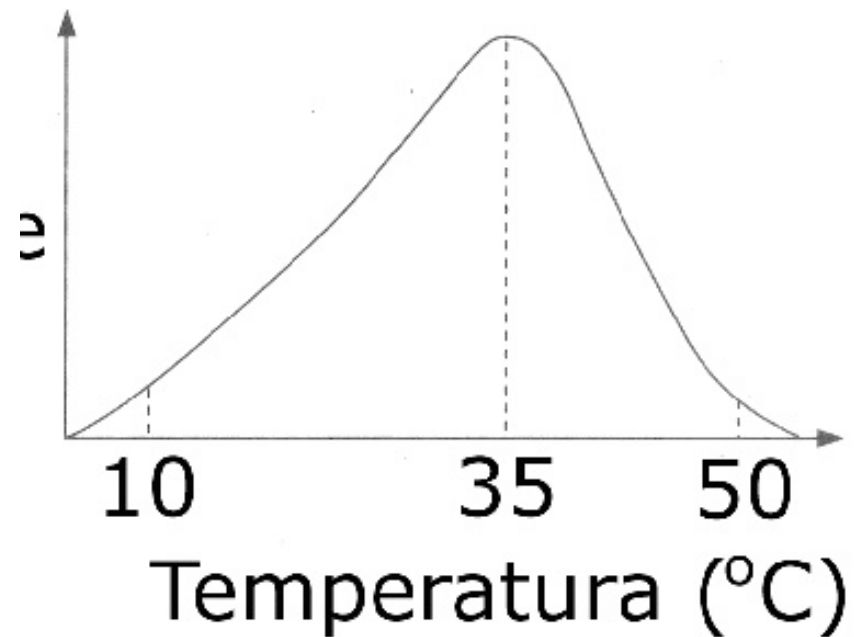
- Em 0,2% de CO<sub>2</sub> todas as enzimas Rubiscos estão saturadas.





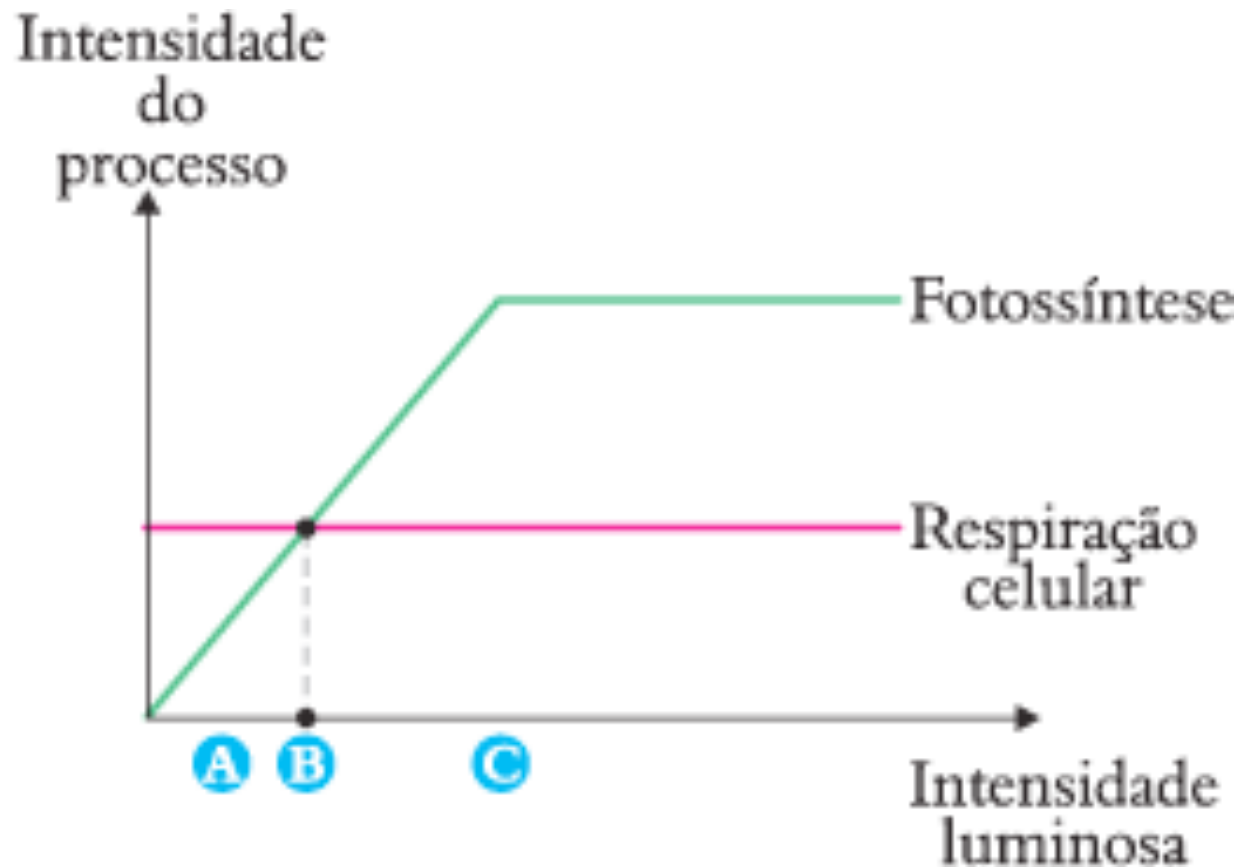
# Temperatura

- Em temperaturas elevadas ocorre a desnaturação enzimática



# Fatores que influenciam na fotossíntese

## Intensidade luminosa



**F: Fotossíntese**  
**R: Respiração**

**A:  $F < R$**

**B:  $F = R$**

**C:  $F > R$**



# Fotossíntese (Rolling in the Deep)



Cloroplasto, na célula vegetal  
Fotossíntese é sensacional,  
Tilacoides, o granum vai formar  
A fotossíntese já vai começar;

O Belan avisou, você anotou  
E agora tá pronto para o vestibular,  
Mas mesmo assim, nós vamos cantar,  
para revisar,

**Ocorre a fase clara;  
Fotólise da água;  
excita a clorofila;  
NADPH<sub>2</sub>, ATP;**

**Ocorre a fase escura;  
Dentro do estroma;  
É o ciclo das pentoses; (Calvin)  
vai formando, a glicose. (PGAL - 3C)**

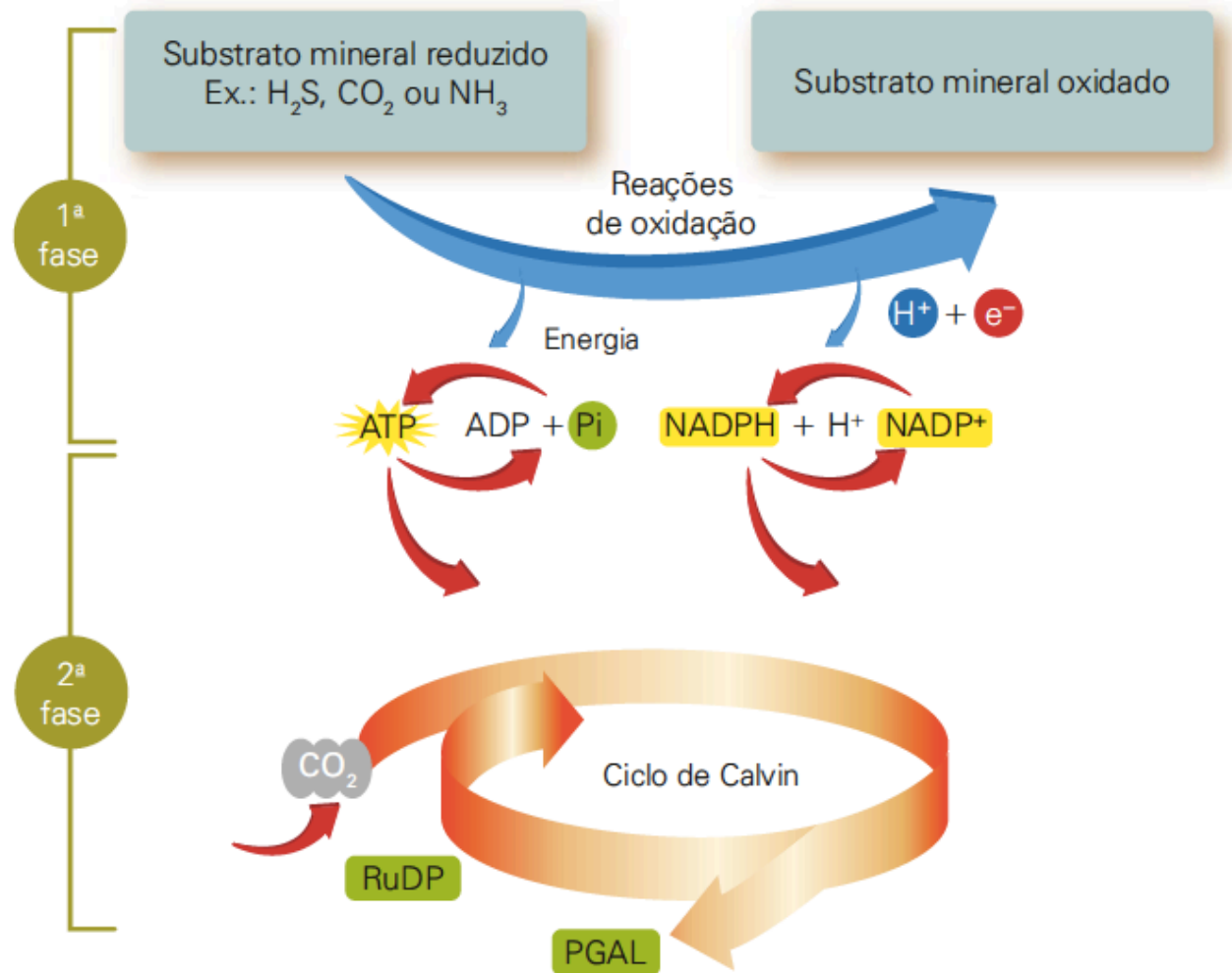
# Quimiossíntese

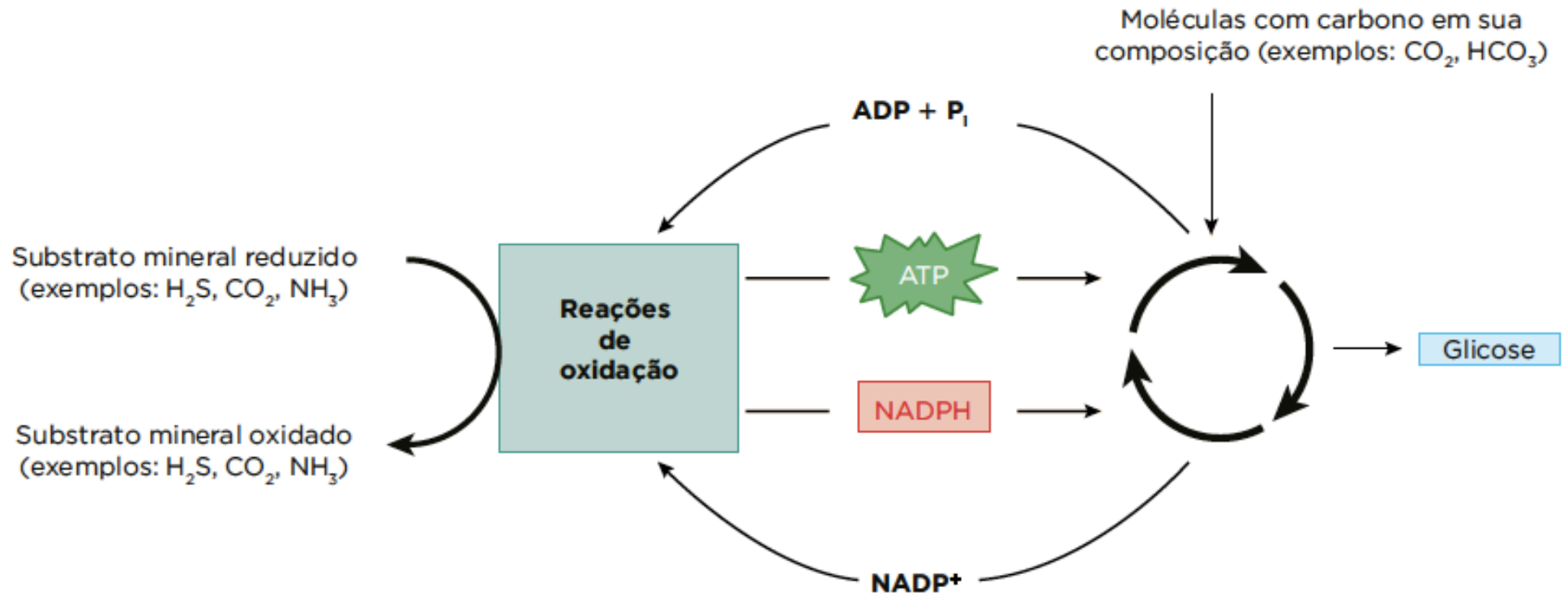


- A energia para a formação de compostos orgânicos provém da oxidação de substâncias inorgânicas e não da energia luminosa.
- Realizadas por bactérias quimiossintetizantes ou quimiolitotróficas.
- **Ferrobactérias:** Usam energia da oxidação de compostos de ferro.
- **Nitrobactérias:** Usam energia da oxidação de íons amônio ou nitrito. Nitrosomonas e Nitrobacter (ciclo do N<sub>2</sub>).
- **Sulfobactérias:** Usam energia da oxidação de H<sub>2</sub>S. Bactérias das fontes termais submarinas.



# Quimiossíntese









**BIOLOGIAMAIS**  
PROFESSOR FERNANDO BELAN

[www.biologiamais.com.br](http://www.biologiamais.com.br)



@biologia\_mais