



Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Ciências Biológicas



ESALQ

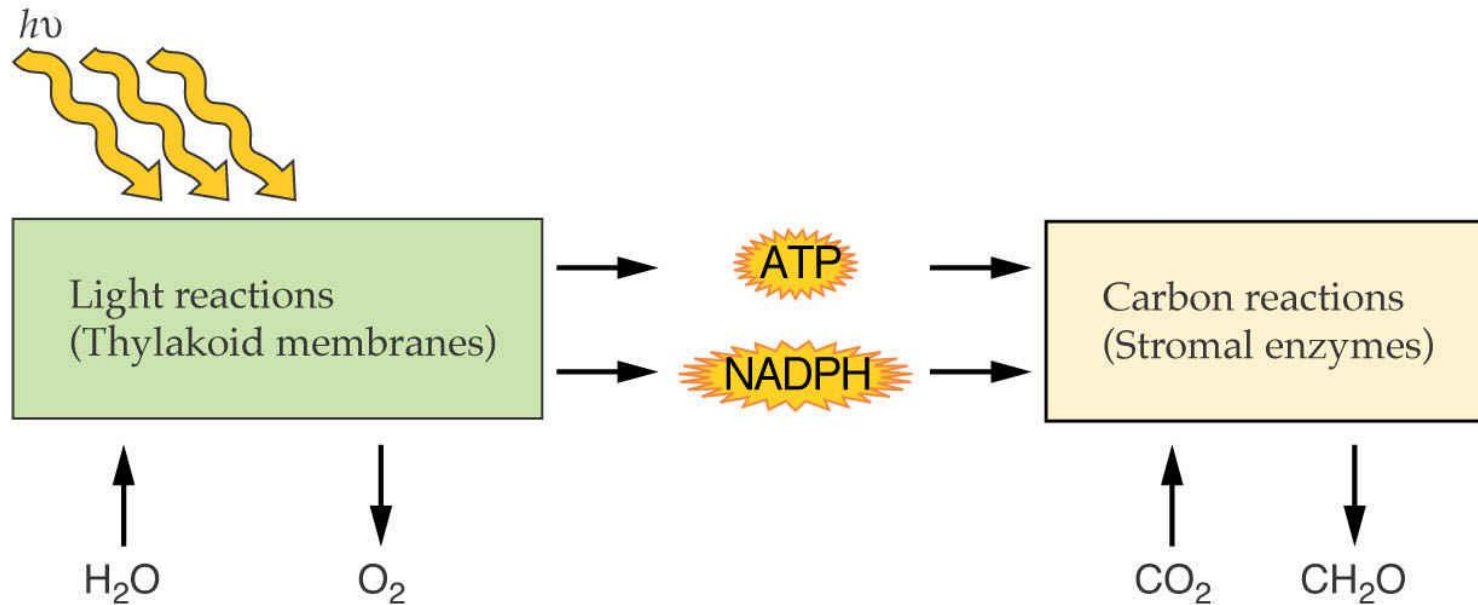
Fotossíntese – Fase Fotoquímica

Professora: Nubia Eloy

Fotossíntese

O termo fotossíntese significa, literalmente, “síntese utilizando a luz”. Processo em que as plantas convertem energia física (luz), em energia química.

Conversão do tipo de energia



Breve Histórico:

Antiguidade- Aristóteles- “ a vida dos animais depende dos alimentos.”
(Plantas obtém seu alimento do solo)

Idade Moderna- 1577-1644 Jan Baptist Van Helmont- crescimento de um salgueiro em vaso. Após 5 anos, salgueiro aumentou 74 kg, e o solo diminuiu cerca de 60 g.
Conclusão: alimento não vem do solo, mas da água.

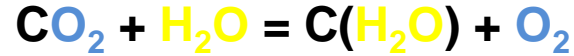
1772- Joseph Priestley – plantas “purificam o ar”- experimento utilizando velas, plantas e ratos.

1796- Jan Ingen-Housz- refez e sofisticou os experimentos de Priestley. Concluiu que apenas as partes verdes das plantas eram capazes de purificar o ar.

1804- Saussure - A água tem papel importante, e o processo envolve a absorção de gás carbônico e liberação de oxigênio.

1905- Blackman - Fotossíntese tem duas etapas, uma das quais não depende da luz.

O que era postulado:



1920- Van Niel- Oxigênio não pode vir do CO₂, pois se isso fosse verdade, sulfobactérias fotossintetizantes não produziram carboidratos, mas 1 composto sulfurado e oxigênio...

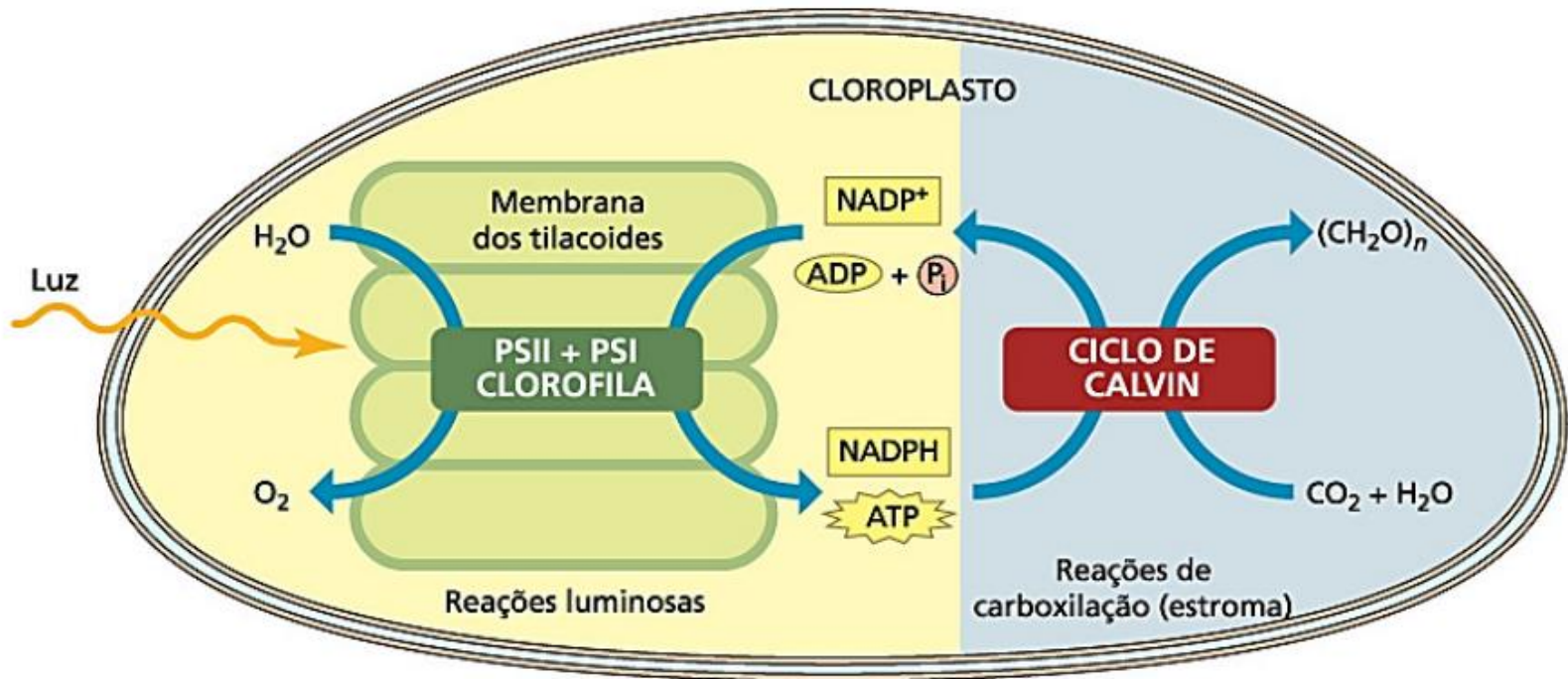
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{C}(\text{H}_2\text{S}) + \text{O}_2$, mas o que produzem é carboidrato e enxofre:



Por analogia:



Fotossíntese



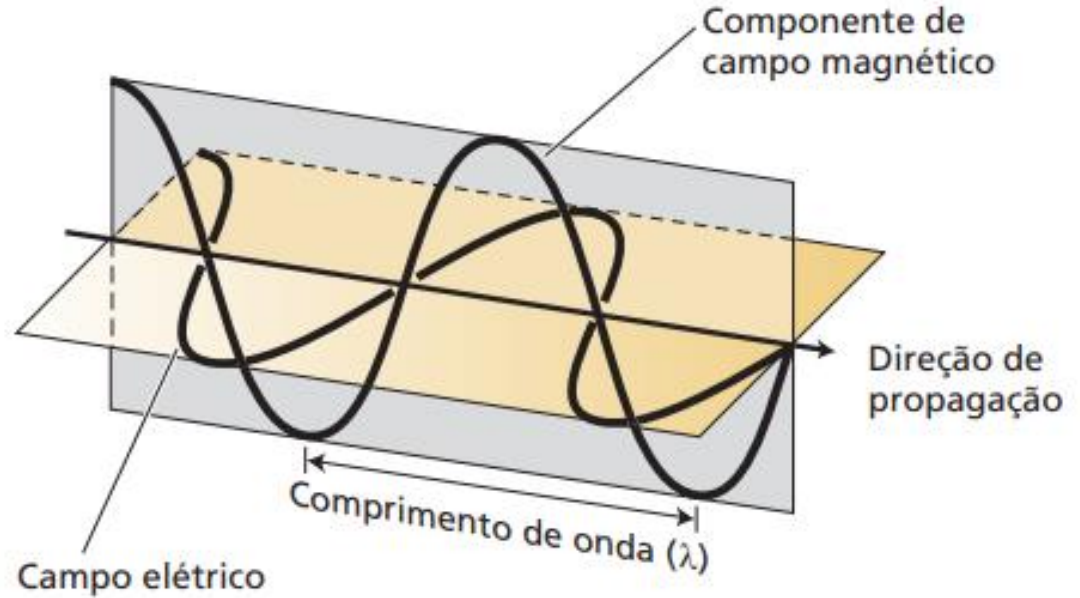
Fase Fotoquímica

Fase de Fixação do Carbono

Dupla natureza da luz

LUZ

ONDA

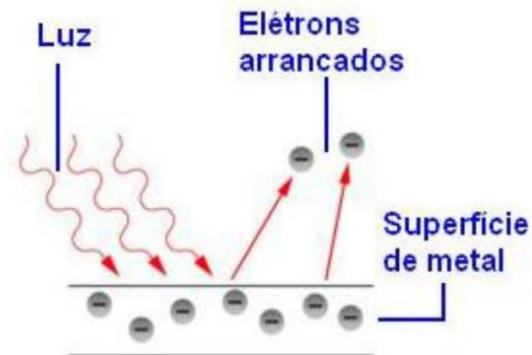


$$c = \lambda \cdot \nu$$

PARTÍCULA

c = velocidade da luz (3×10^8 m/s = 300.000 km/s)

ν = frequência



FÓTON

$$E = h \cdot \nu$$

h - constante de Planck
($6,62607015 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ J.s}$)

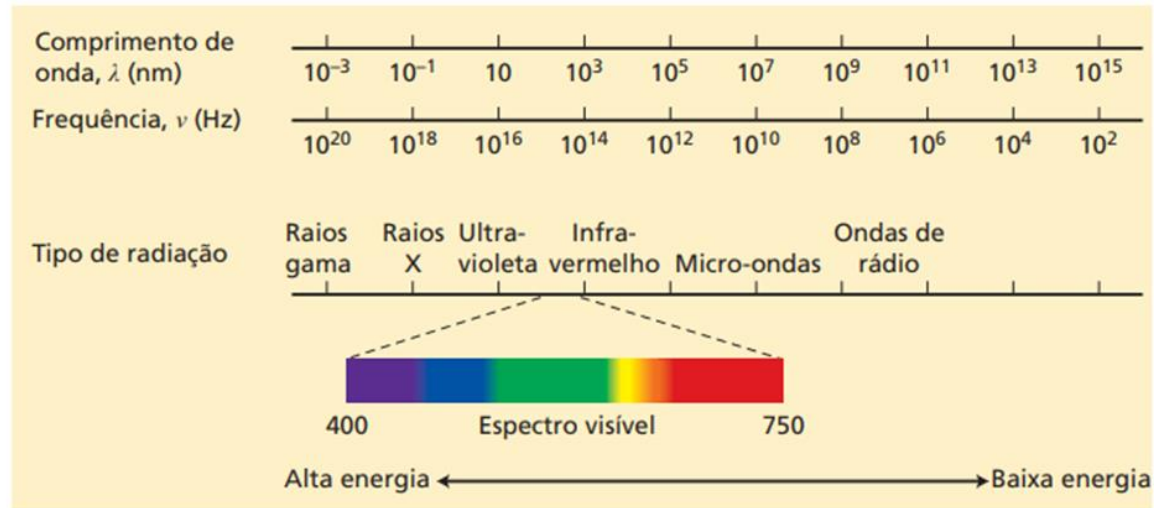
ν - frequência



$$\nu = c/\lambda$$

c = velocidade da luz
($3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300.000 \text{ km/s}$)

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

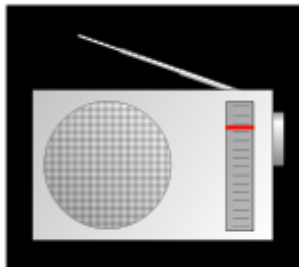
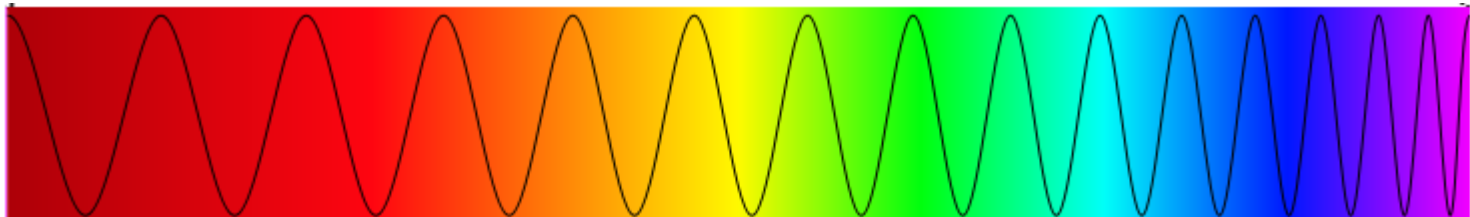
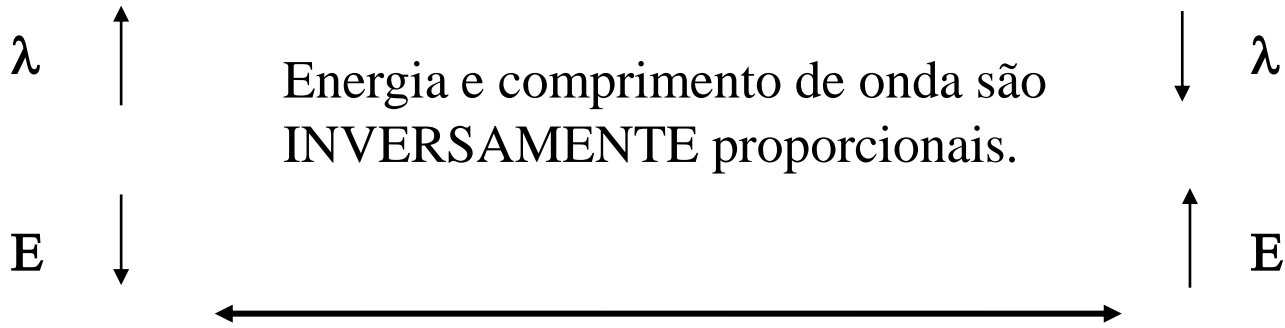


Quanto maior o comprimento de onda, menor a energia

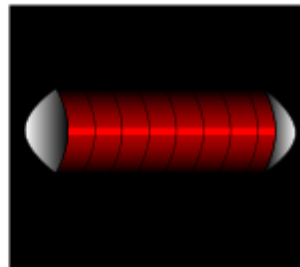
→ Sendo, h e c constantes, quem determina a magnitude da energia é o comprimento de onda λ

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

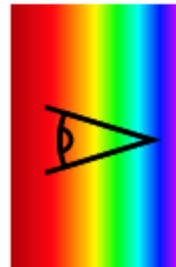
E. $\lambda = \text{constante}$



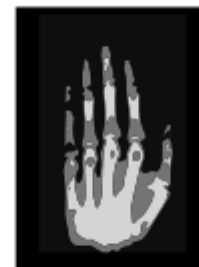
1km 1m



1cm 1mm



100nm



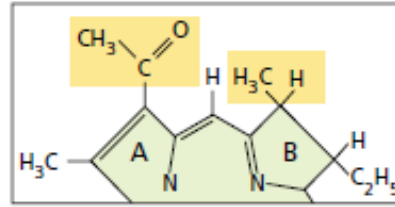
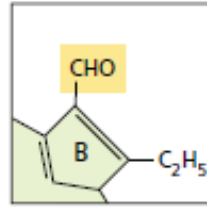
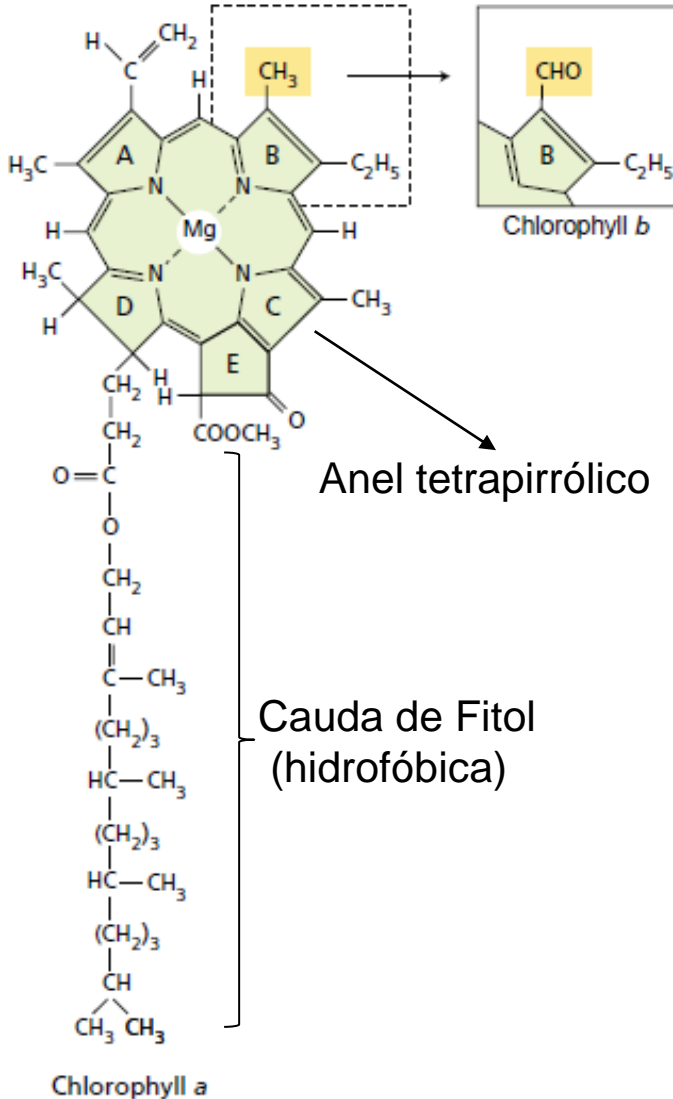
1nm



0.01nm

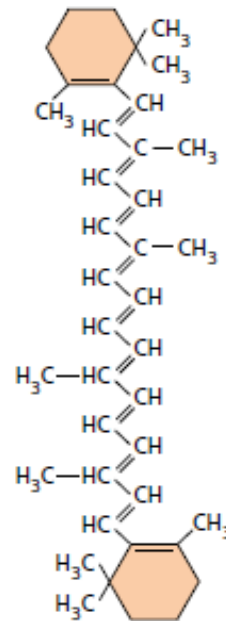
Os pigmentos são as moléculas responsáveis pela absorção de luz

(A) Chlorophylls

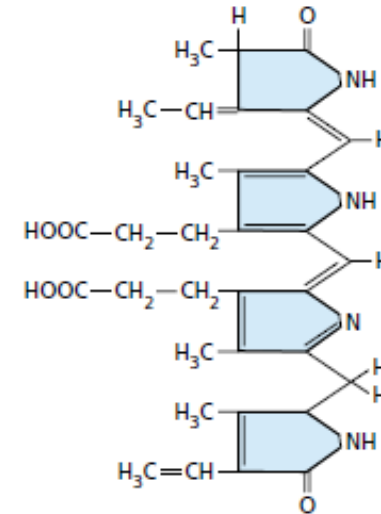


Protegem o aparato fotossintético da Foto-oxidação

(B) Carotenoids



(C) Bilin pigments

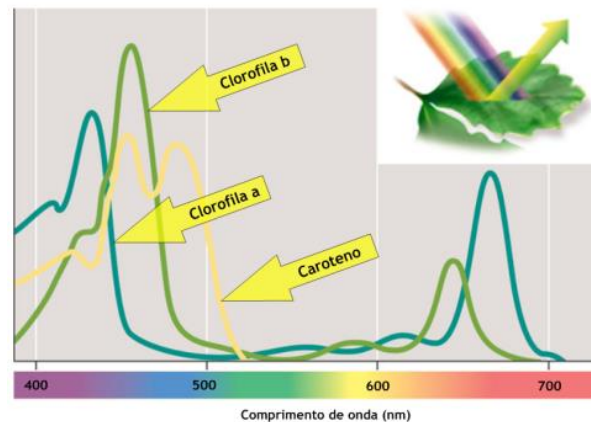
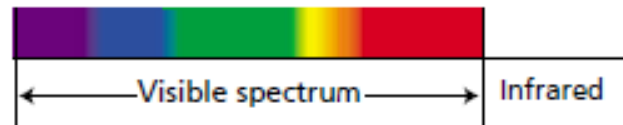
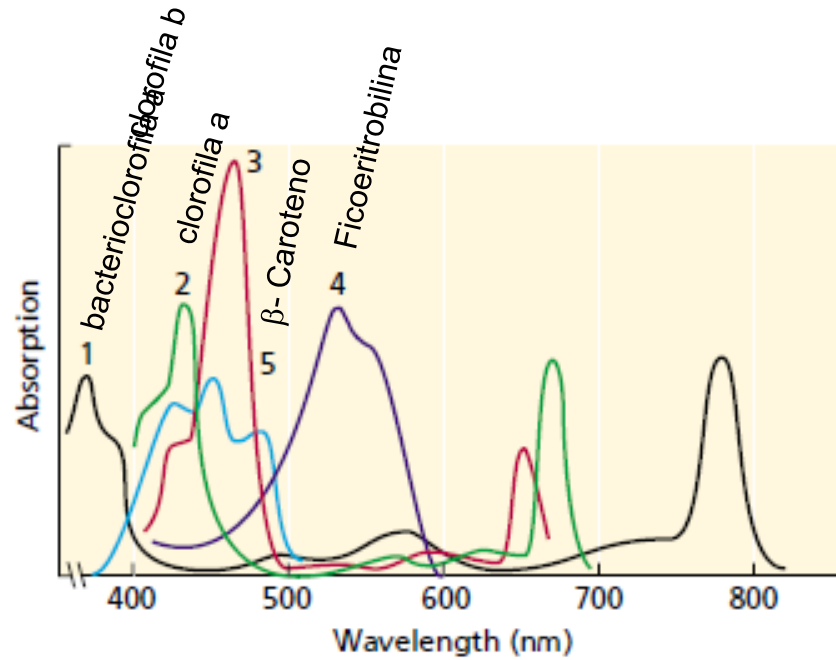


Phycoerythrobilin

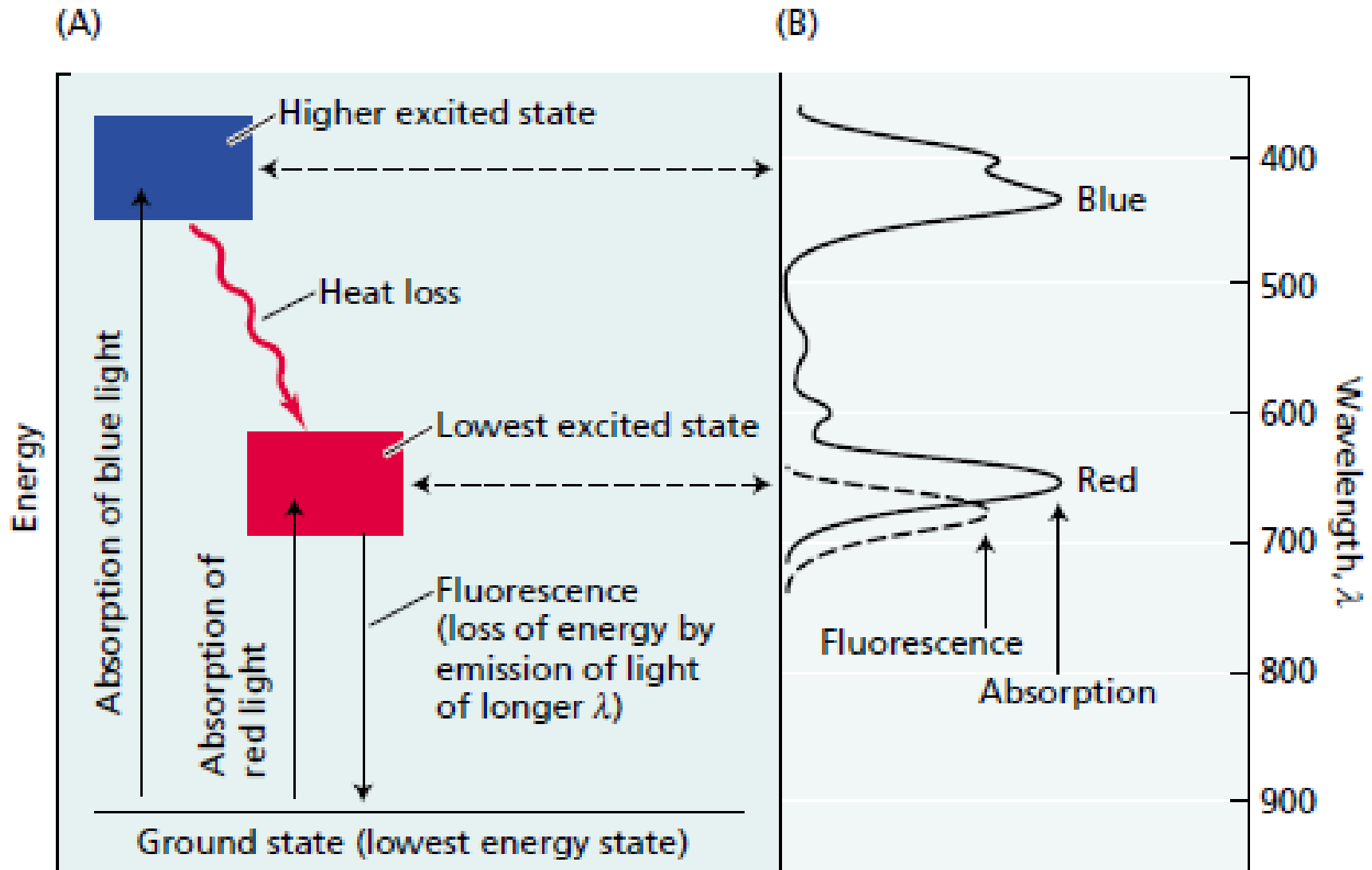
Os pigmentos acessórios absorvem luz em comprimentos de onda mais energéticos, protegendo o aparato fotossintético.

Pigmentos e suas absorções

- Diferenças na estrutura das moléculas
- Espectros de absorção diferentes



Espectro de absorção da clorofila



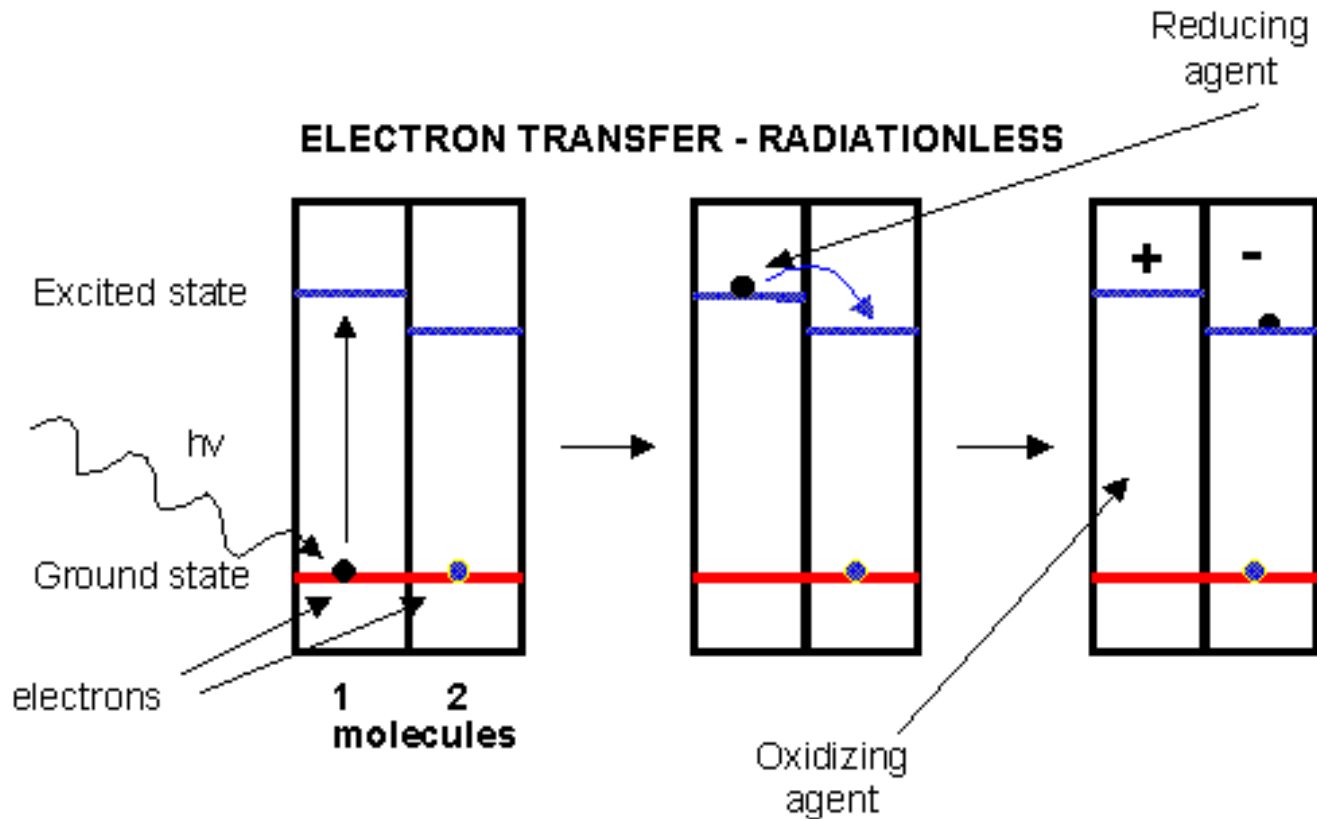
IMPORTANTE!!

A energia necessária para excitação do elétron é a energia correspondente ao fóton de luz vermelha. Mas, isto não significa que a luz azul não seja utilizada nesse processo.

Como a luz azul é a mais energética, o excesso de energia é perdido na forma de **calor**, e o restante da energia (correspondente a quantidade de energia de um fóton vermelho) é utilizado nas reações fotossintéticas.

Portanto, ambos os comprimentos de onda são utilizados pelos pigmentos para a excitação eletrônica.

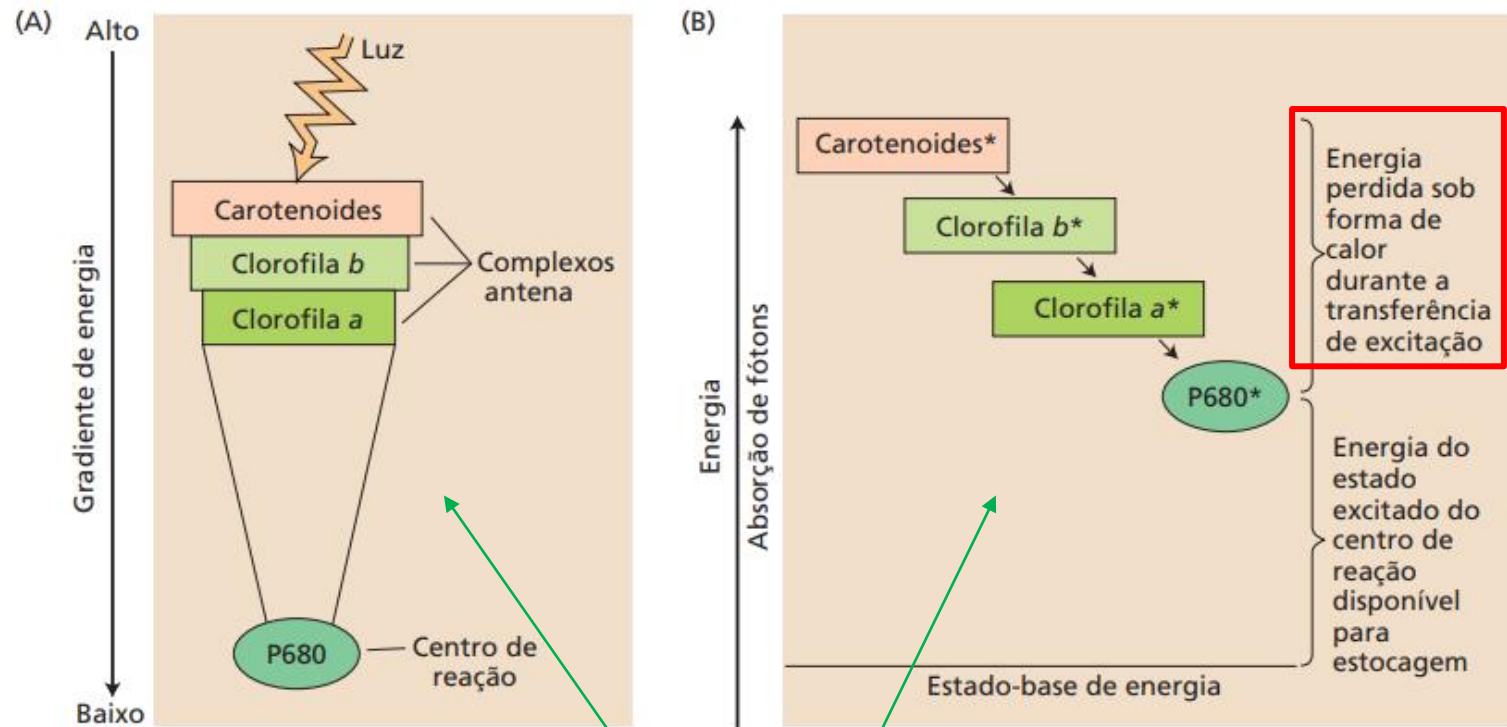
Transferência de energia entre os pigmentos é realizada através de Ressonância



Proximidade das moléculas é essencial

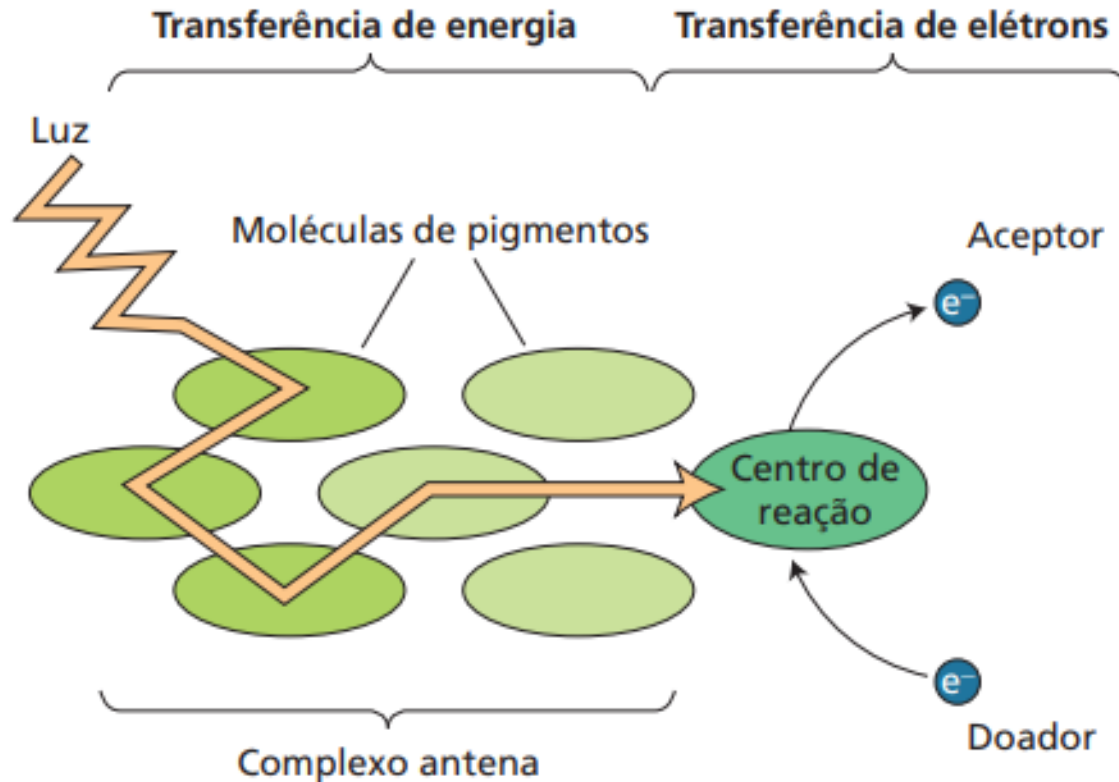
Processo não é 100% eficiente –
Perda de energia

A transferência de luz ocorre pelos complexos antena



A transferência **afunilada** e **unidirecional**

Transferência de ENERGIA entre pigmentos é feita por RESSONÂNCIA. Neste processo há perda de energia, ocorrendo de forma AFUNILADA e UNIDIRECIONAL.

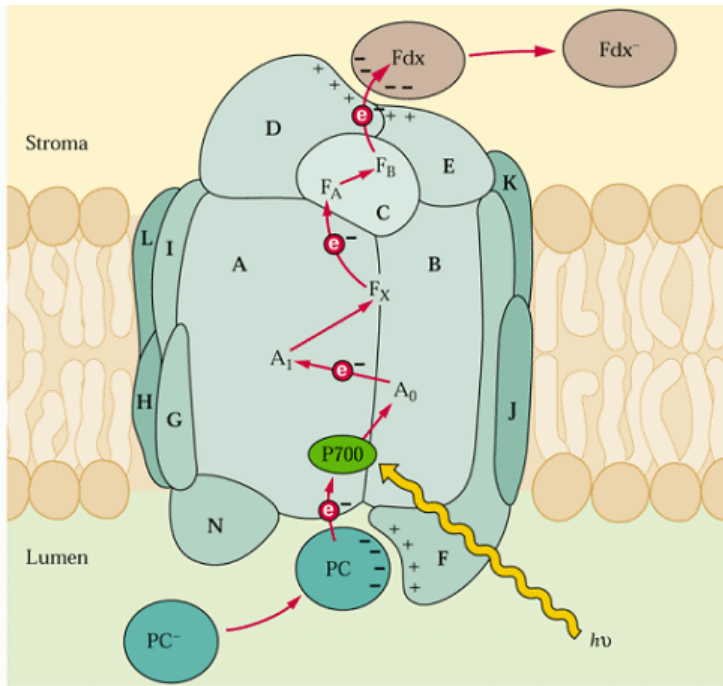


Até o centro de reação – transferência de energia

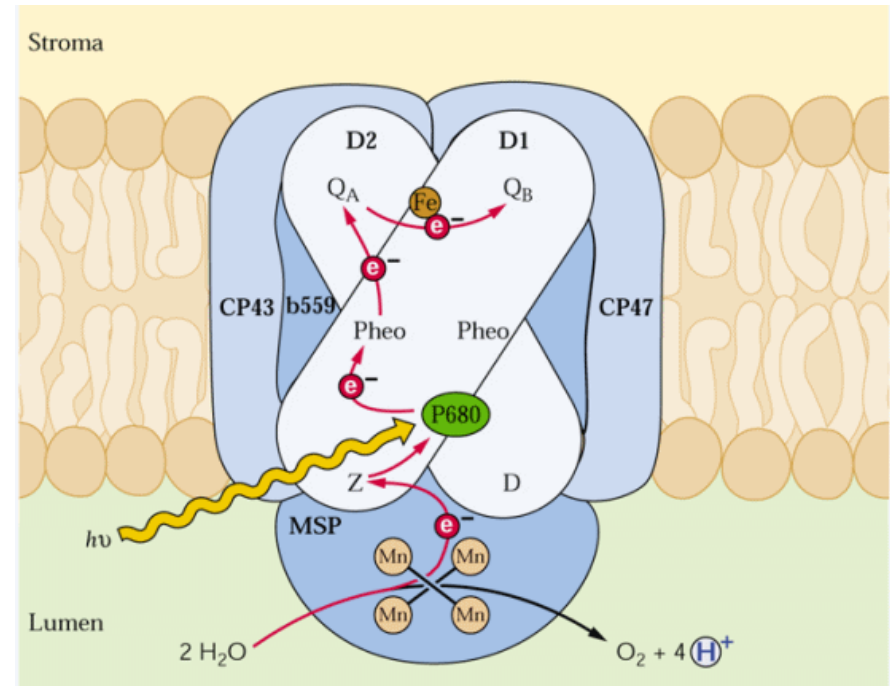
A partir do centro de reação – transferência de elétrons

O centro de reação é formado por um par de clorofilas especiais, P680 e P700, que podem absorver em 680 e 700 nm, respectivamente.

Centros de reação fazem parte dos Fotossistemas



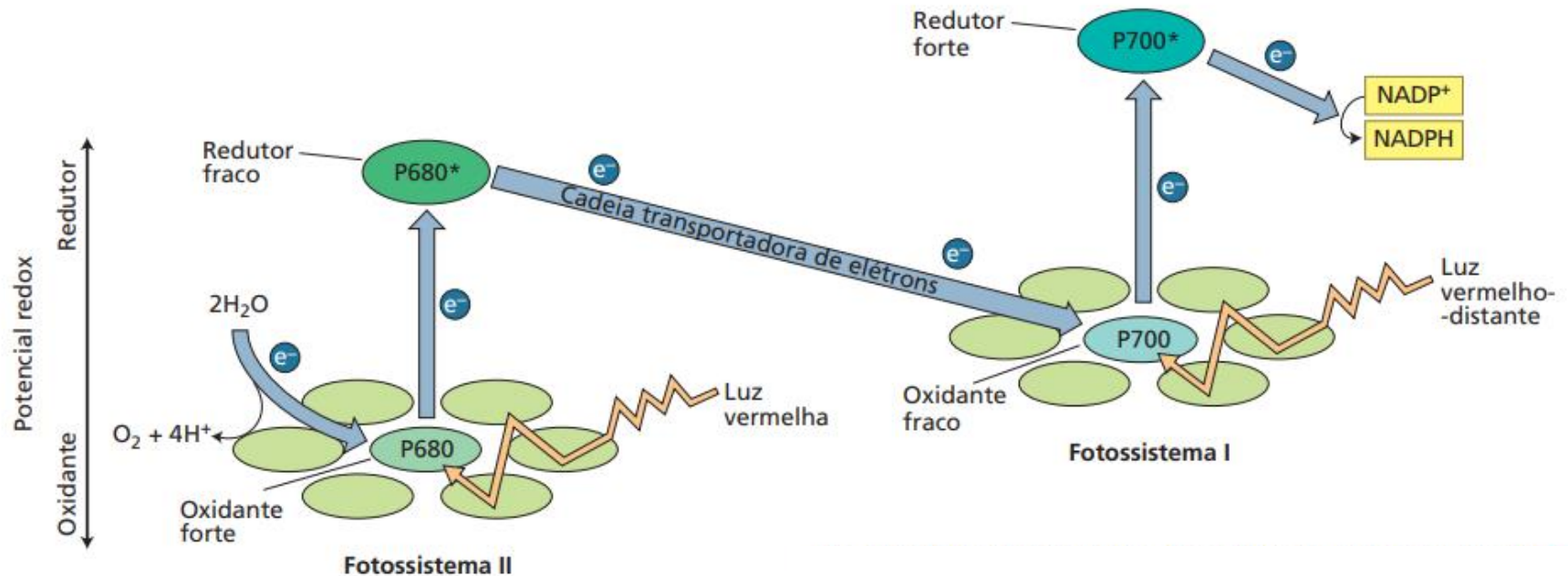
PSI, fotossistema I (estroma):
P700
também absorve luz



PSII, fotossistema II (grana):
P680
oxidação da água (“fotólise”)

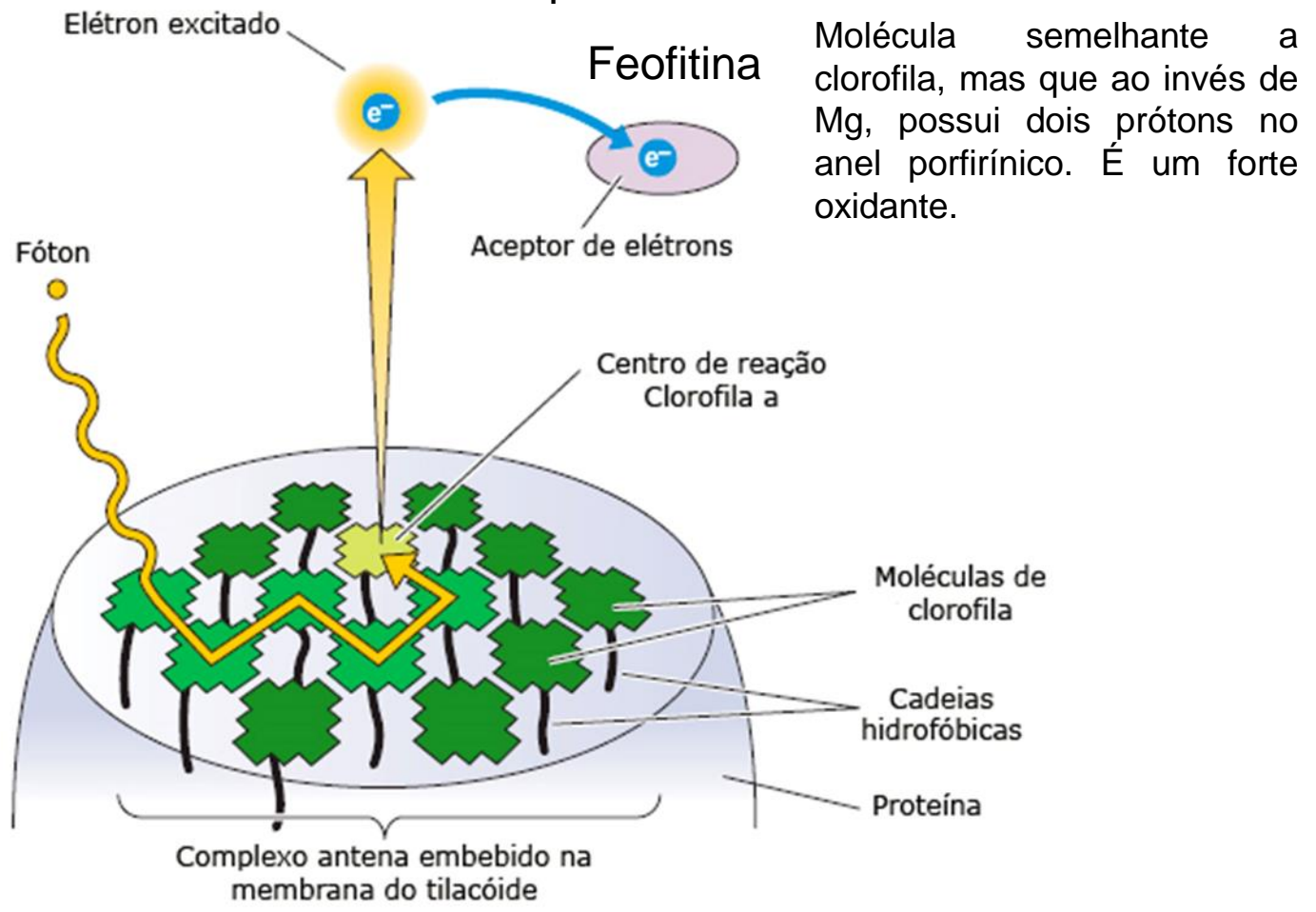
Os fotossistemas I e II são física e quimicamente distintos, cada um com seu complexo antena e seu centro de reação. Estão ligados por uma cadeia de elétrons.

Cadeia transportadora de Elétrons – Esquema Z



O processo global da fotossíntese é uma reação química redox, na qual elétrons são removidos de uma espécie química, oxidando-a, e adicionados à outra espécie, reduzindo-a.

Aceptor Primário



Molécula semelhante a clorofila, mas que ao invés de Mg, possui dois prótons no anel porfirínico. É um forte oxidante.

Elétron excitado

Feofitina

Aceptor de elétrons

Fóton

Centro de reação Clorofila a

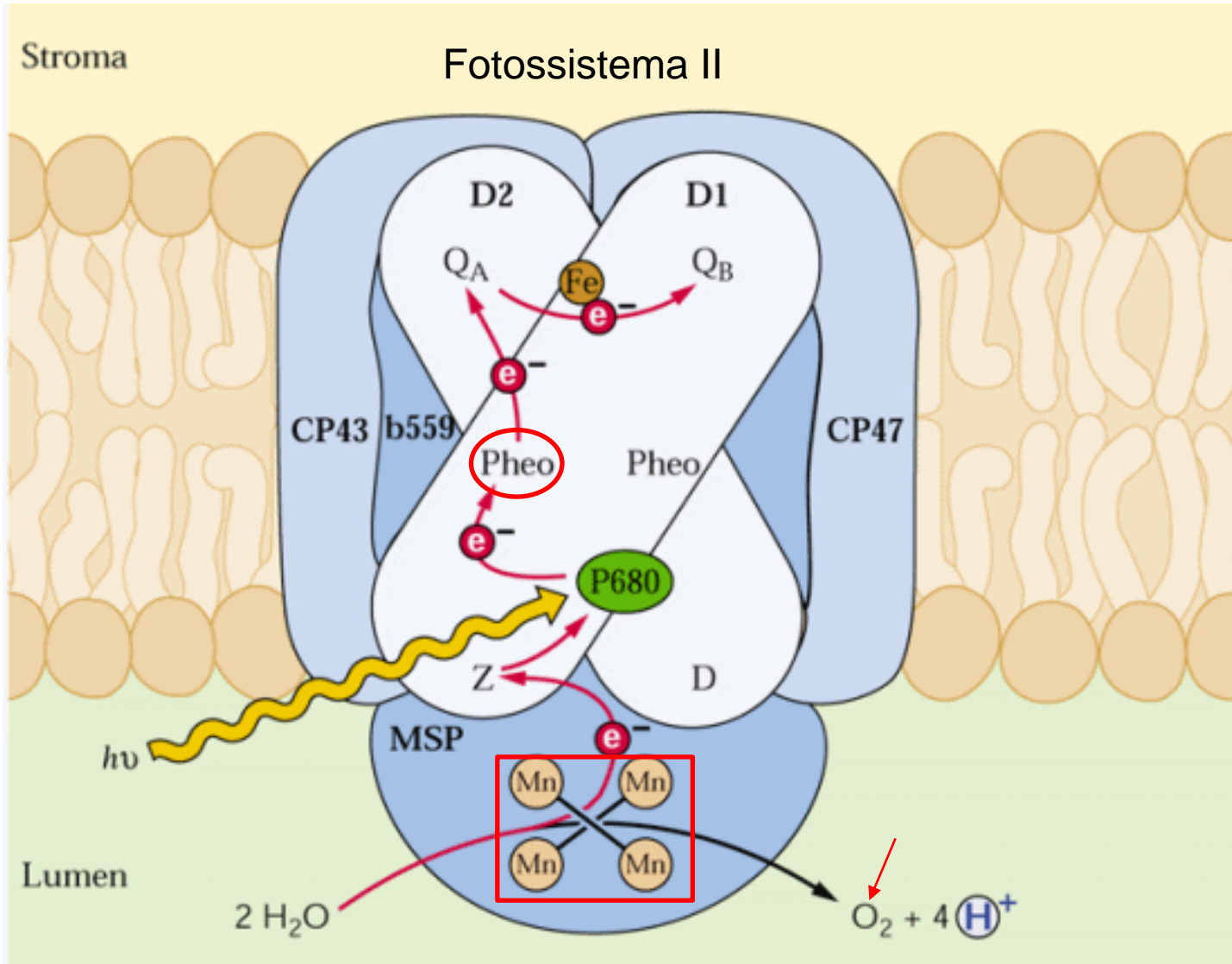
Moléculas de clorofila

Cadeias hidrofóbicas

Proteína

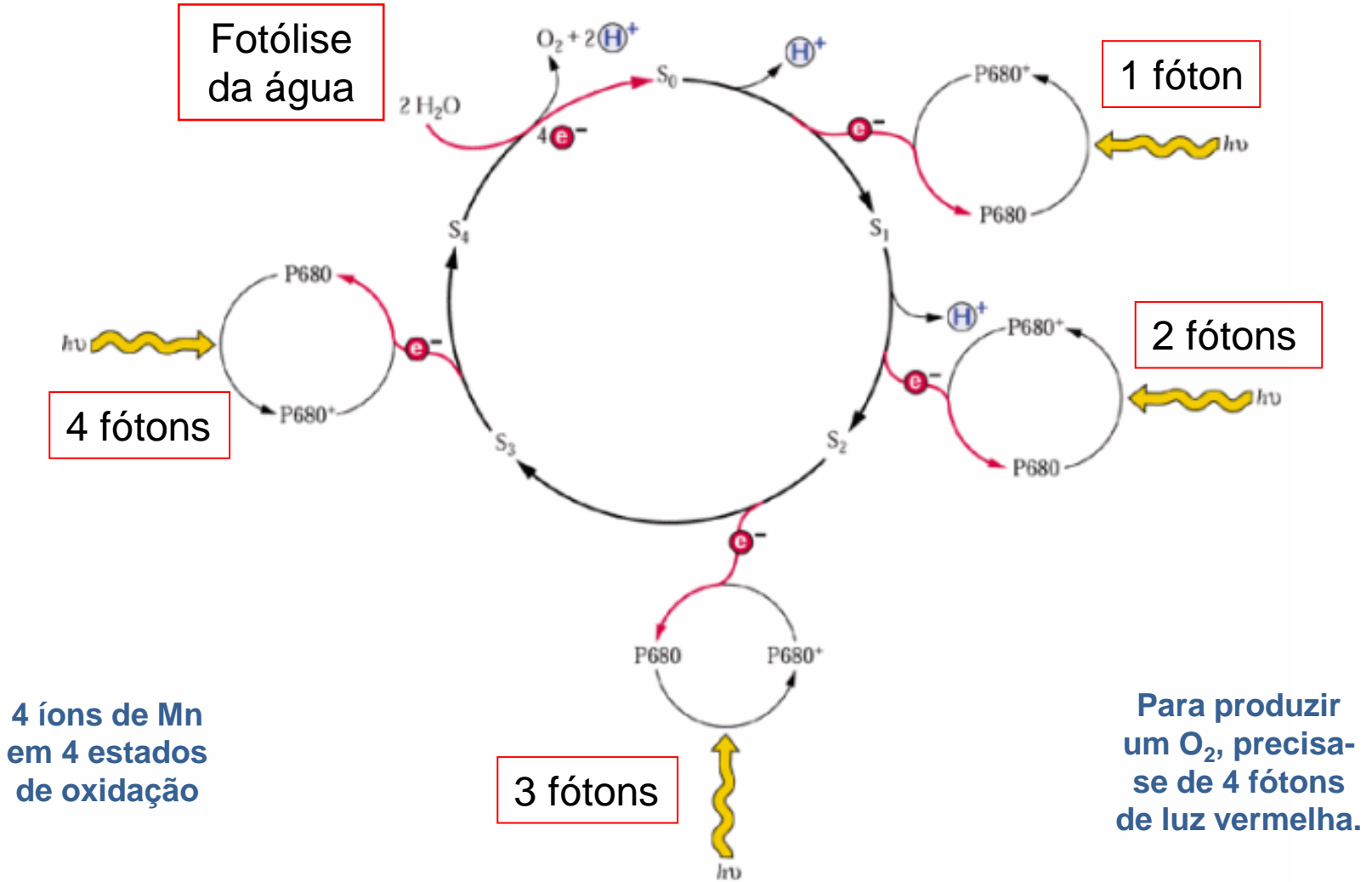
Complexo antena embebido na membrana do tilacóide

Origem do O₂: fotólise da água pelo PSII

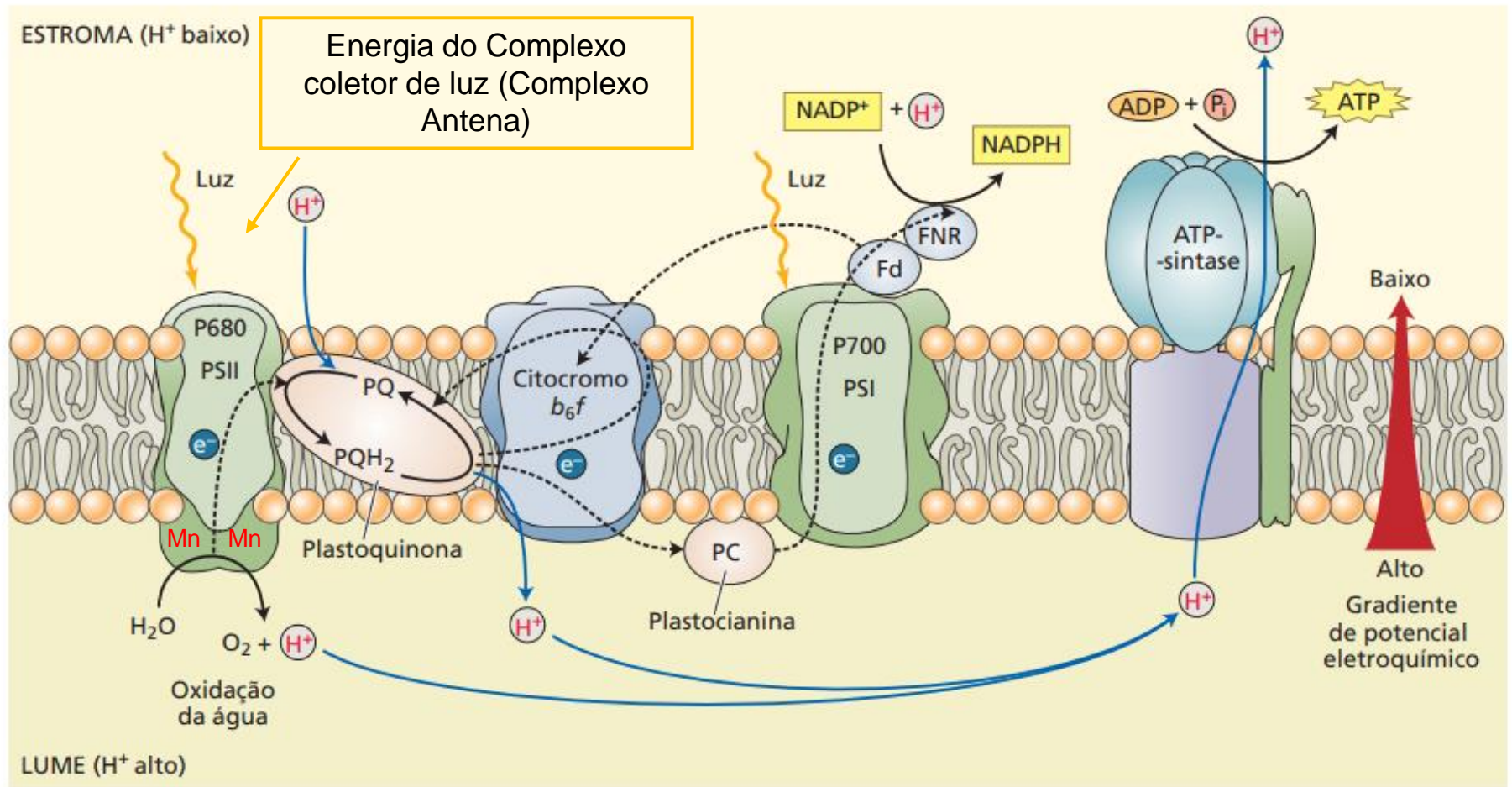


Complexo liberador de Oxigênio

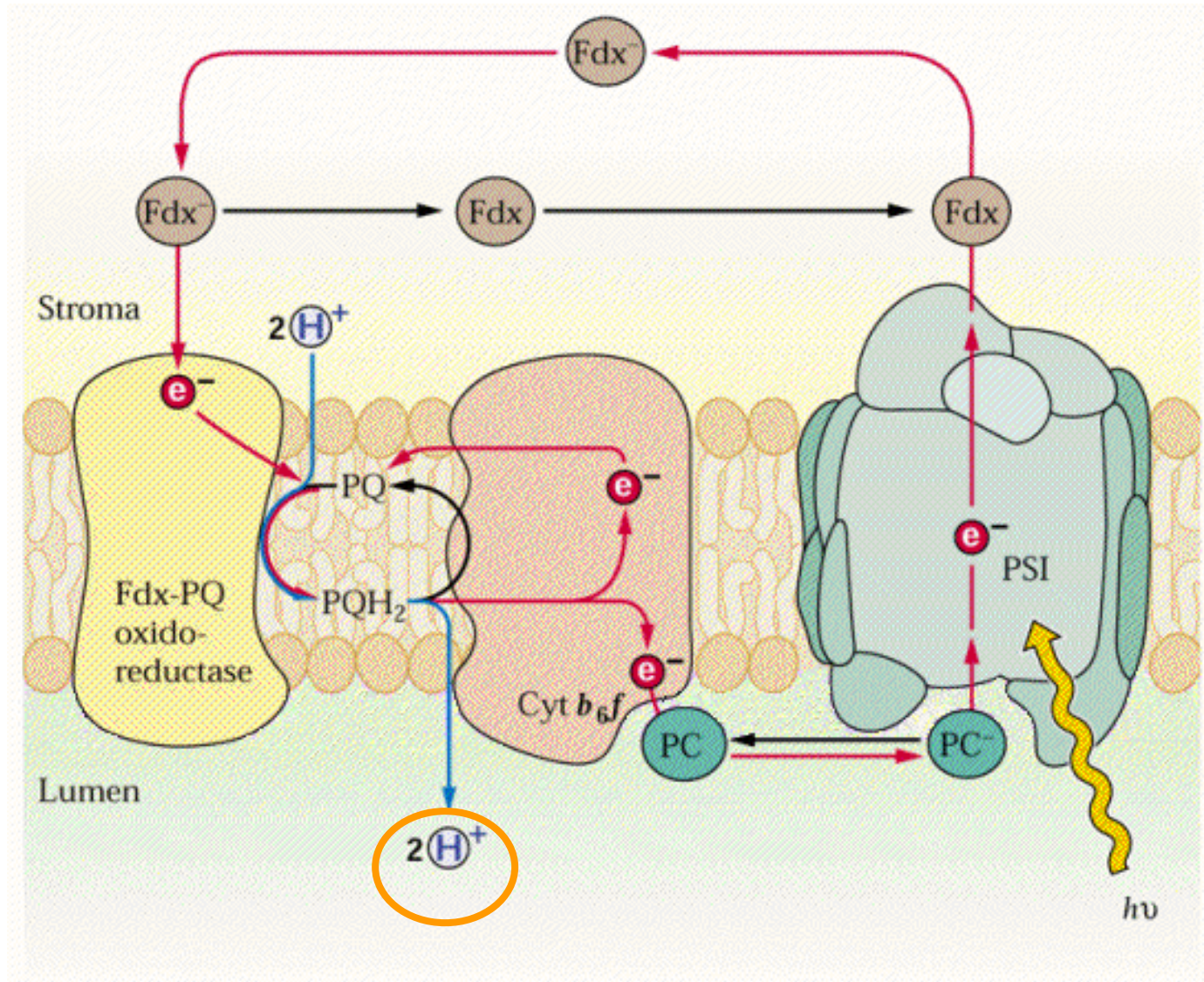
Complexo liberador de Oxigênio



Fotofosforilação acíclica produz NADPH, ATP e O₂



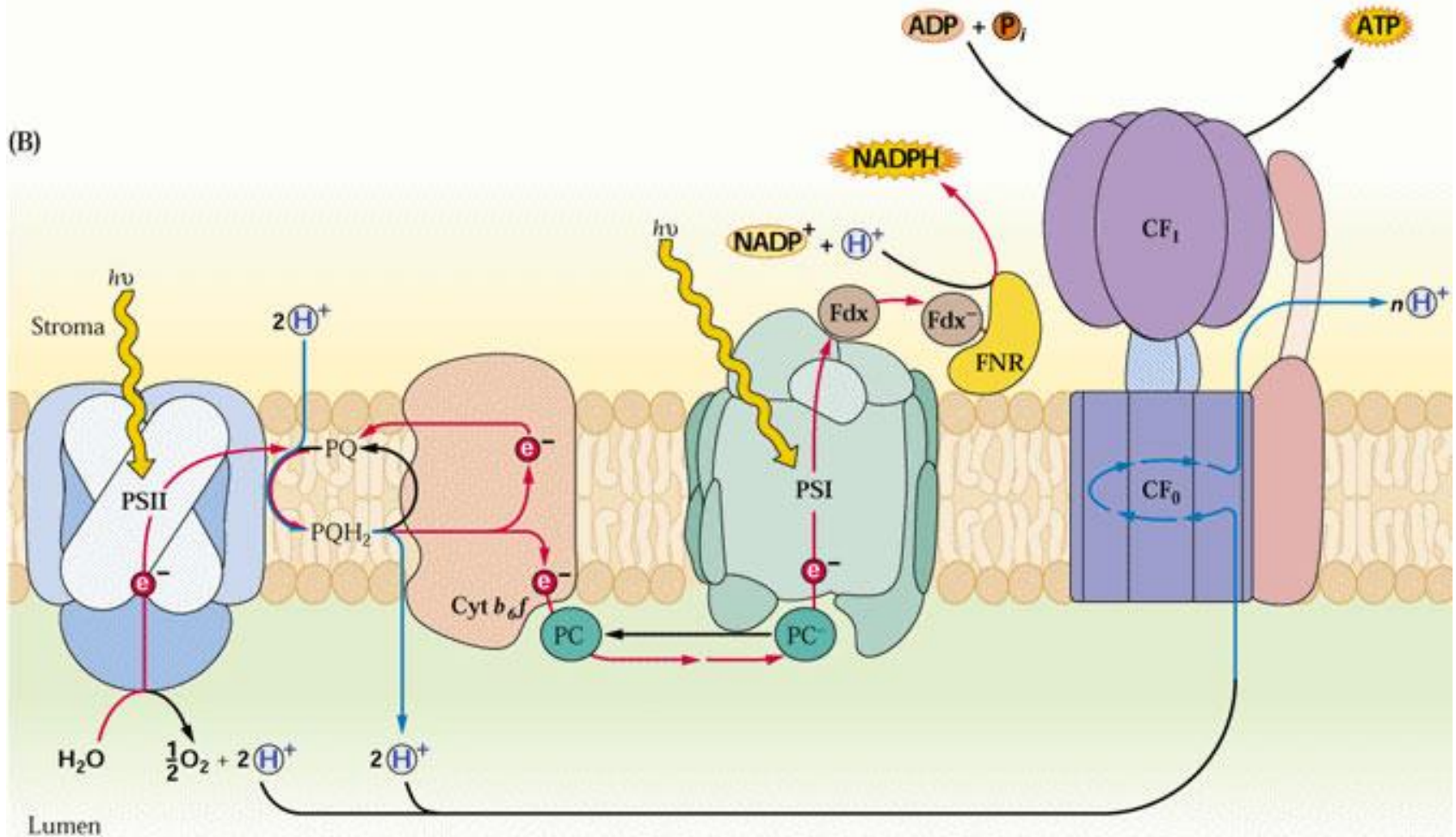
Fotofosforilação cíclica - produção de ATP



Dois tipos de fotofosforilação...

- **Não cíclica:** são gerados NADPH e ATP
 - PSII > complexo Citb₆f > PSI
- **Cíclica:** apenas ATP é gerado
 - PSI e Citb₆f

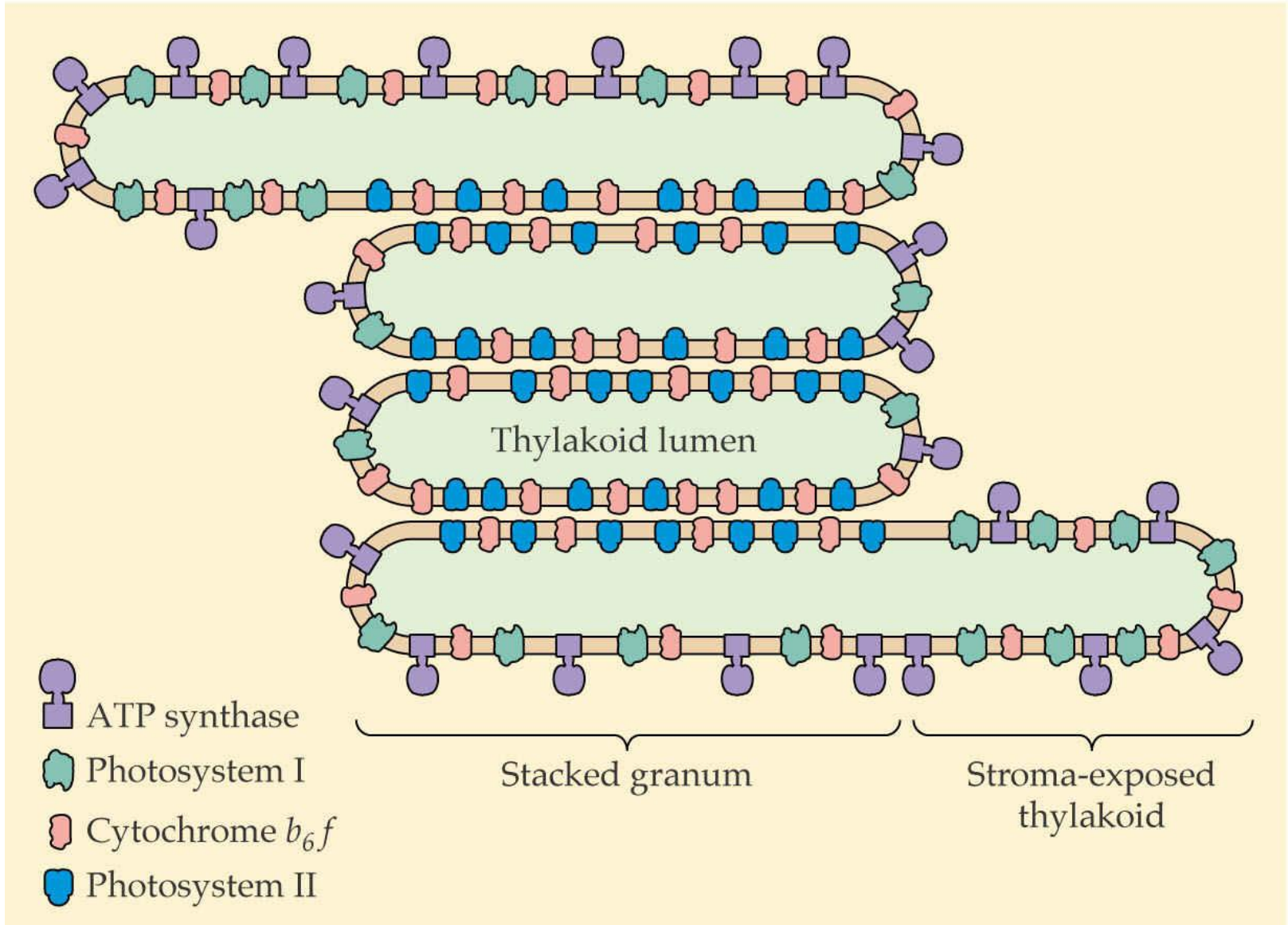
Resumo da cadeia transportadora de Elétron



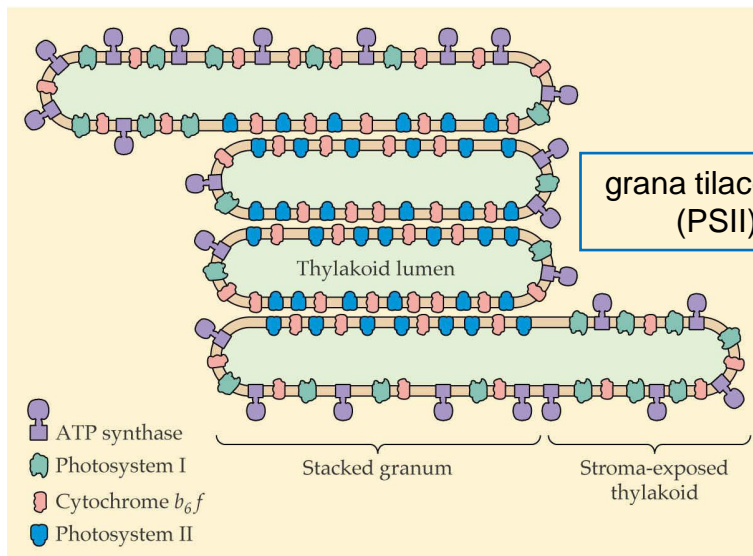
- 1- Fotólise da água + PQ → pH lumen < pH estroma
- 2- Fotossistema I (P700) não apresenta complexo liberador de O₂.
- 3- Produtos da fotofosforilação acíclica → O₂, NADPH e ATP

Fixação do carbono atmosférico

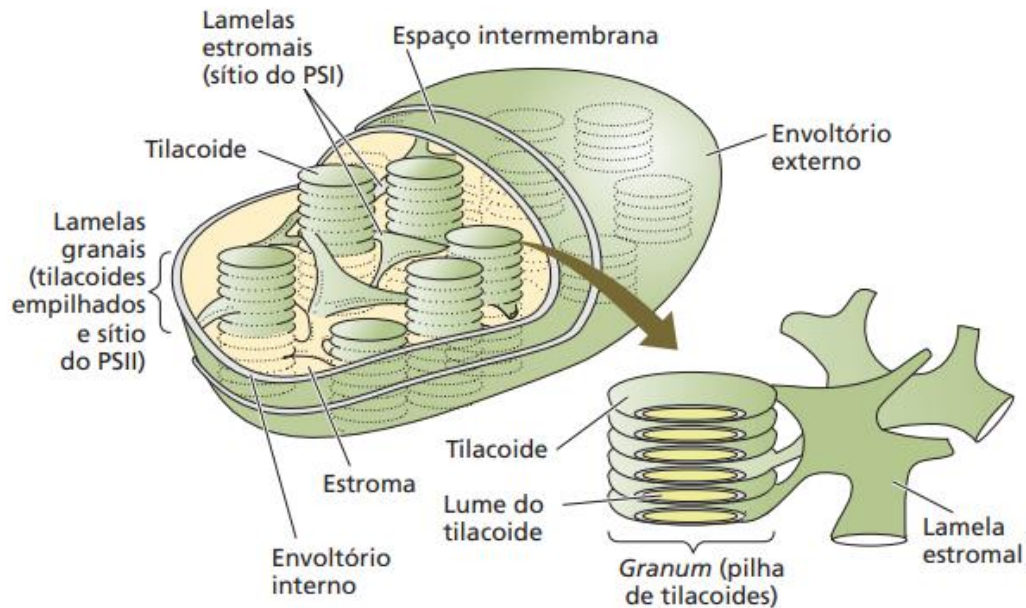
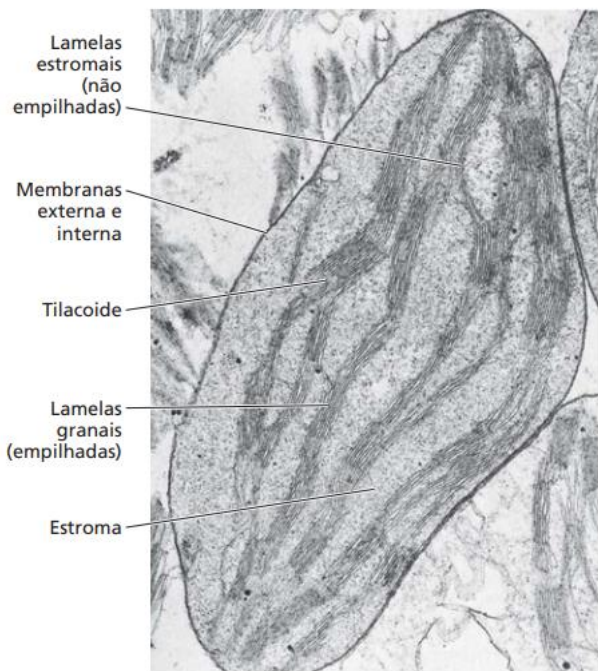
Distribuição dos sistemas proteicos nas tilacóides



PSII está localizado preferencialmente em regiões de grana, enquanto PSI e ATP sintase não.



tilacóides expostos – Estroma (PSI)



Balço Energético entre PSI e PSII

Fosforilação do LHCII controla a distribuição de energia.

- 1- Maior excitação de PSII resulta na ativação de LHCII.
- 2- LHCII quinase fosforila LHCII, que se torna carregado negativamente e migra da região de grana (mais hidrofóbico) para a região exposta ao estroma (menos hidrofóbica)
- 3- A dissociação de LHCII do PSII, e consequentemente, associação ao PSI ajusta a excitação relativa entre os PS.

