

Fisiologia Vegetal

Objetivos da aula:

Fotossíntese:

- absorção de luz
- pigmentos fotossintéticos
- fotossistemas
- fluxo de elétrons acíclico
- fotofosforilação
- fluxo de elétrons cíclico

Bibliografia:

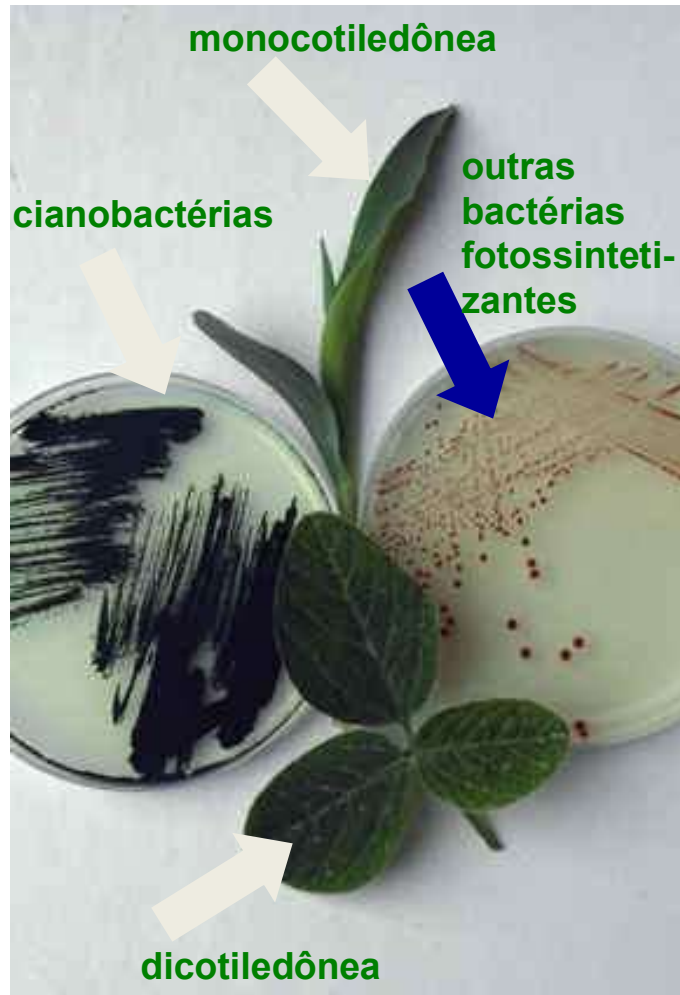
Lehninger – Principles of Biochemistry

Taiz – Plant Physiology

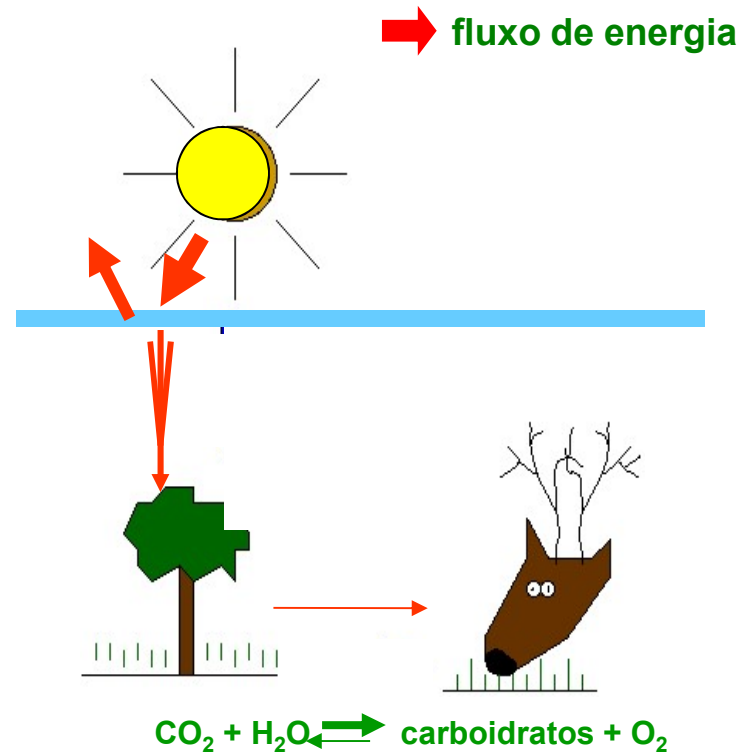


Fotossíntese:

Processo pelo qual a energia da luz é utilizada para síntese de moléculas orgânicas.



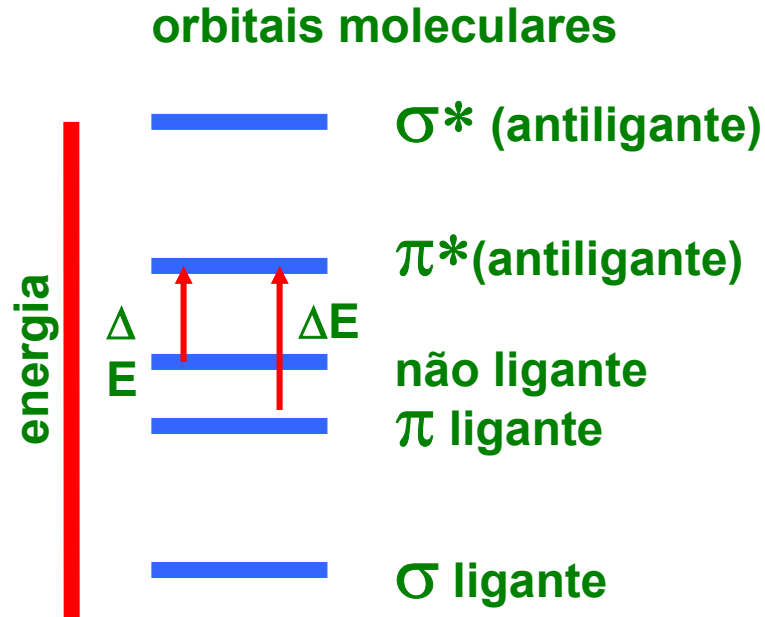
→ fotossíntese oxigênica (2,5 billion years)



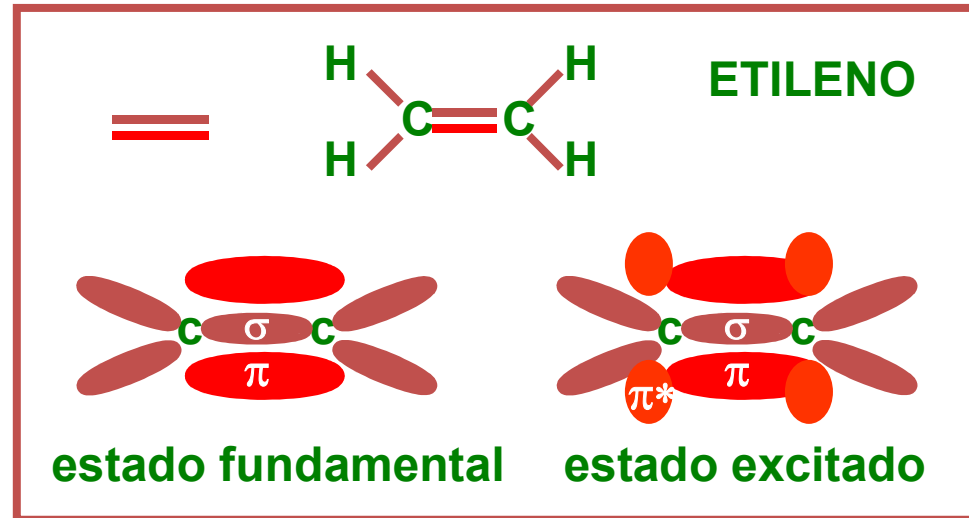
principal via pela qual energia entra na biosfera

RECORDANDO

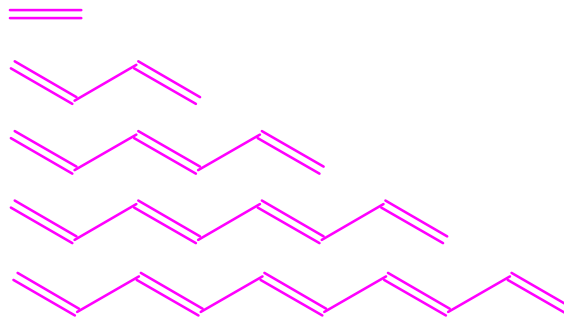
Absorção de luz



a radiação UV e visível possui energia suficiente para promover as transições eletrônicas dos orbitais n para π^* ou π para π^*



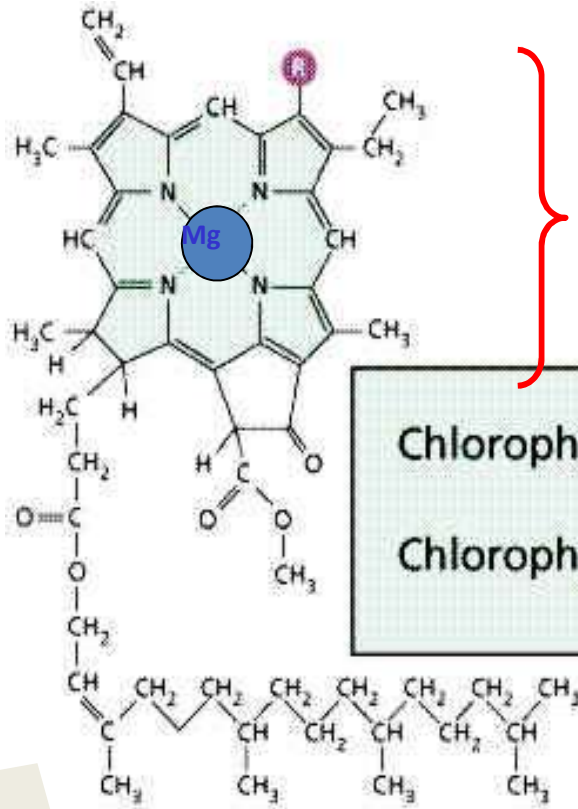
$\lambda_{\text{max}}(\text{nm})$	$\epsilon(\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1})$
165	15000
217	21000
256	50000
290	85000
334	125000



- λ (comprimento de onda) indica a quantidade de energia necessária para ocorrer a transição eletrônica.
- ϵ (coeficiente de extinção) indica a probabilidade da transição eletrônica ocorrer.

RECORDANDO

Pigmentos Fotossintéticos



anel porfirínico
(cromóforo da clorofila a)

**cromóforo: sistema de
duplas ligações conjugadas**

Chlorophyll a: $R = -CH_3$

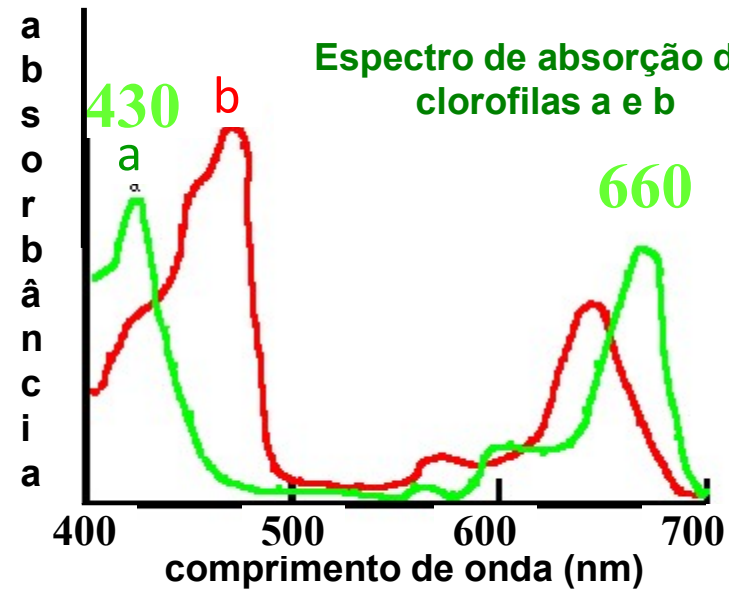
Chlorophyll b: $R = -C \begin{matrix} H \\ // \\ O \end{matrix}$

**principais fotoreceptores da
fotossíntese nas plantas**
coeficiente de extinção
molar = $10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

fitol

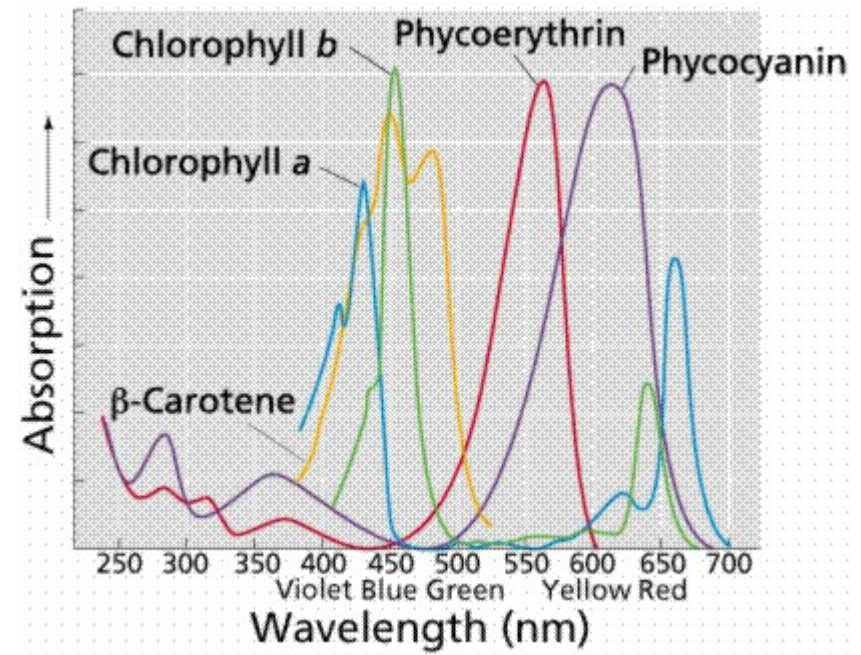
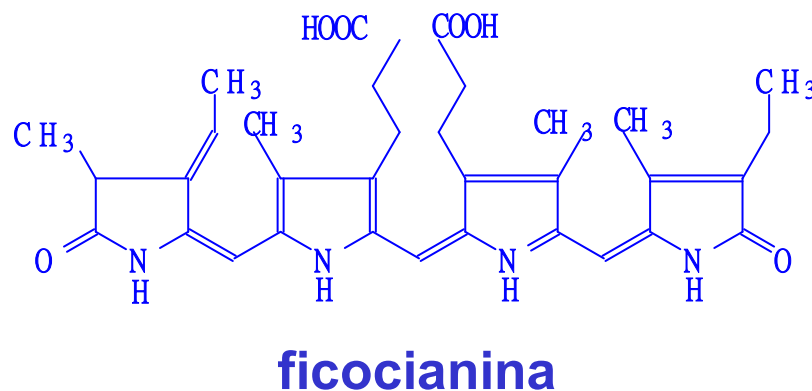
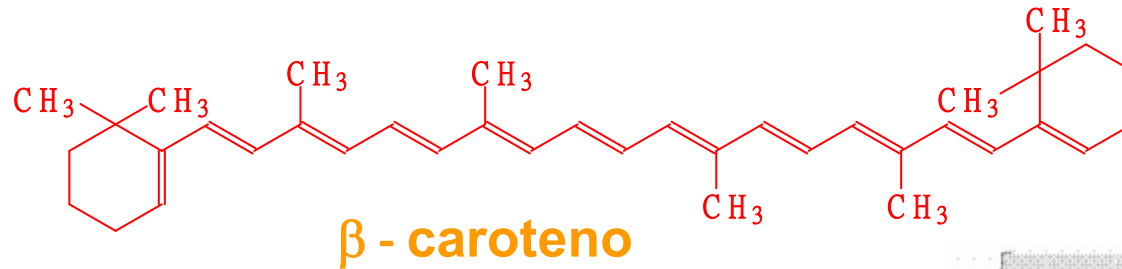
Protoporfirina IX

**A mudança estrutural no
cromóforo leva a diferentes
espectros de absorção**



RECORDANDO

Pigmentos Fotossintéticos acessórios



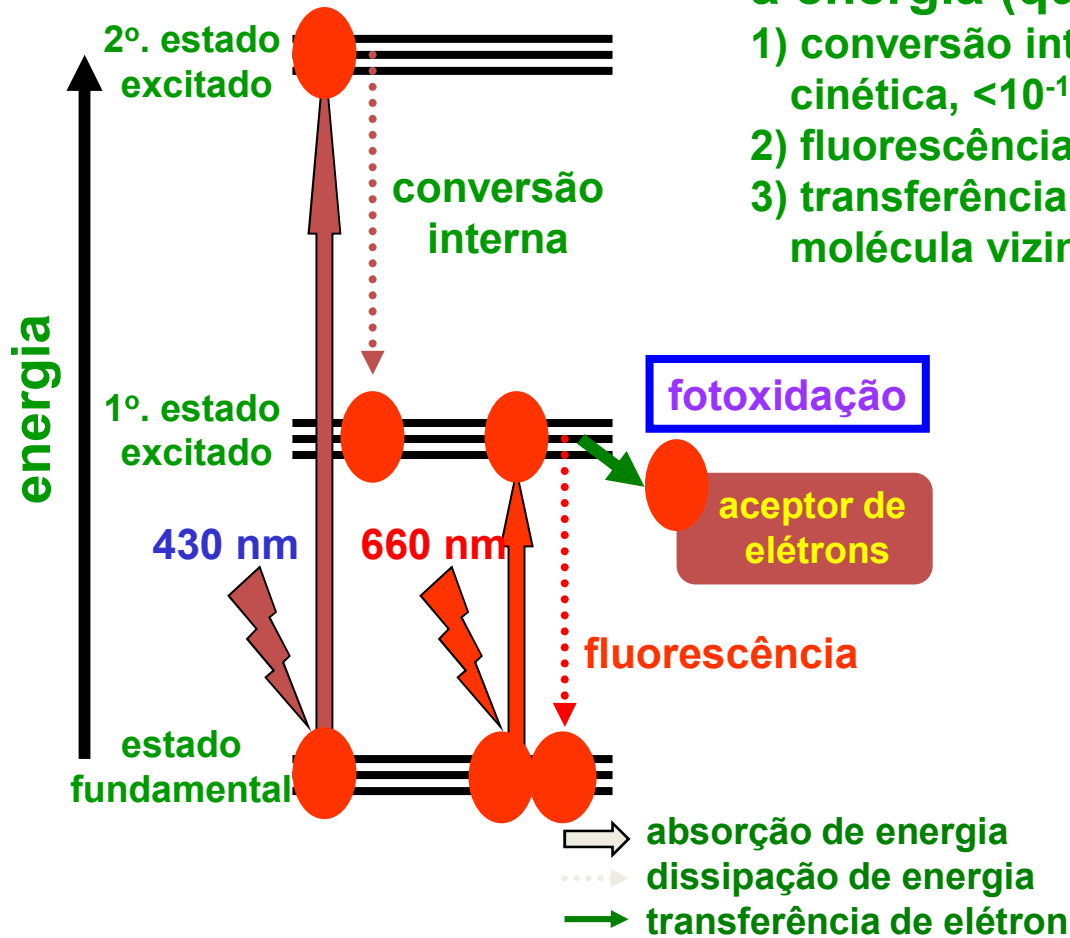
**pigmentos absorvem diferentes
faixas de comprimentos de onda
(λ_{max} = comprimentos de onda
onde a absorção é máxima).**

**um pigmento pode ter vários
máximos de absorção**

RECORDANDO

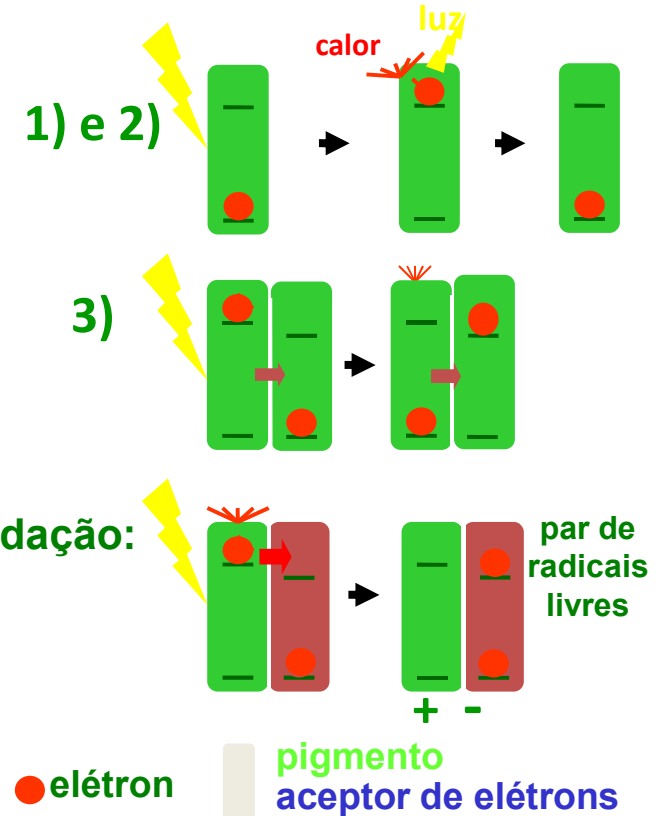
Absorção de Luz

estados eletrônicos da clorofila a



Formas de uma molécula dissipar a energia (quenching) do estado excitado:

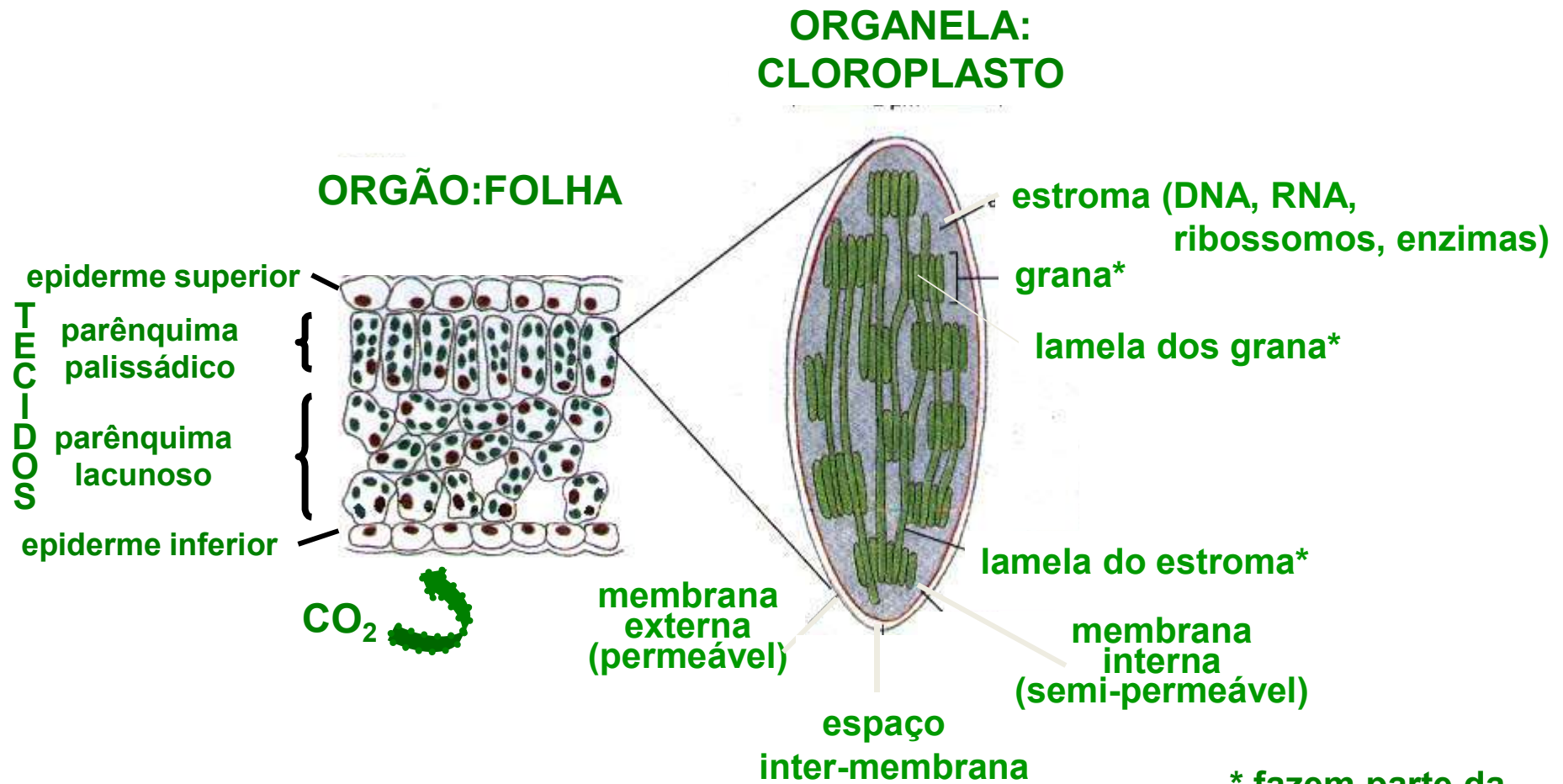
- 1) conversão interna (conversão para energia cinética, $<10^{-11}$ s)
- 2) fluorescência, ($+ 10^{-8}$ s)
- 3) transferência do estado excitado para uma molécula vizinha (ressonância)



- Moléculas têm vários estados de energia.
- Cada um dos estados eletrônicos tem sub-estados rotacionais e vibracionais.

RECORDANDO

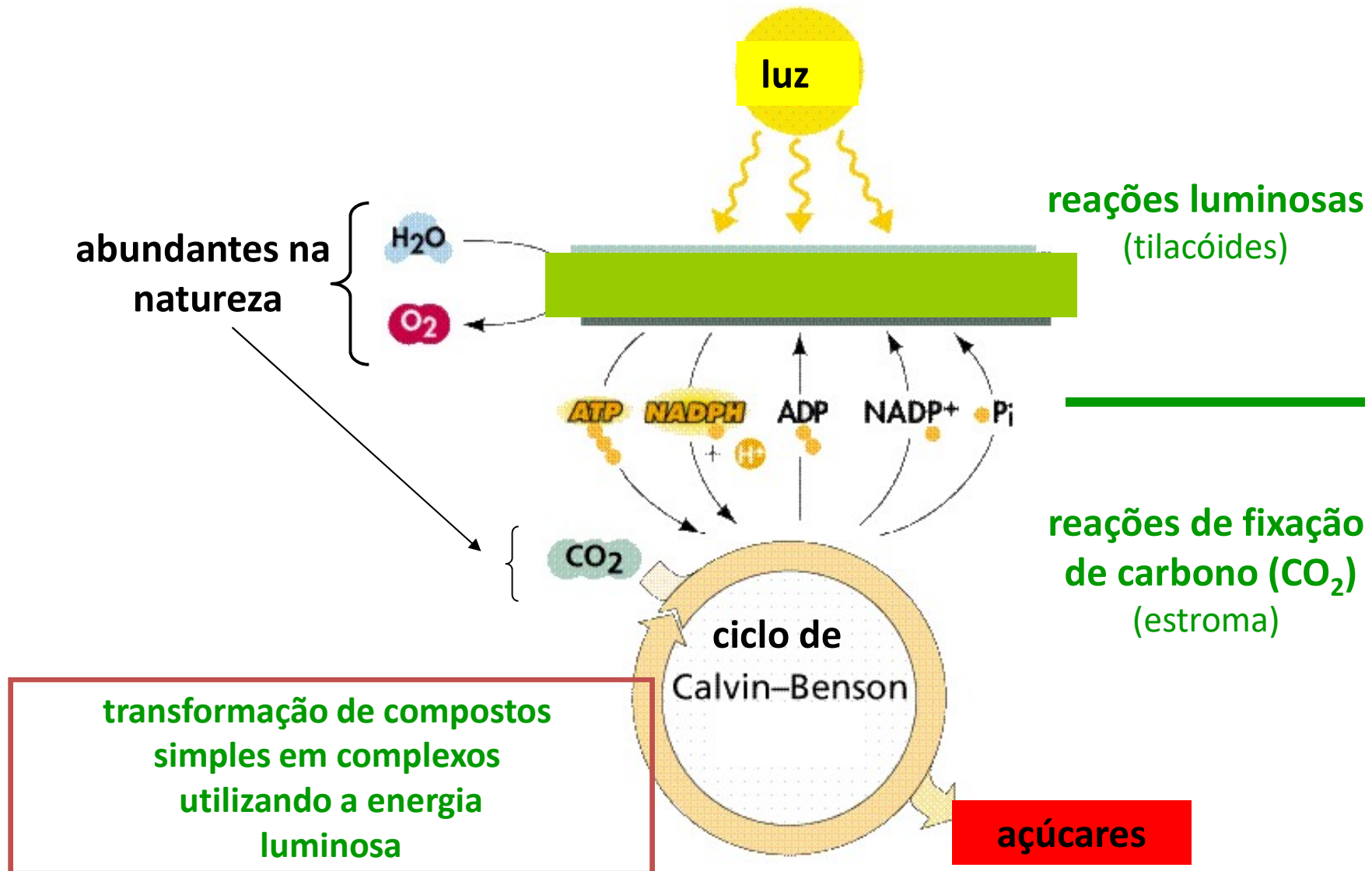
Onde ocorre a fotossíntese?



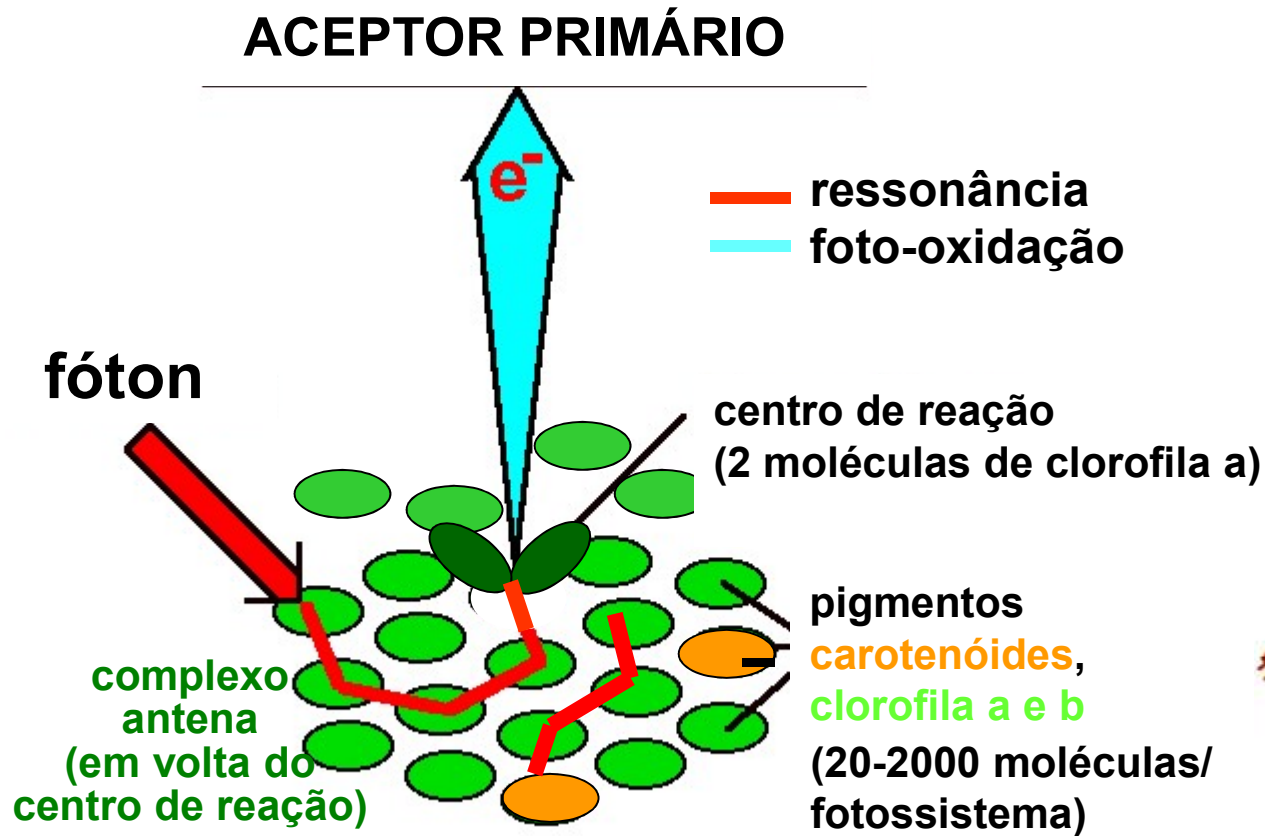
No tilacóide ocorrem as reações de captação de luz.
No estroma ocorrem as reações de fixação de carbono.

RECORDANDO

As Reações da Fotossíntese



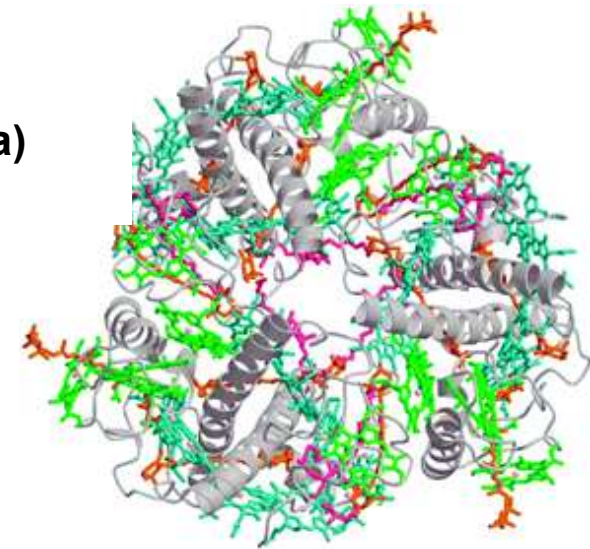
Onde se dá a captação de luz?



Fotossistemas

PI 700 nm

PII 680 nm



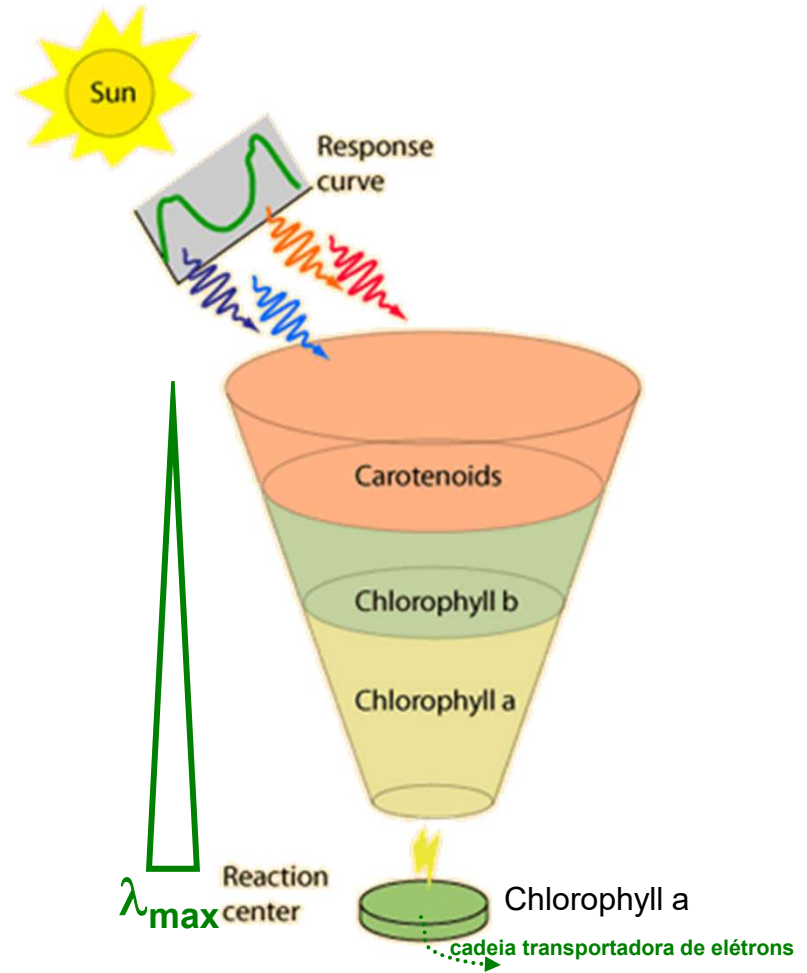
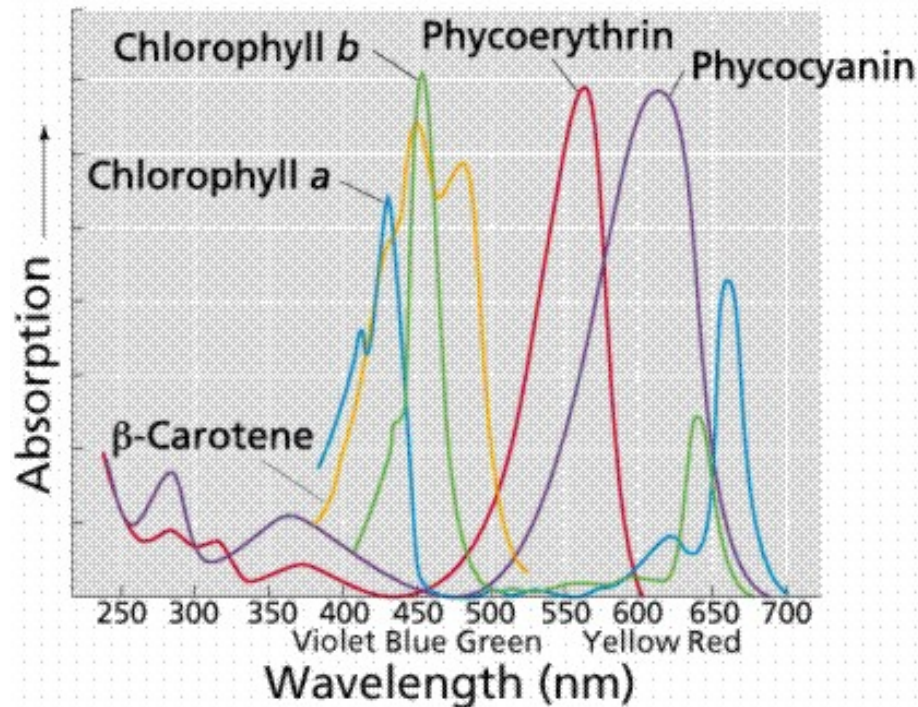
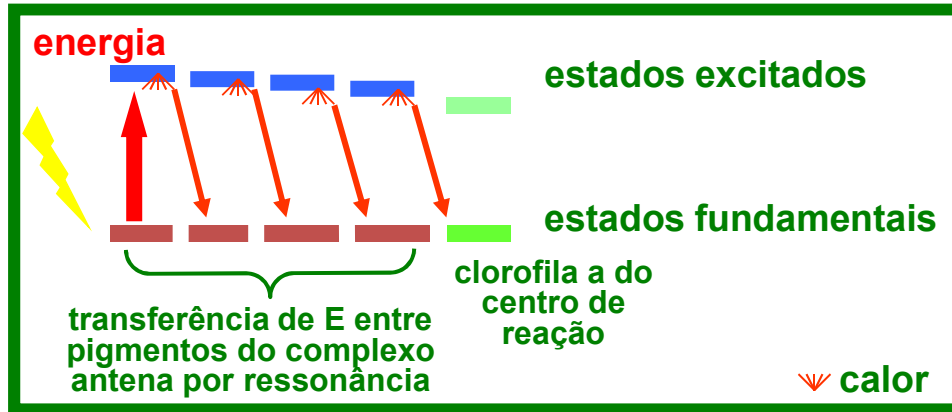
complexo antena:
pigmentos associados ●●●
a proteína ●●

Os fotossistemas são compostos por um complexo antena e um centro de reação

As moléculas de pigmentos têm espaçamento e orientações relativas precisas. Estas permitem a transmissão de energia entre as moléculas por ressonância.

Transferência de energia entre os pigmentos no complexo antena:

(para que a transferência seja possível, a ΔE do estado fundamental e excitado da sequência de pigmentos deve ser cada vez menor)

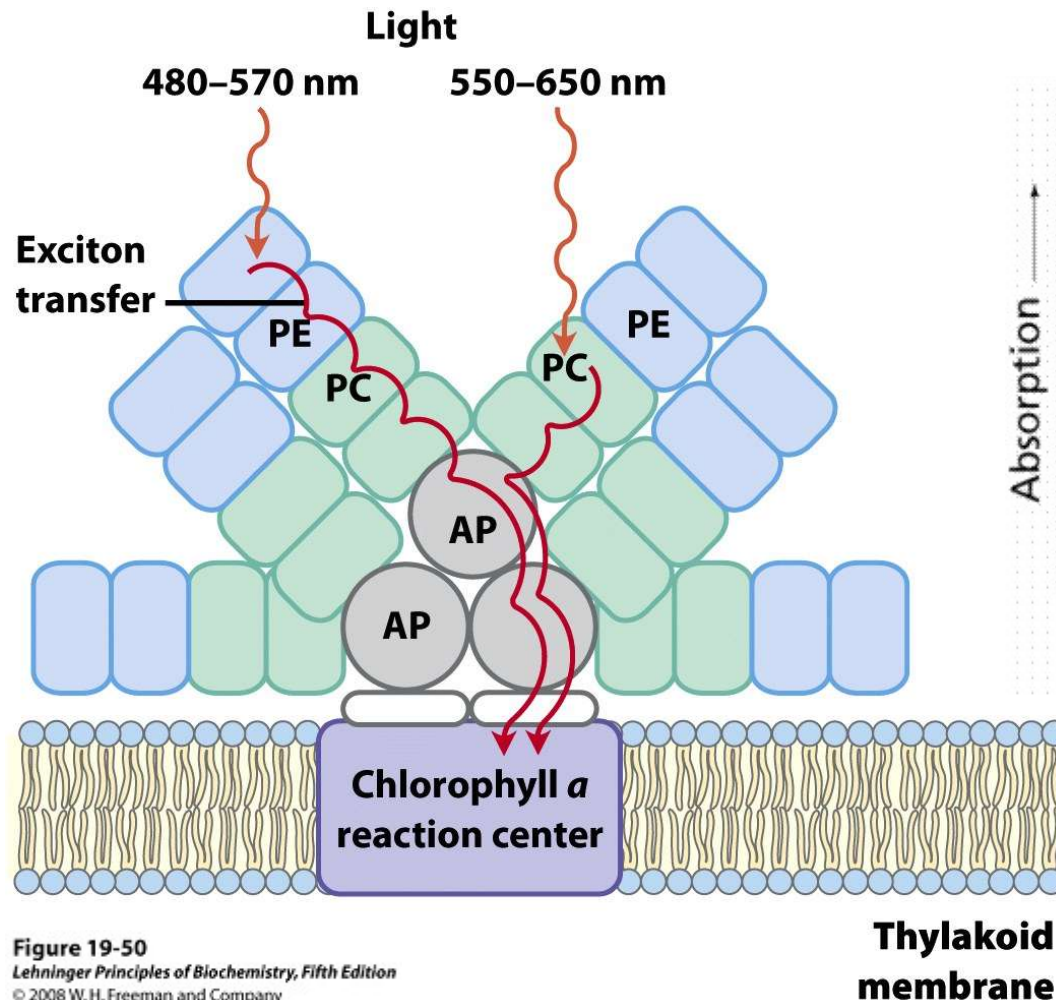


dependendo das distorções em sua conformação, geradas pela associação com a proteína, um mesmo pigmento pode necessitar de quantidade de energia diferente para ir do seu estado fundamental ao excitado

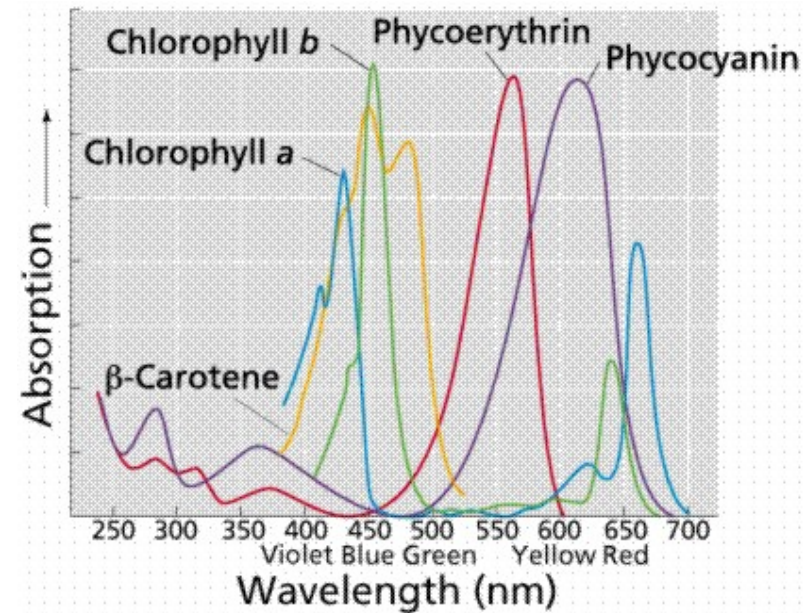
Em cianobactérias.... TRANSFERÊNCIA DE ÉXCITONS

A direção do fluxo de energia depende do λ_{max} do pigmento em uma determinada conformação:

ficoeritrina (PE) \longrightarrow ficocianina (PC) \longrightarrow clorofila a



Espectros de absorção:



transferência de E
se dá de acordo
com os λ_{max}

Figure 19-50
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Fotossistemas – complexos supramoleculares de macro e micromoléculas

Tipo I

- sulfobactérias
- heliobactérias
- fotossistema I de cianobactérias
- fotossistema I de cloroplastos

Tipo II (com variações sendo o acceptor final de elétrons uma quinona)

- bactérias roxas
- *Chloroflexi*
- fotossistema II de cianobactérias
- fotossistema II de cloroplastos

Nomenclatura das enzimas:

Fotossistema I: ????????????

Fotossistema II: water/plastoquinone photo-oxidoreductase

Pode-se dizer que as reações nos fotossistemas ocorrem em estado sólido!

Esquema Z

O acoplamento dos dois fotossistemas se dá através de uma cadeia transportadora de elétrons.

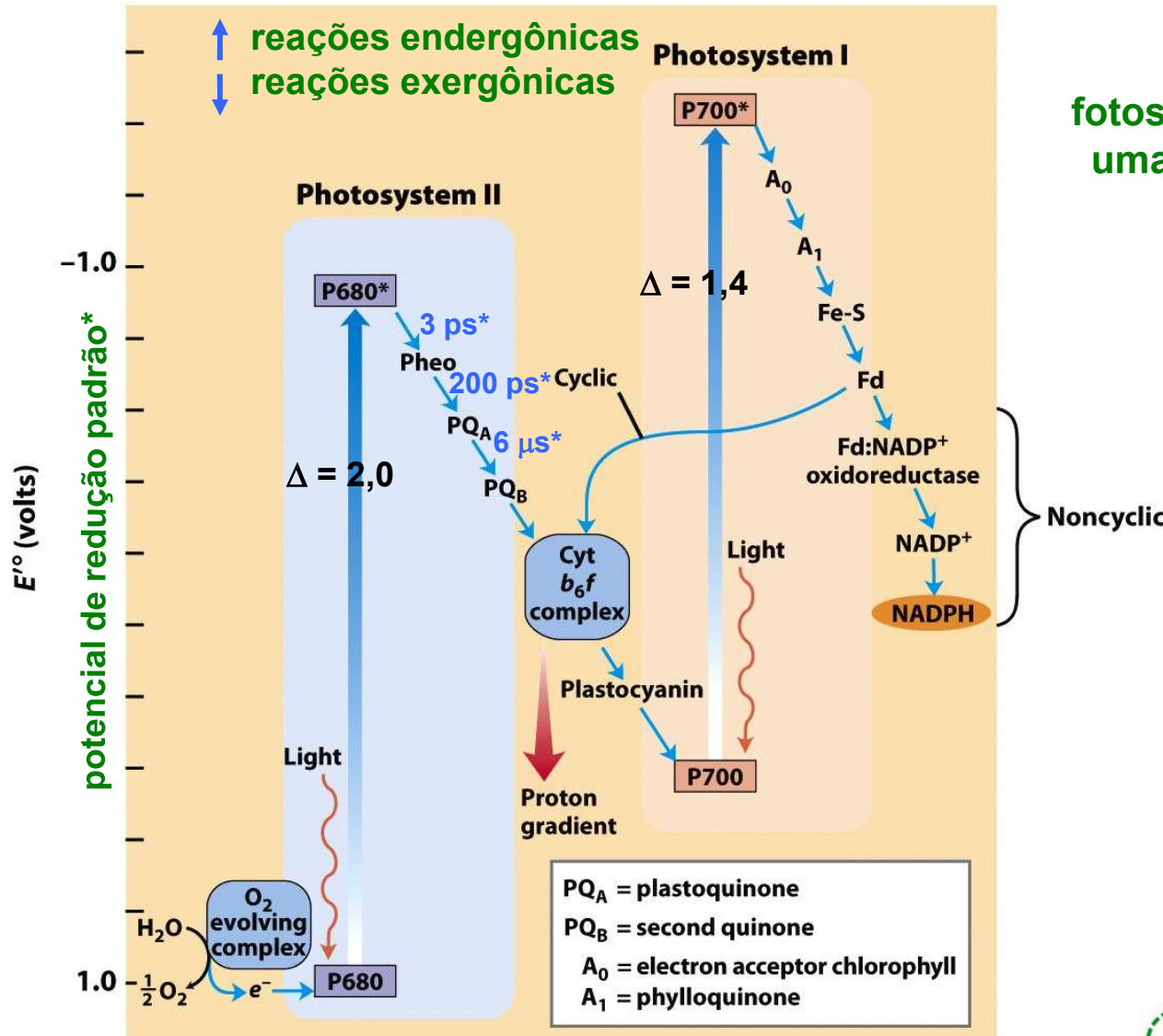
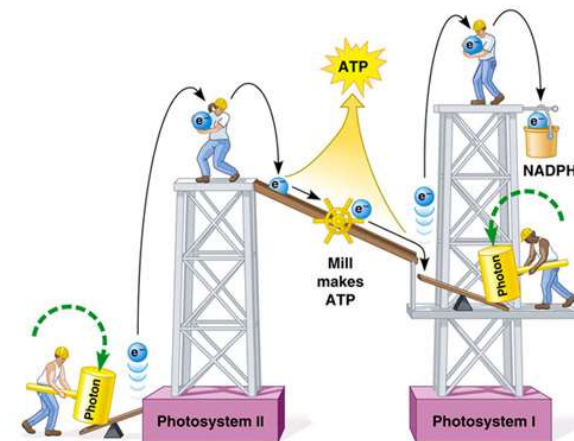


Figure 19-56
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

* duração da transferência de elétrons (em bactérias)

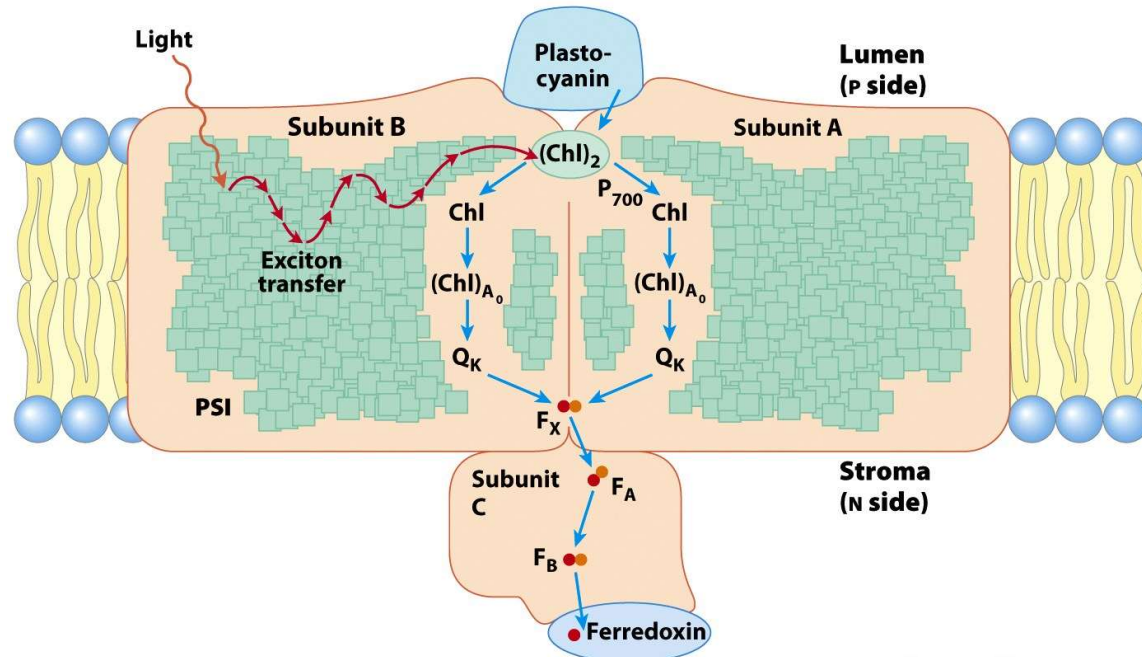
* potencial de redução é a tendência de uma espécie química adquirir elétrons e, desse modo, ser reduzido.

cada espécie tem seu potencial intrínseco de redução.



adaptado de Lehninger, 5ª. Ed., 2008

TRANSFERÊNCIA DE ELÉTRONS NO CENTRO DE REAÇÃO DO TIPO I



→ **éxciton**
→ **eléctron**

Fotossistema I

associação supramolecular de três complexos idênticos

cada um destes complexos é formado por 11 proteínas diferentes associadas à cofatores

fluxo cíclico/acíclico de elétrons que gera gradiente de prótons e a redução de NADP+

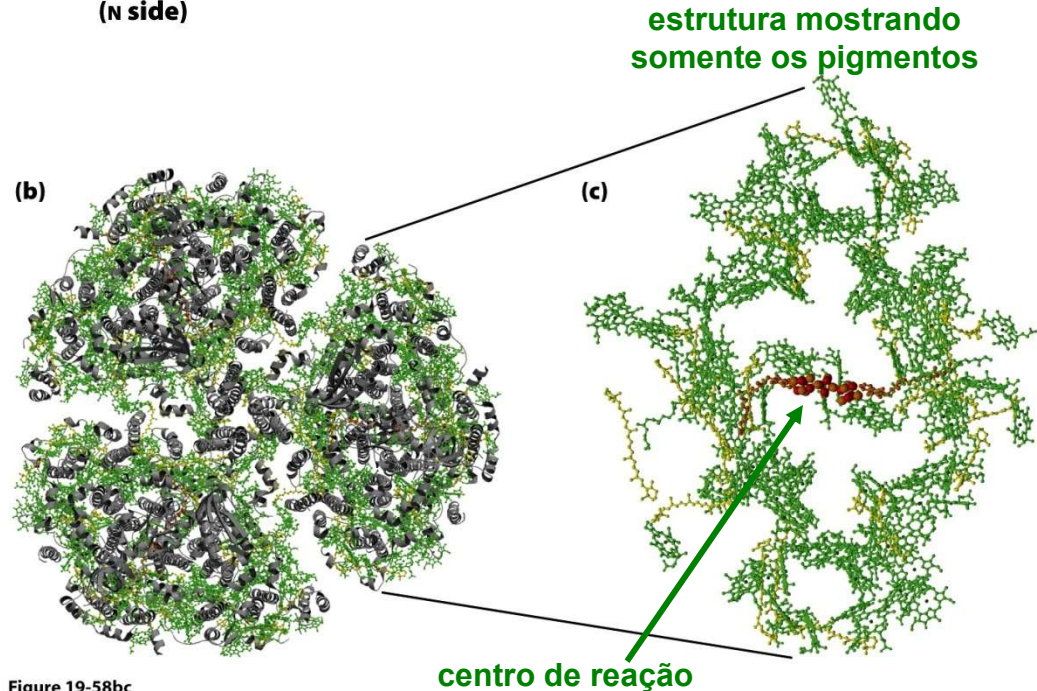
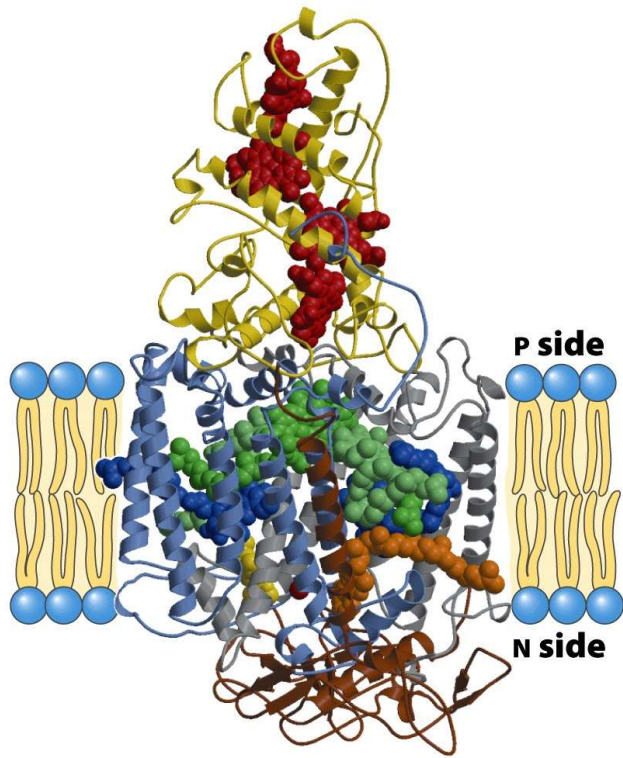


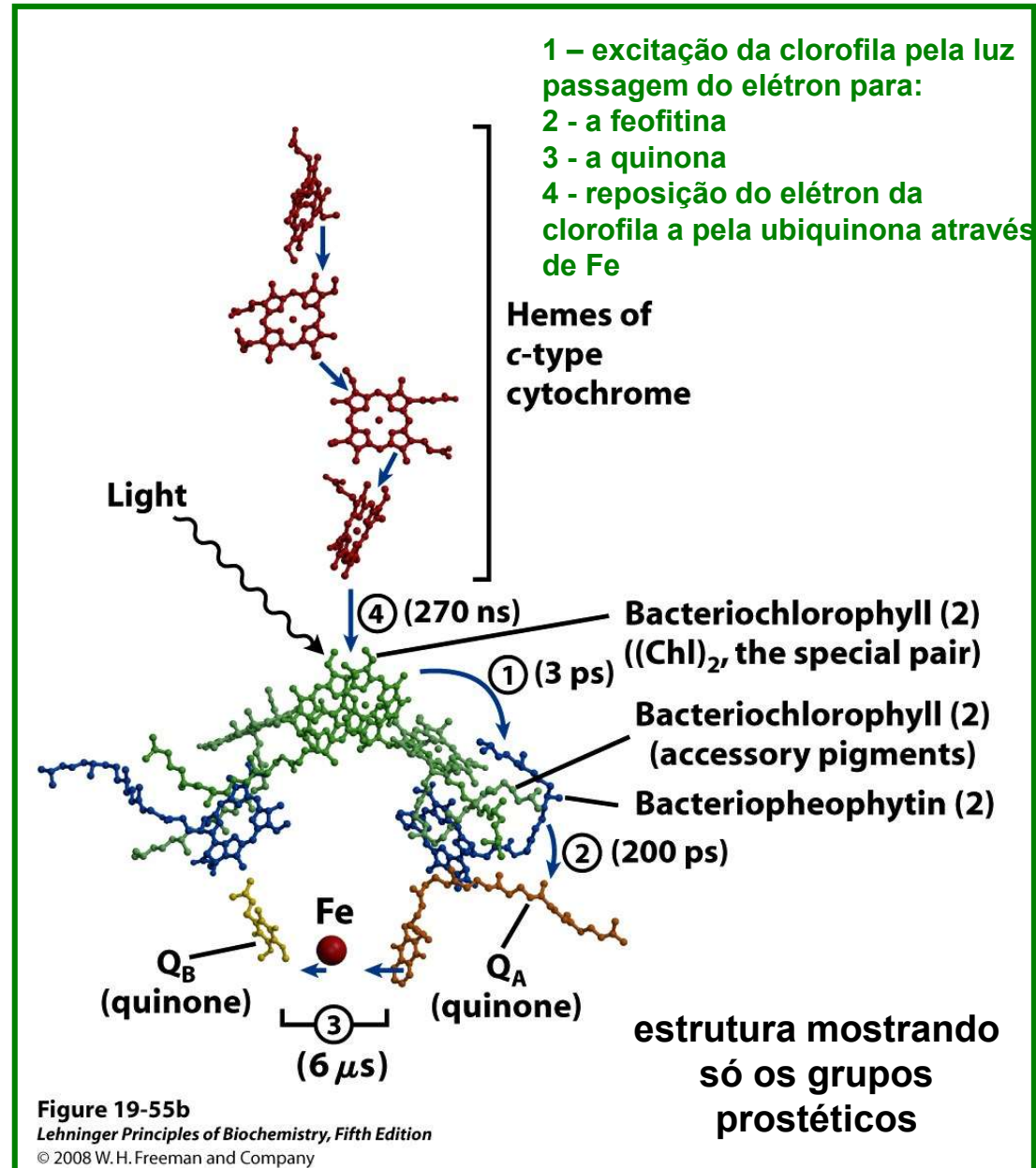
Figure 19-58bc
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

TRANSFERÊNCIA DE ELÉTRONS NO CENTRO DE REAÇÃO DO TIPO II

Centro de reação de *Rhodopseudomonas viridis*... BACTÉRIA

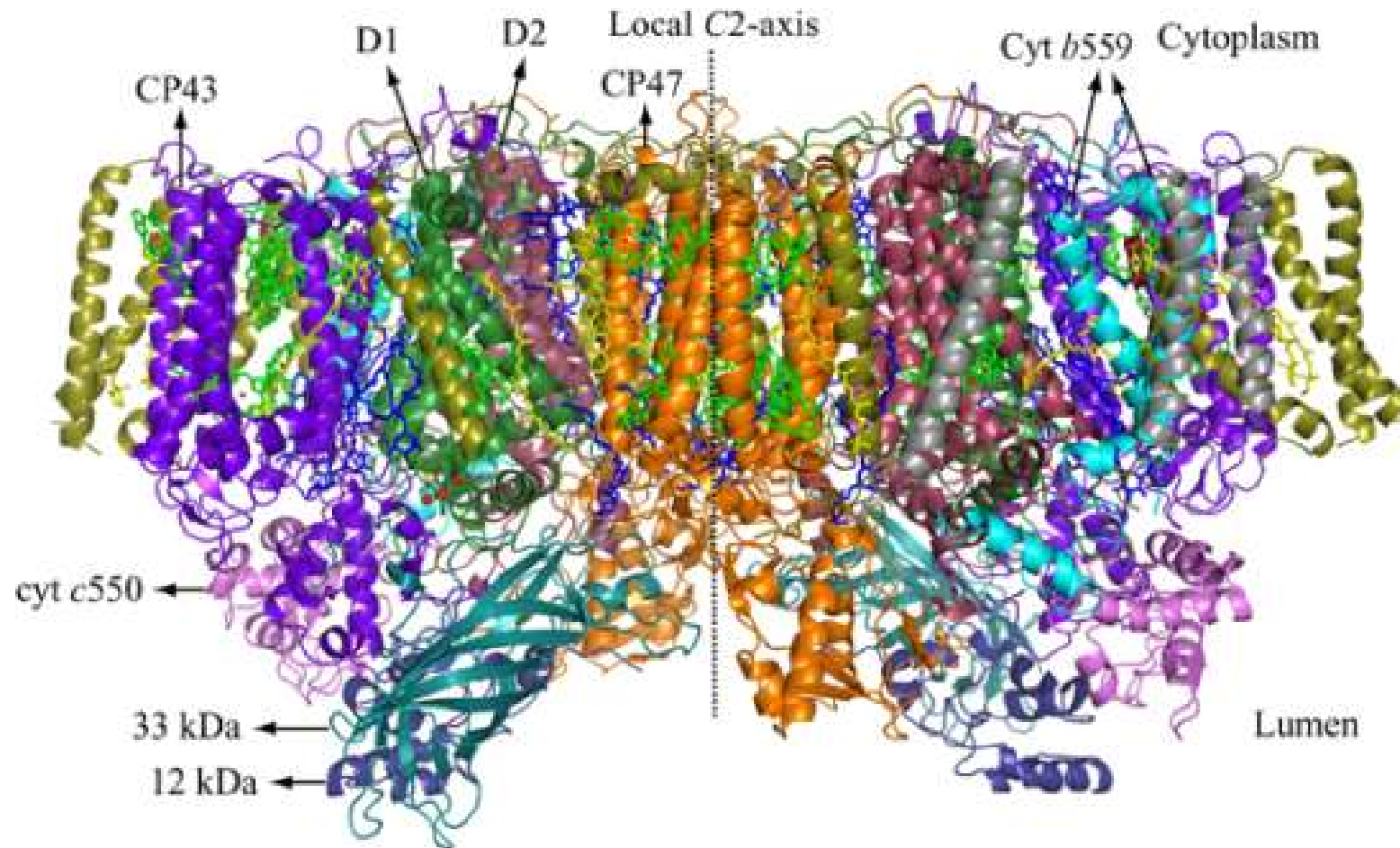


fluxo cíclico de elétrons que gera gradiente de prótons



Fotossistema II – heterodímero pseudosimétrico

cerca de 20 subunidades proteicas associadas a pigmentos e grupos prostéticos



Pii de plantas e cianobactérias é composto de cerca de 20 subunidades:

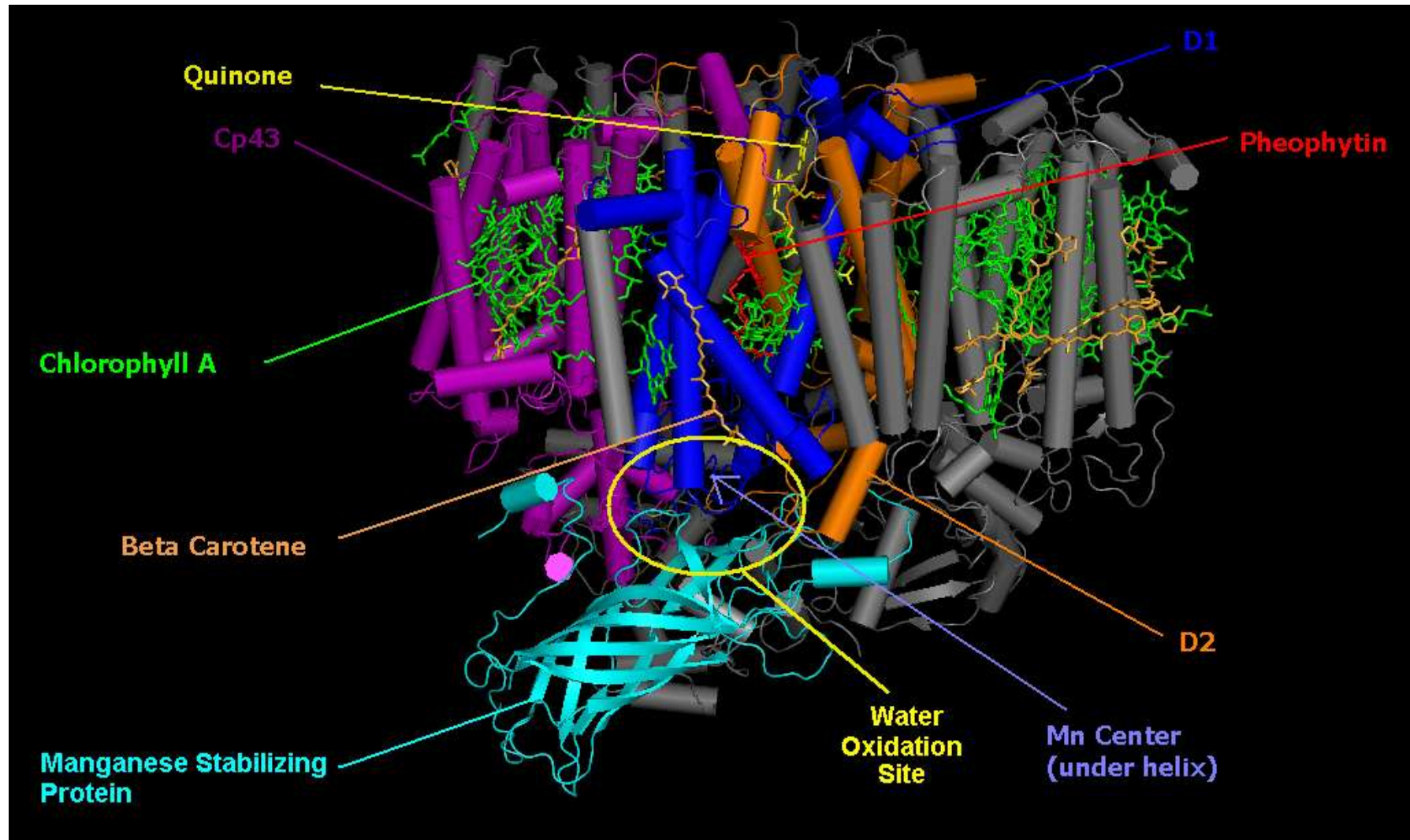
D1 e D2 - proteína cerne do centro de reação

CP43 e CP47 – proteínas antena

PsbO (33 kDa)– proteína responsável pela fotólise da água

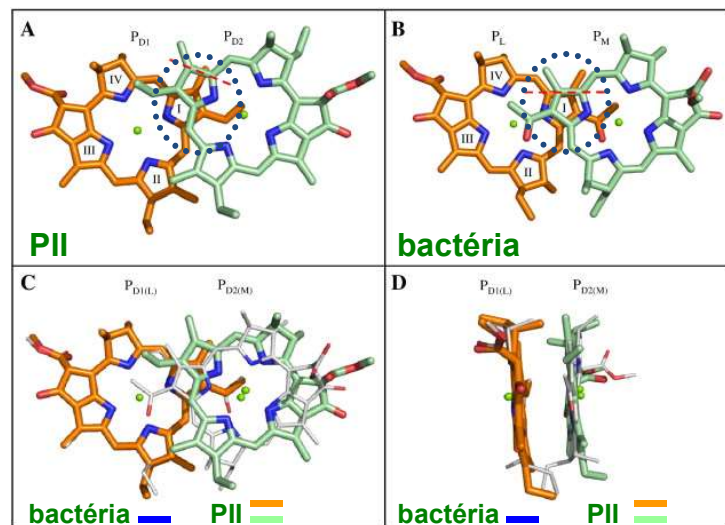
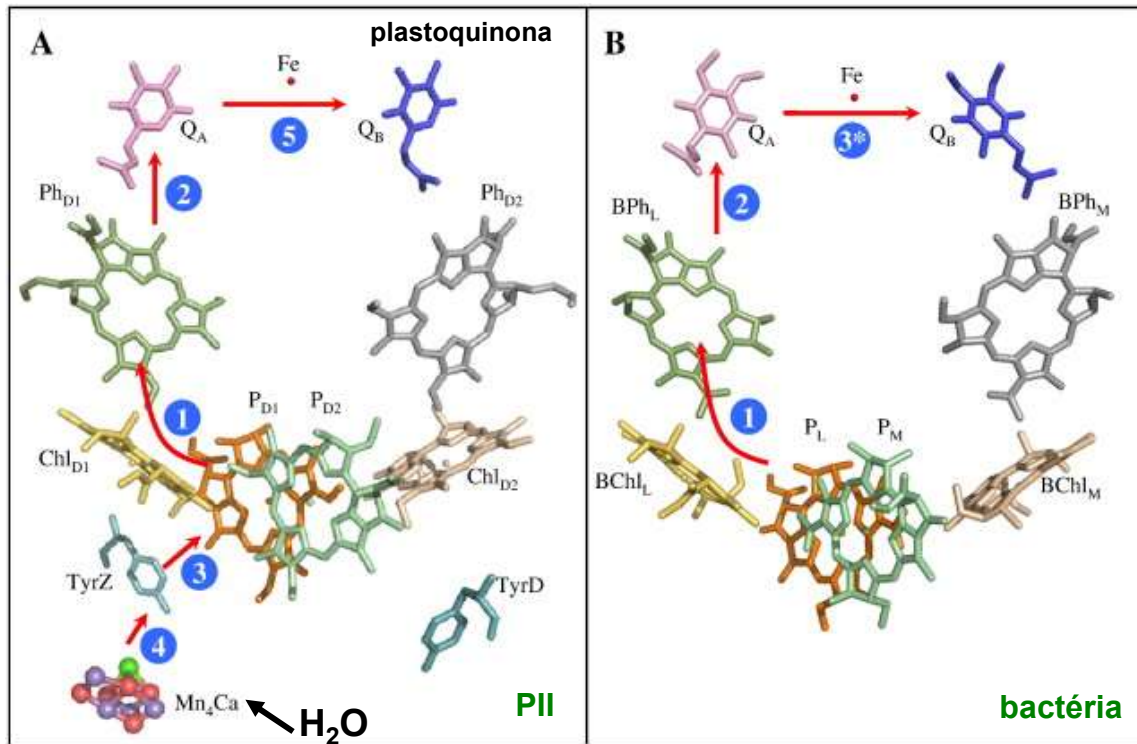
Fotossistema II – cianobactéria

detalhando um dos dímeros



Comparação entre PII e o centro de reação de bactérias roxas

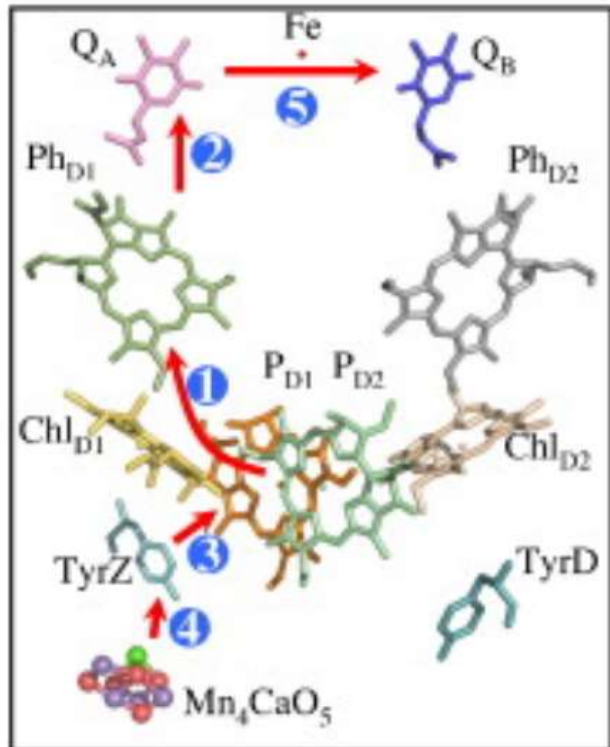
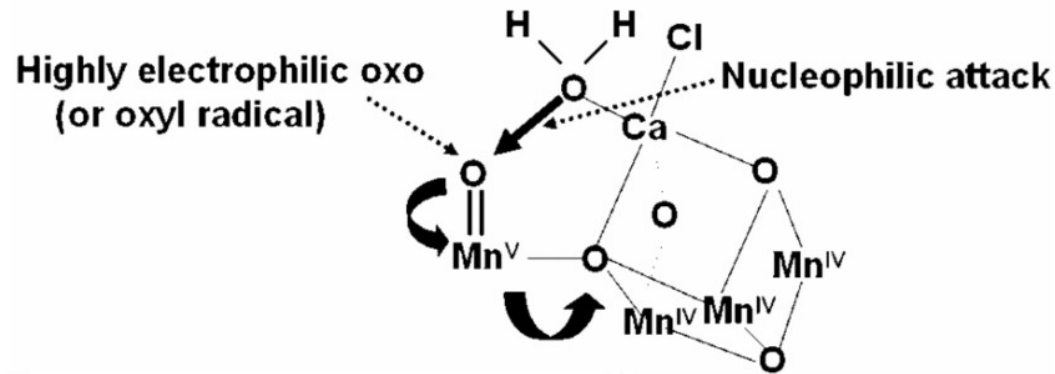
PII
water/plastoquinone photo-oxidoreductase



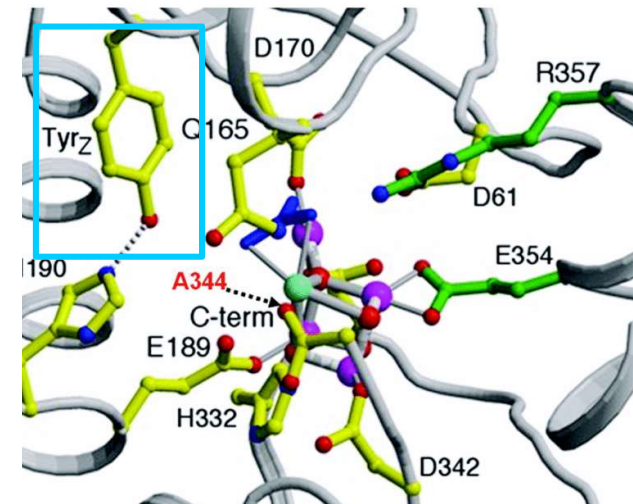
Par de clorofilas (bacterioclorofilas) dos centros de reação:

- o deslocamento das clorofilas no PII diminui o acoplamento eletrônico entre elas (diminuição da sobreposição dos orbitais moleculares)
- consequência: diminuição da estabilidade do radical cátion formado após a doação de elétrons e portanto maior potencial de oxidação da clorofila do PII do que no centro de reação das bactérias roxas

Fotólise da água



Cardona et al., 2012 Biochim Biophys Acta, 187:26-43



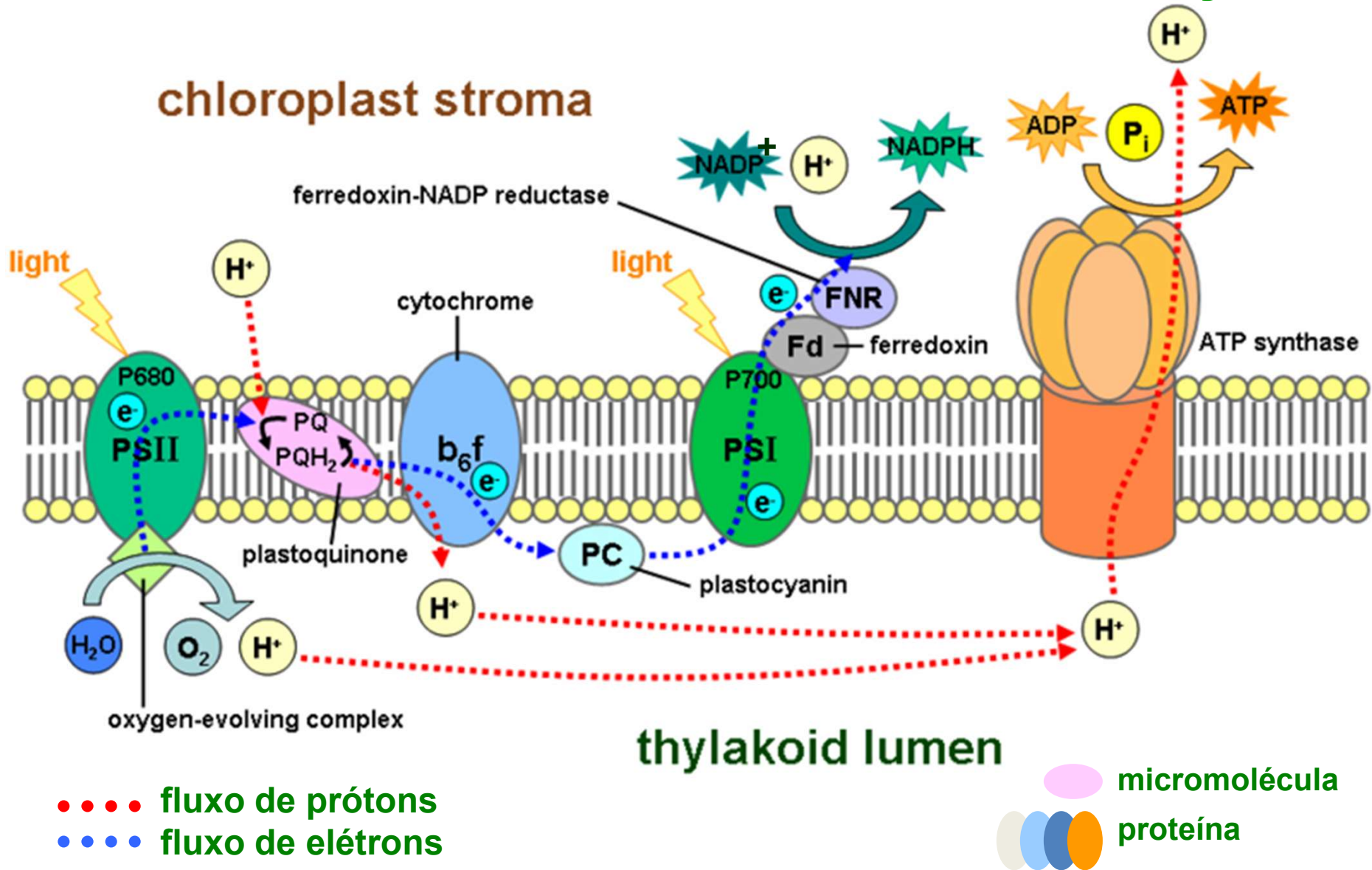
Biochemical Society Transactions (2006) 34, 619-631 -

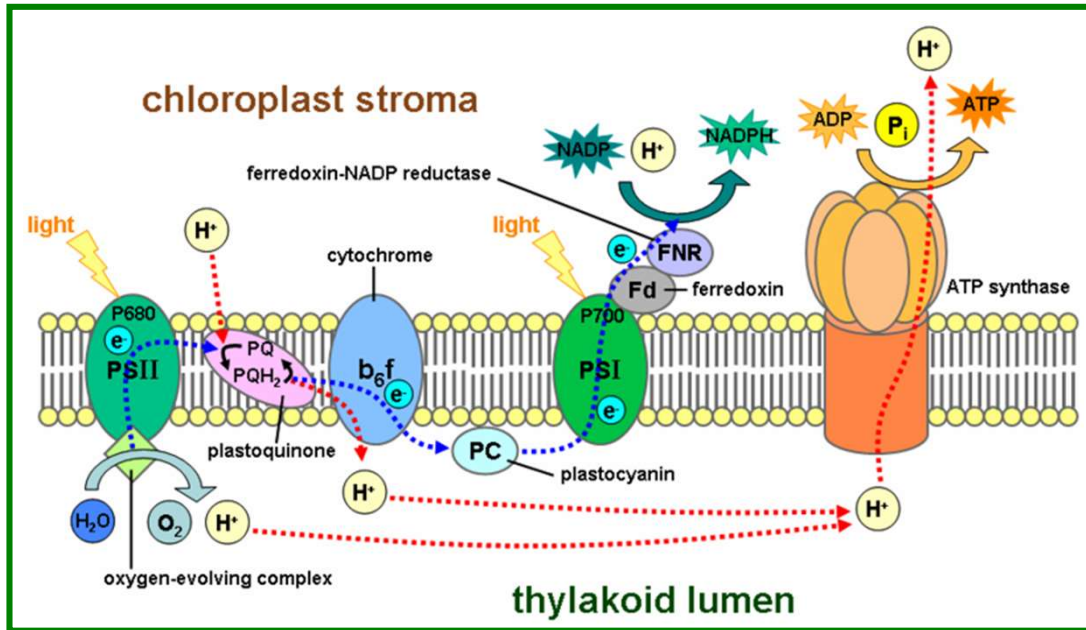
(TyrZ) tirosina – doa elétron à Clorofila a radical cátion

water/plastoquinone photo-oxidoreductase

esquema de transferência de elétrons que ocorre assumindo-se que a absorção do fóton se dê após aclimação no escuro

Fluxo de Elétrons Acíclico e Foto-fosforilação





Proteínas integrais de membrana e solúveis* do aparato fotossintético

estroma

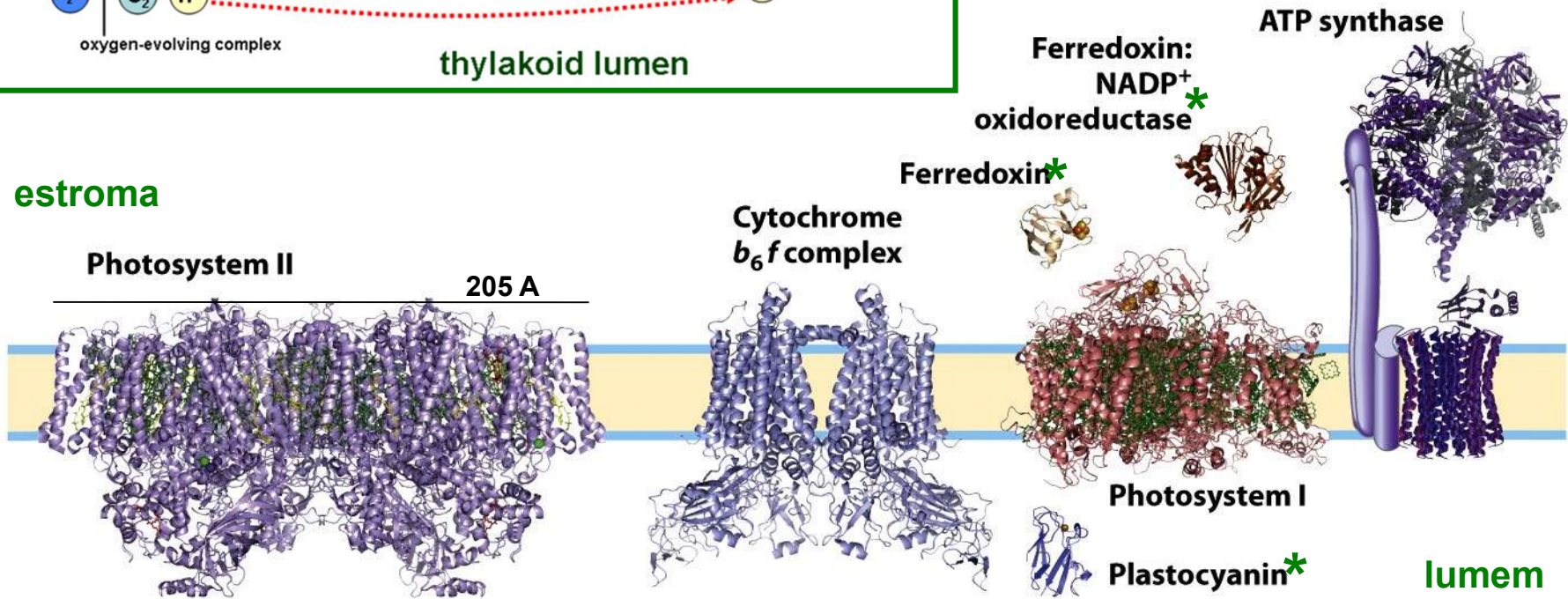


Figure 19-60a
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Origem e disposição dos componentes da membrana dos tilacóides

vermelho: codificado no genoma do cloroplasto

cinza: codificado no genoma nuclear

proteínas integrais de membrana com disposição específica

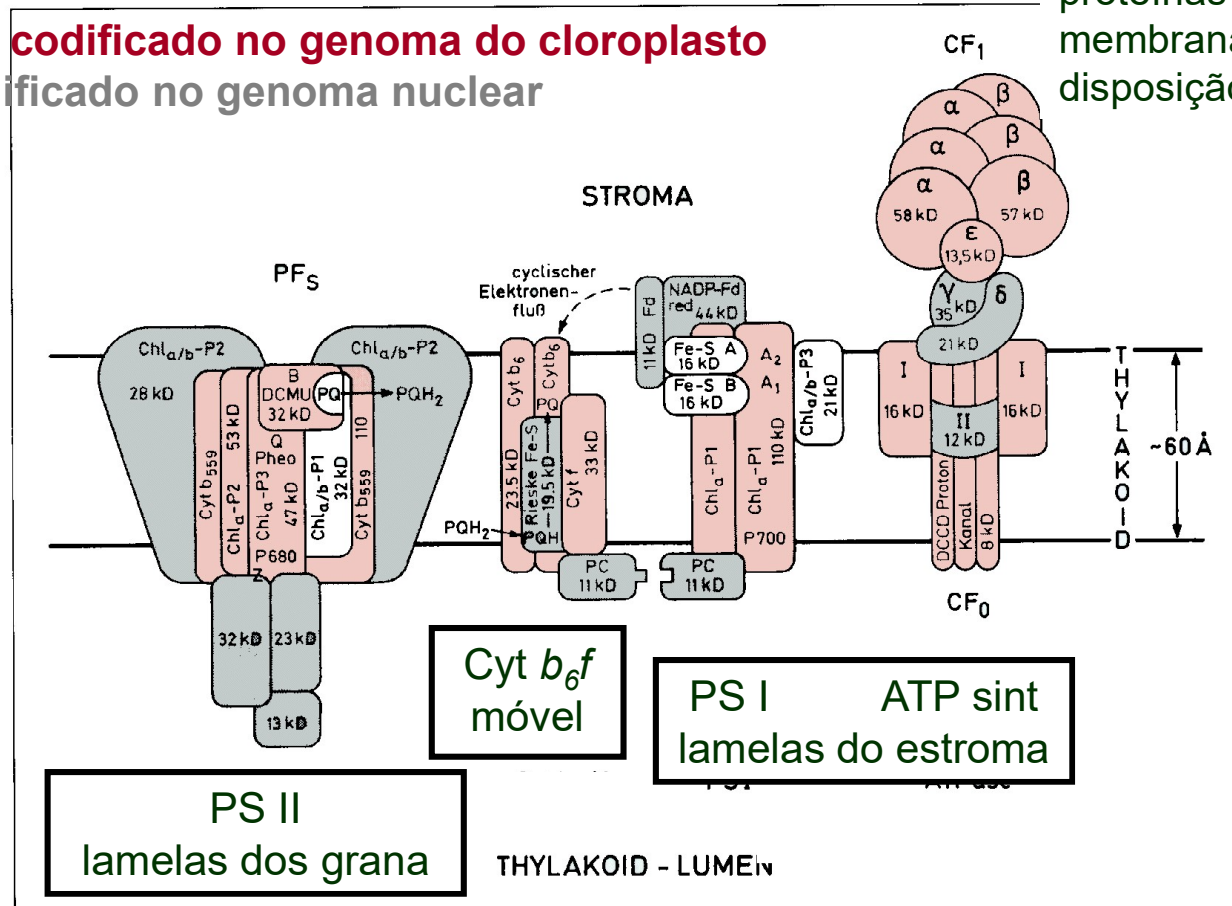
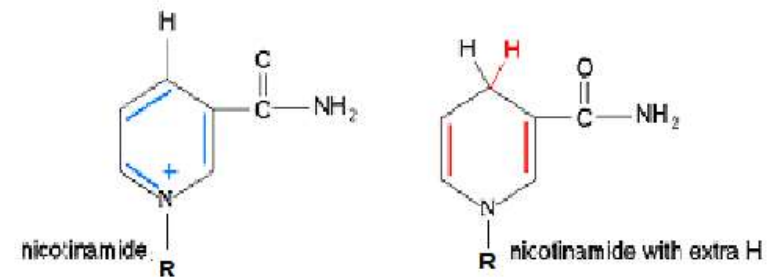
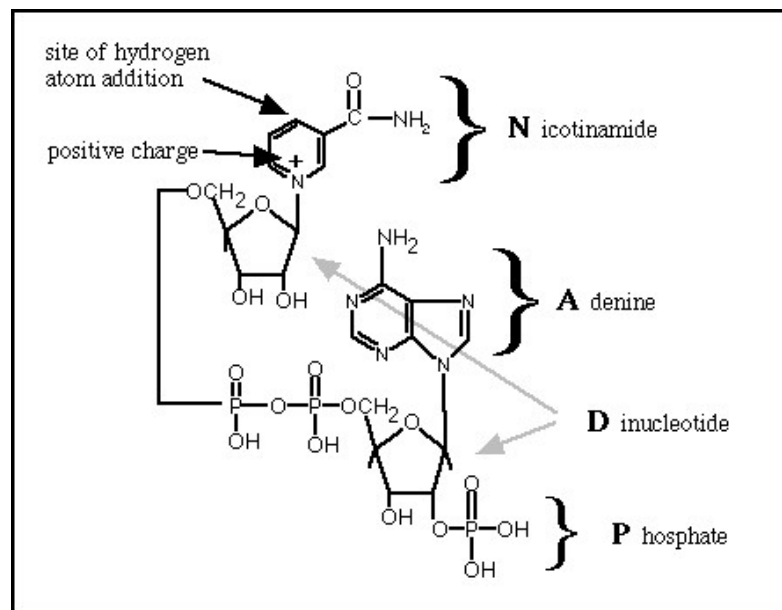
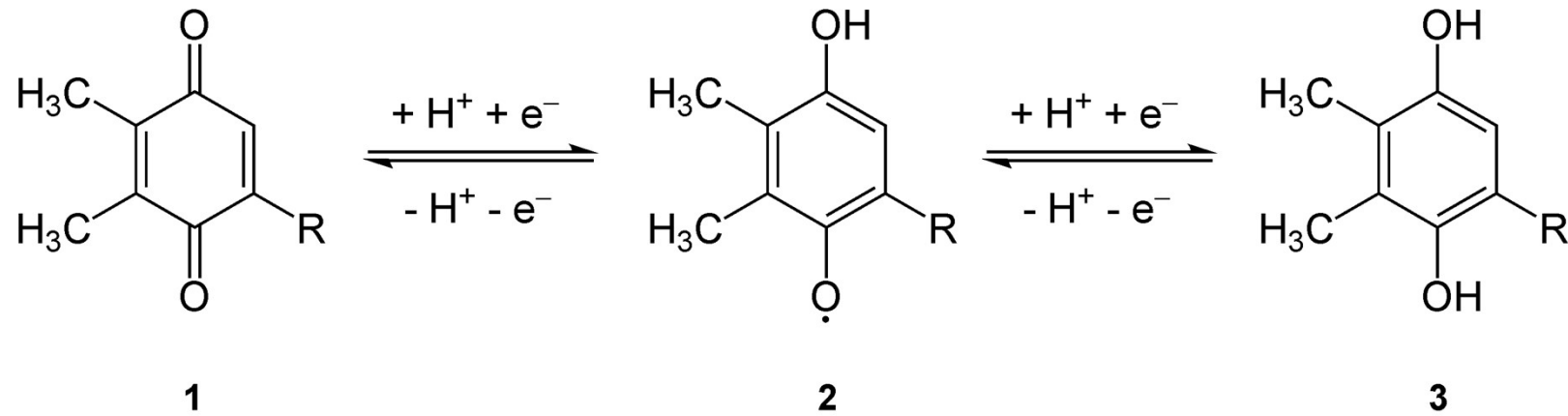
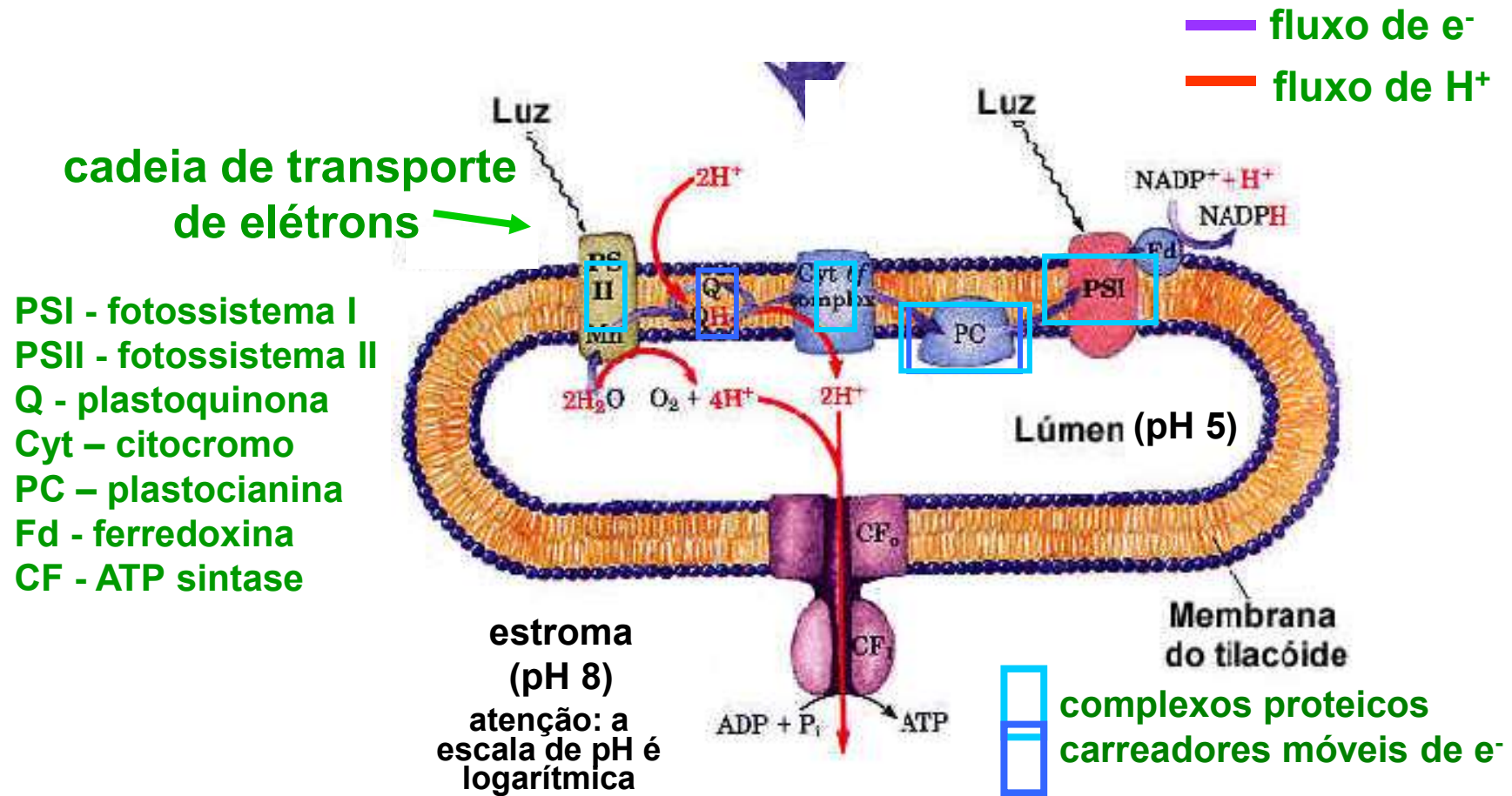


Abb. 21.26A: Modell der Thylakoidmembran (hier «Thylakoid») bei Pflanzen. Proteine, die von Genen in der Chloroplasten-DNA codiert sind, sind rot wiedergegeben. Sie werden von nichtadenylierter mRNA an Ribosomen des Chloroplasten-Stromas synthetisiert. Proteine, die von Zellkerngenen codiert sind, sind gerastert gezeichnet. Sie werden mittels polyadenylierter mRNA von den Cytoplasma-Ribosomen synthetisiert und mittels eines Transitpeptids durch die Chloroplastenhülle geschleust. – Die vier Komplexe (PS II: Photosystem II; Cyt b_6/f : Elektronentransportkette zwischen PS II und PS I; PS I: Photosystem I; ATPase: Besteht aus CF₁, ATP-Synthase, und aus CF₀, Protonenkanal). Eine Reihe von Polypeptiden sind nur durch ihre Molekularmasse charakterisiert. (Nach von Wettstein u. Oliver)

Plastoquinona



Fluxo de Elétrons Acíclico e Foto-fosforilação



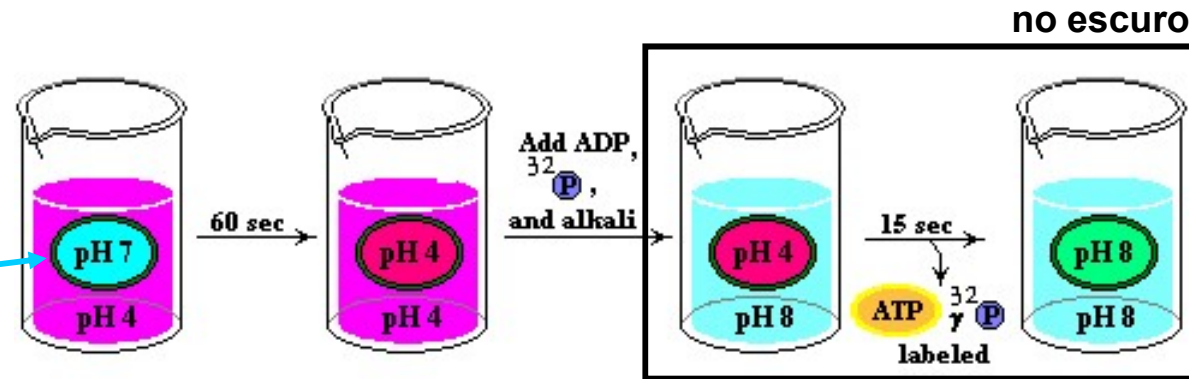
estequiometria aproximada:



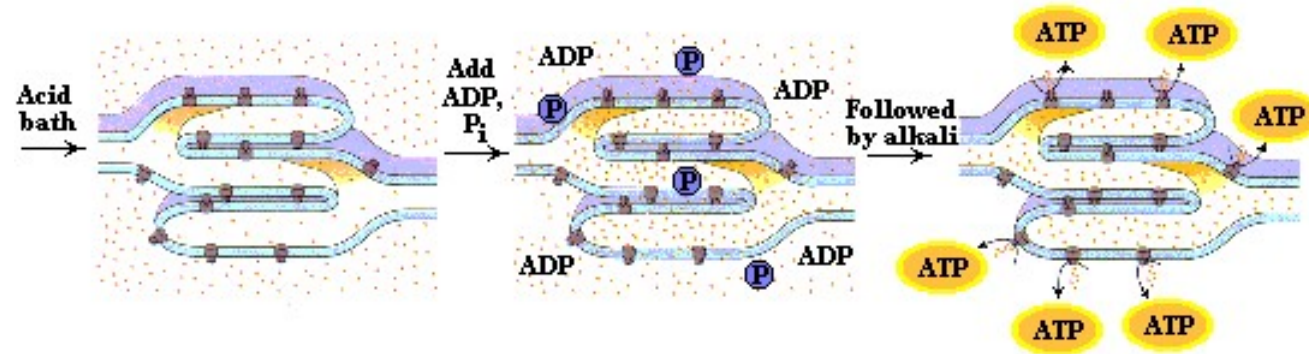
- Oito a dez fótons são necessários para gerar cada O₂.
- 8-12 H⁺ são translocados através da membrana para cada O₂ formado.
- A ATP sintase do cloroplasto produz um ATP a cada 3 - 4 H⁺ translocados.

Experimento realizado por Jagendorf, 1966

grana isolados de cloroplastos

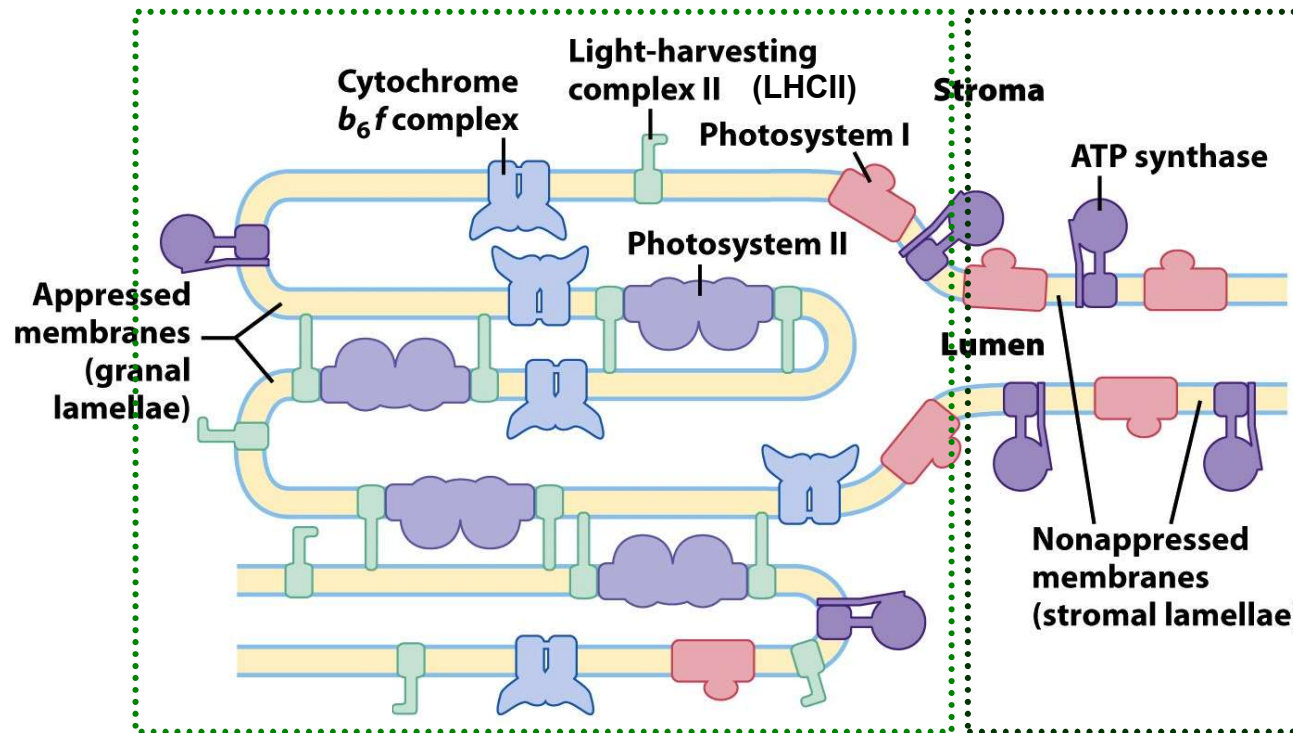


geração de ATP na ausência de luz



Demonstração da teoria quimiosmótica apresentada por P. Mitchell: diferenças de pH e potenciais elétricos através de membranas são fontes de energia que podem ser utilizadas para a síntese de ATP.

Balanceamento do fluxo de elétrons



O complexo antena II pode se associar tanto ao PII quanto ao PI

O grau de oxidação da plastoquinona determina o grau de associação de LHCII com os fotossistemas I e II

..... membrana dos tilacóides dos grana
 membranas dos tilacóides do stroma

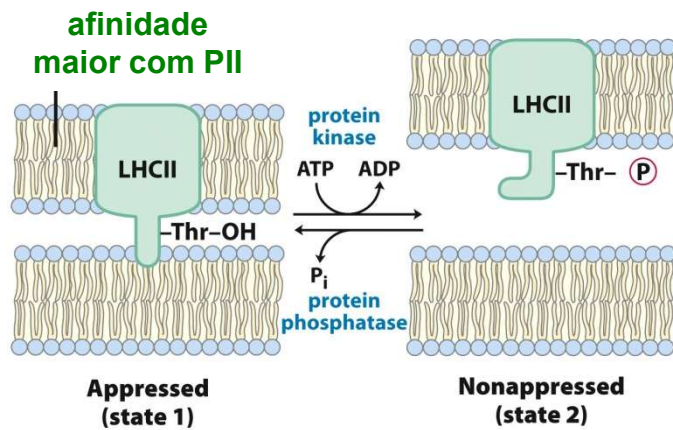
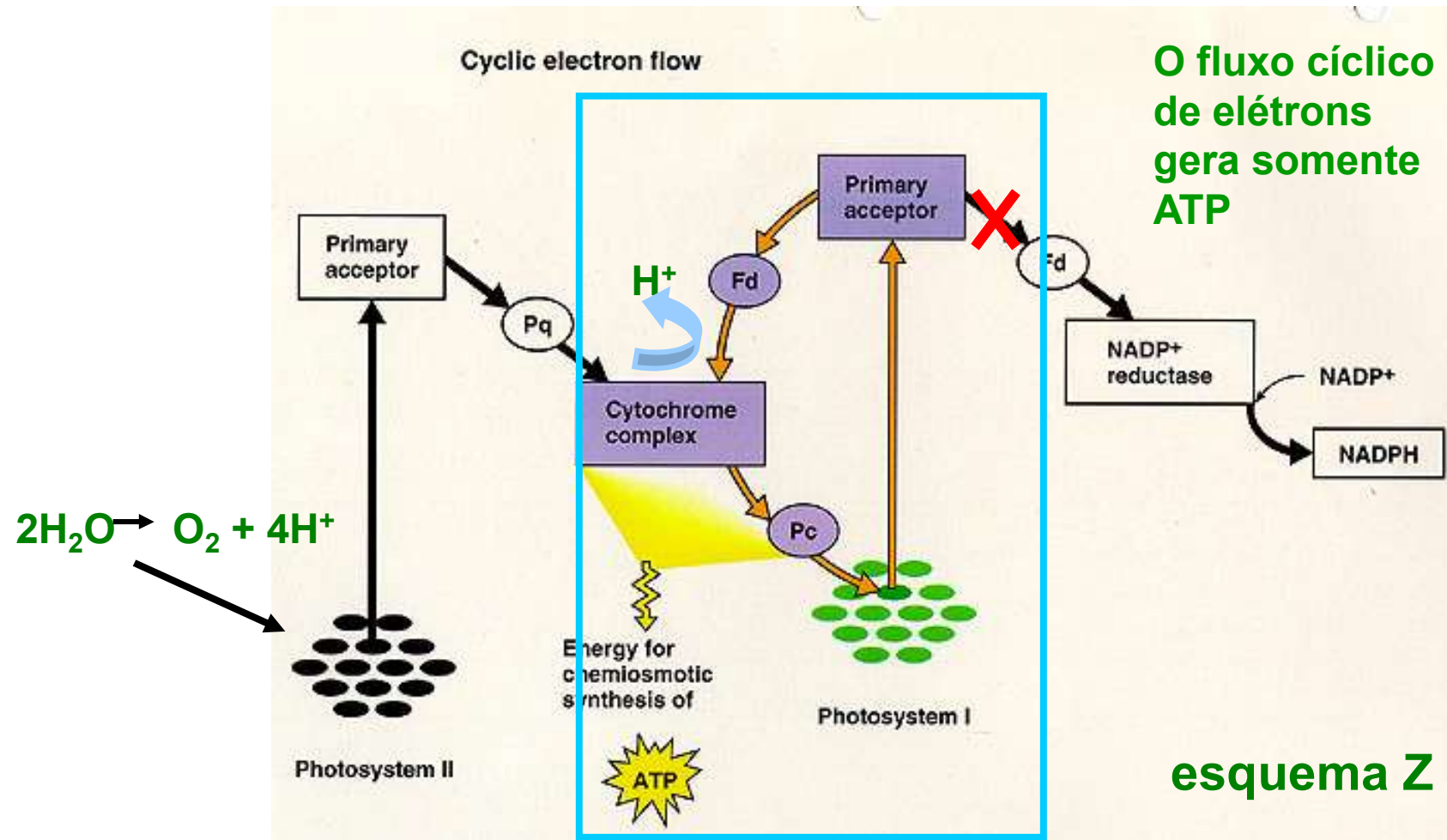


Figure 19-61
 Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Fluxo cíclico de elétrons

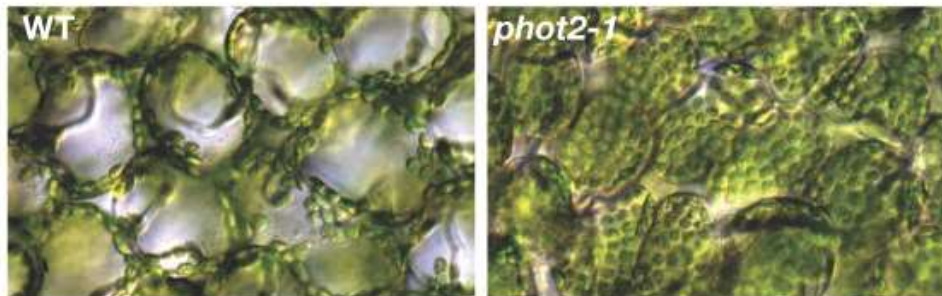


Aumenta a formação de ATP durante a fotossíntese e permite à célula regular a proporção de ATP e NADPH de acordo com as suas necessidades.

Fotoinibição



Folhas de *Alocasia* expostas a diferentes intensidades de luz



Arabidopsis - mutantes incapazes de induzir movimento em seus cloroplastos são mais suscetíveis ao excesso de luz (clorose e necrose de seus tecidos).

- epiderme sem cloroplastos
- espessura da folha diminui em plantas crescidas ao sol

Regulação da captação de luz pela planta é feita ao nível do:

- corpo da planta
- tecidos
- organelas
- fisiológico
- bioquímico

Fotoinibição

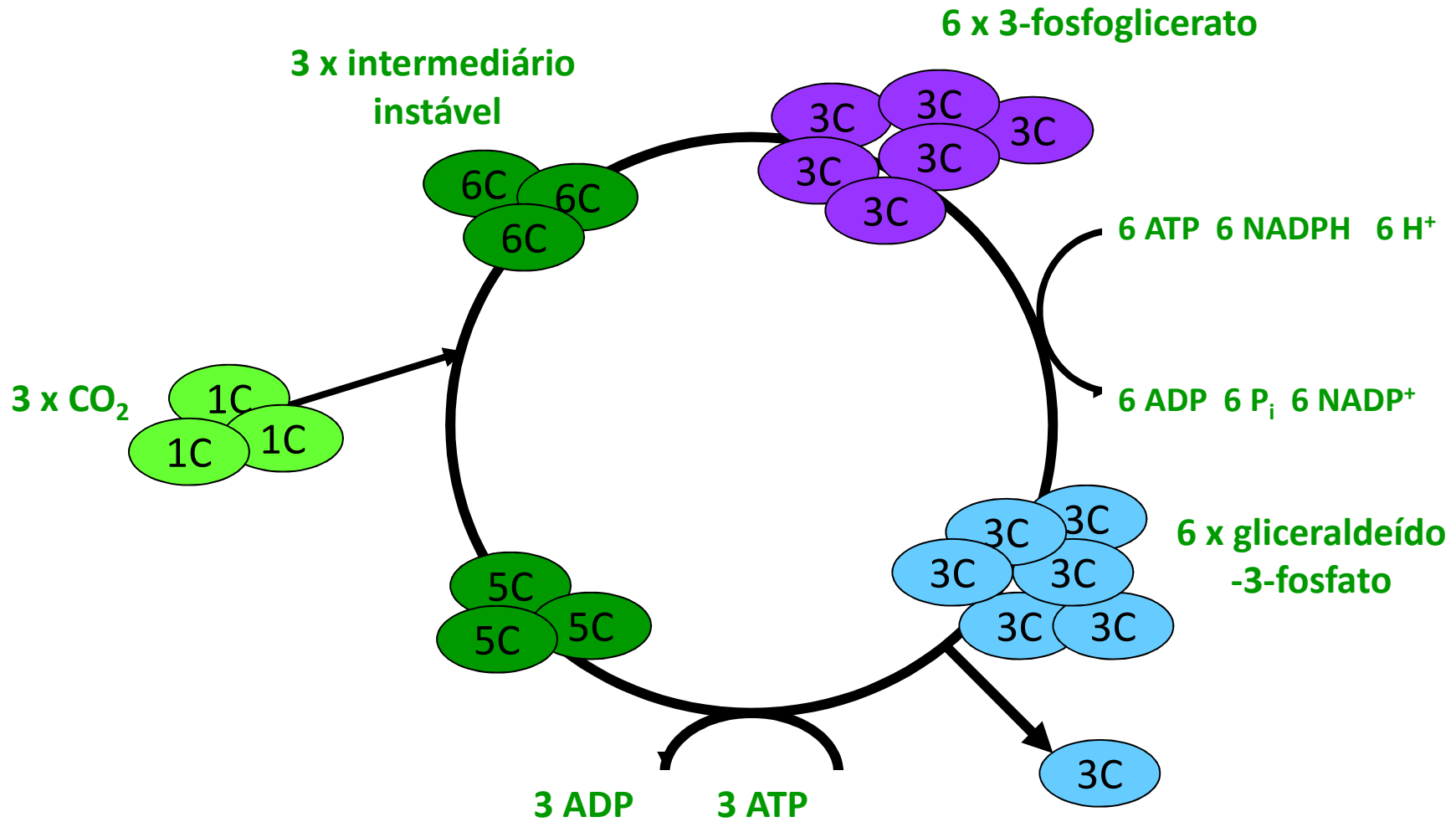
A fotoinibição ocorre quando a quantidade de luz absorvida pelas plantas é maior do que pode ser utilizada na fotossíntese.



Mecanismos de contornar a fotoinibição:

- movimento das folhas
- movimento dos cloroplastos
- “Quenching “ com perda de E na forma de calor
- agentes fotoprotetores (carotenóides, superoxide dismutase, ác. ascórbico)
- reparo e síntese “de novo” do fotossistema

Próxima aula: Reações de Fixação de Carbono Ou: Ciclo de Calvin-Benson



SITES INTERESSANTES:

Animações:

<http://vcell.ndsu.edu/animations/photosynthesis/index.htm>

<http://vcell.ndsu.edu/animations/photosystemII/index.htm>

Musicado (sciencemusicvideos):

<https://www.youtube.com/watch?v=ubIVWZpDkOw>

QUE CONFUSÃO – CORRIJA OS ERROS NAS DECLARAÇÕES

<https://www.pbslearningmedia.org/resource/mck03.pd.sci.planfoo/how-do-plants-get-their-food/>

Para ir além:

- Nelson, N. e Bem-Shen, A. 2004 Nature Reviews vol. 5 THE COMPLEX ARCHITECTURE OF OXYGENIC PHOTOSYNTHESIS
doi:10.1038/nrm1525
- Cardona et al., 2012, Biochimica Biophysica Acta, Charge separation in Photosystem II: a comparative and evolutionary overview. doi: 10.1016/j.bbabi.2011.07.012