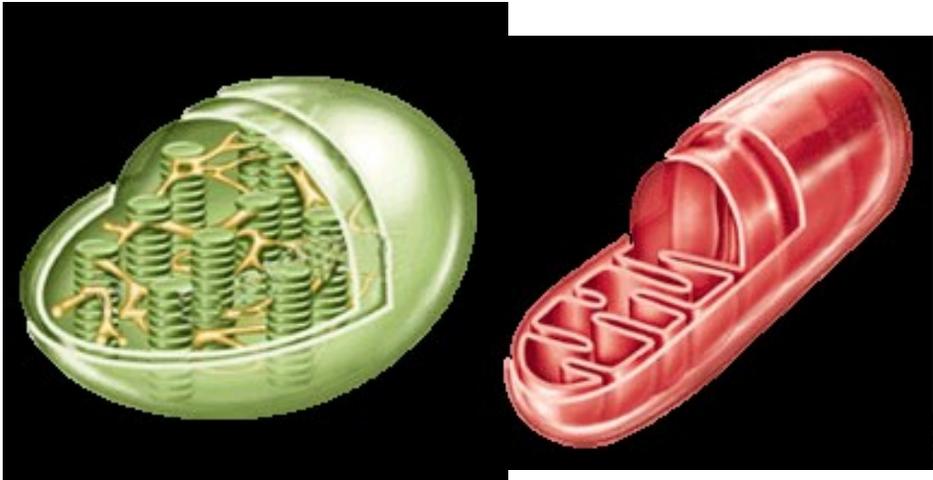


LGN0114 – Biologia Celular

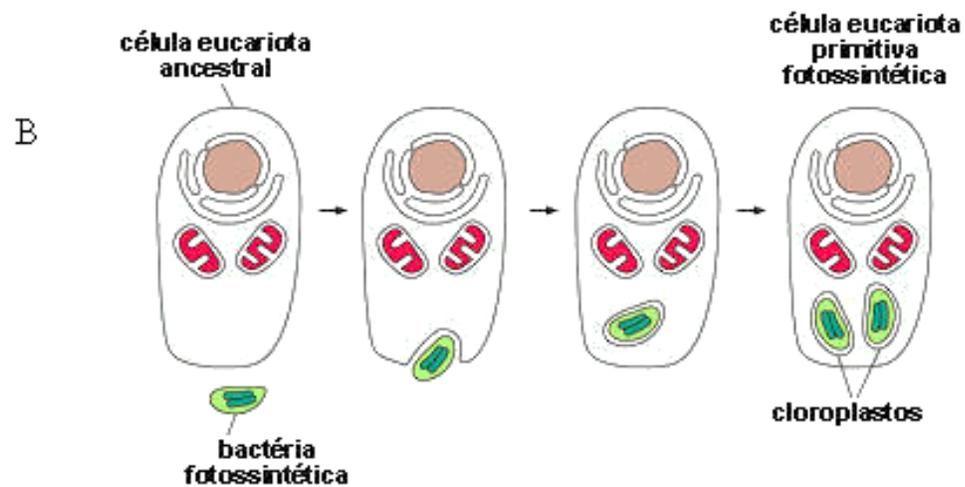
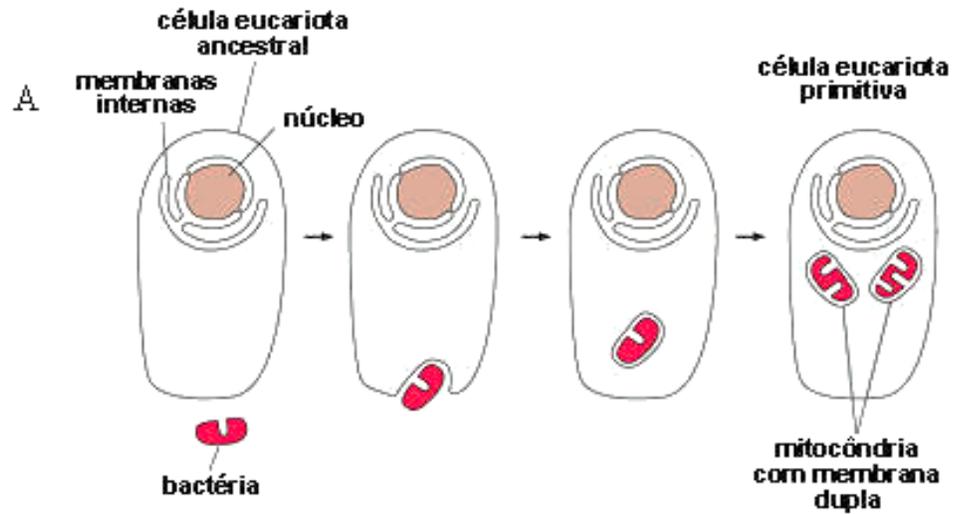
# Organelas Responsáveis pela Geração de Energia: Mitocôndria e Cloroplastos



Aula 8

Antonio Figueira  
figueira@cena.usp.br

## Possíveis mecanismos de endossimbiose da mitocôndria e do cloroplasto



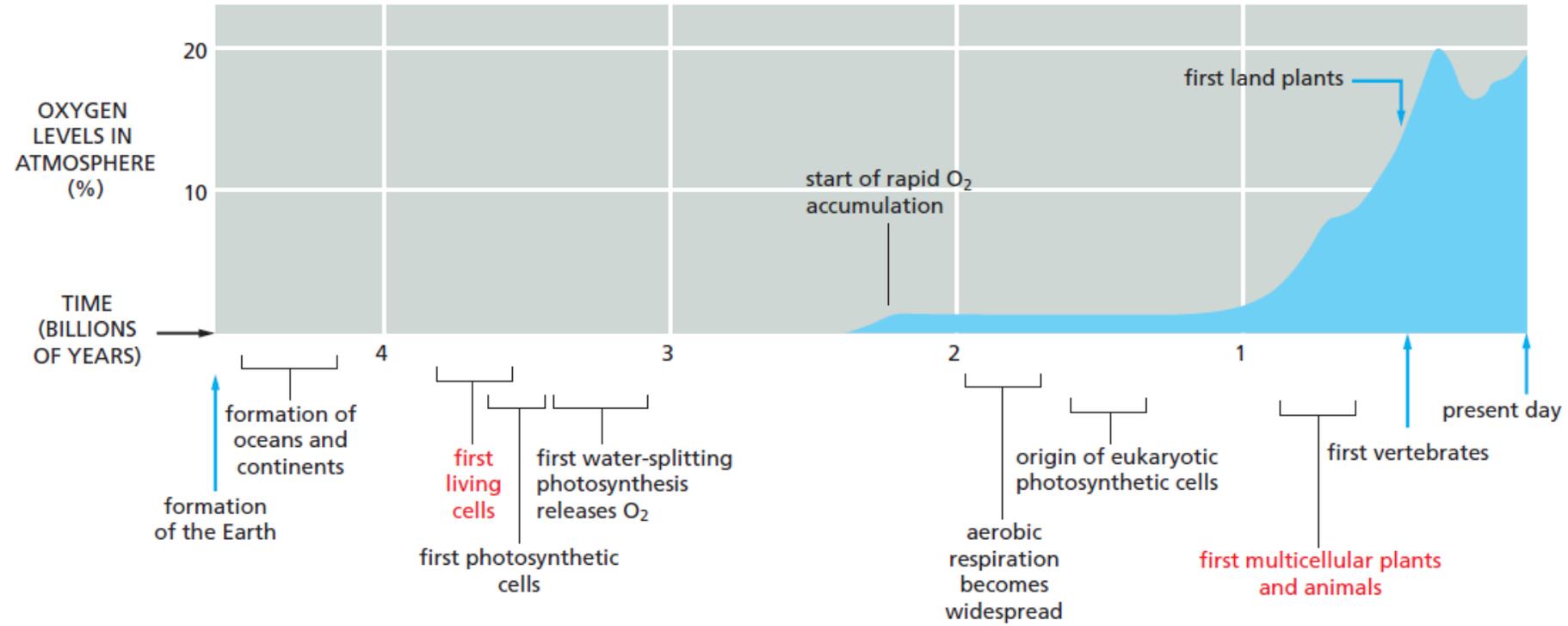
## Origem endossimbiótica

- Membrana dupla
- Genoma próprio

# Mitocôndrias e Cloroplastos

- **Geração de energia e síntese de ATP**
  - Principal moeda de energia biológica = ATP
- Transporte de elétrons pela membrana
  - conversão de nutrientes em energia: respiração
  - conversão de luz em energia: fotossíntese
- Habilidade de conversão de energia = vida
  - alteração de [O<sub>2</sub>] na atmosfera
  - geração de O<sub>2</sub> pela fotossíntese = respiração

**Maior geração de ATP - mecanismos em membranas**



# Mitocôndrias e Cloroplastos

## Mecanismo em membranas para geração de ATP

Possui 2 estágios:

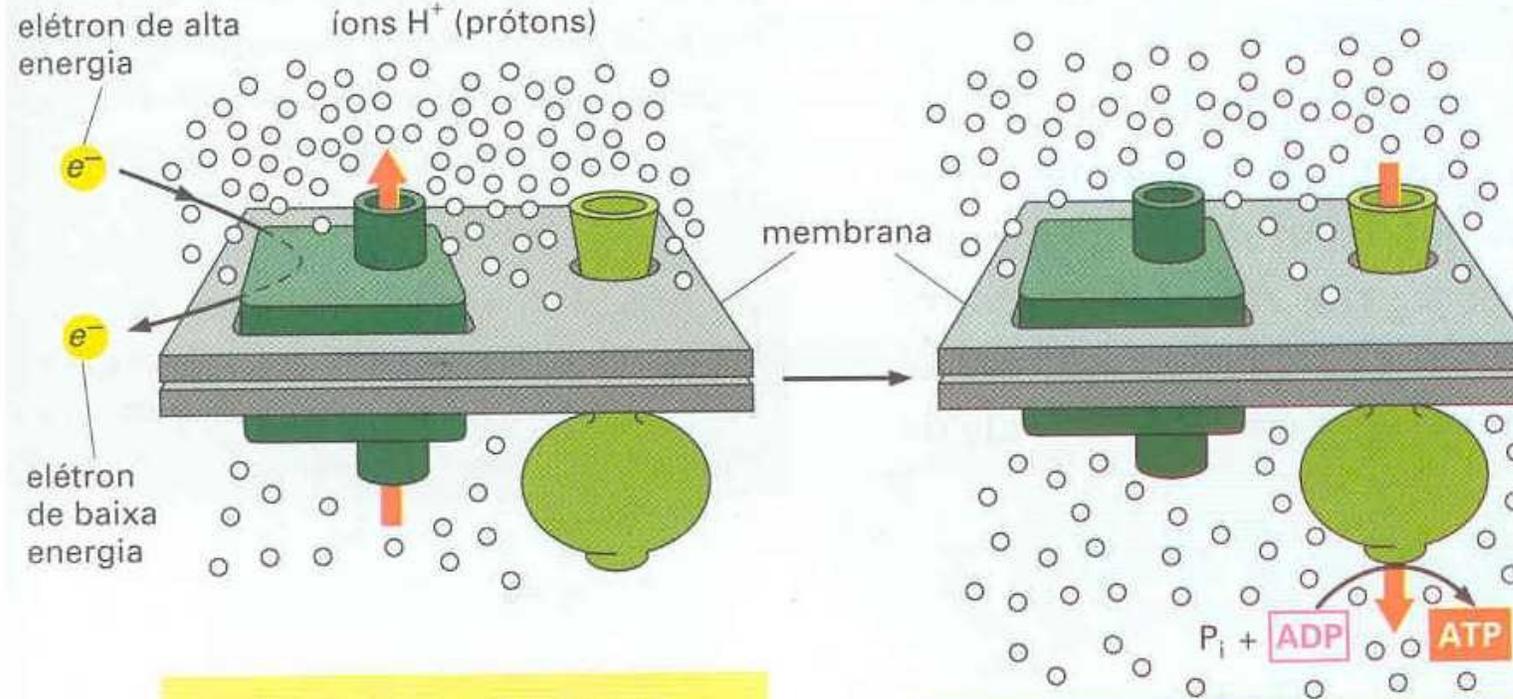
1. Elétrons derivados da oxidação de nutrientes ou da luz transferidos em cadeias transportadoras de elétrons inseridos em membrana

Energia transferida pelos elétrons serve ao bombeamento de  $H^+$  - gradiente eletroquímico = armazenamento de energia

2. Fluxo de  $H^+$  a favor de gradiente - catalisa síntese de ATP

**Acoplamento Quimiosmótico**

# Acoplamento Quimiosmótico



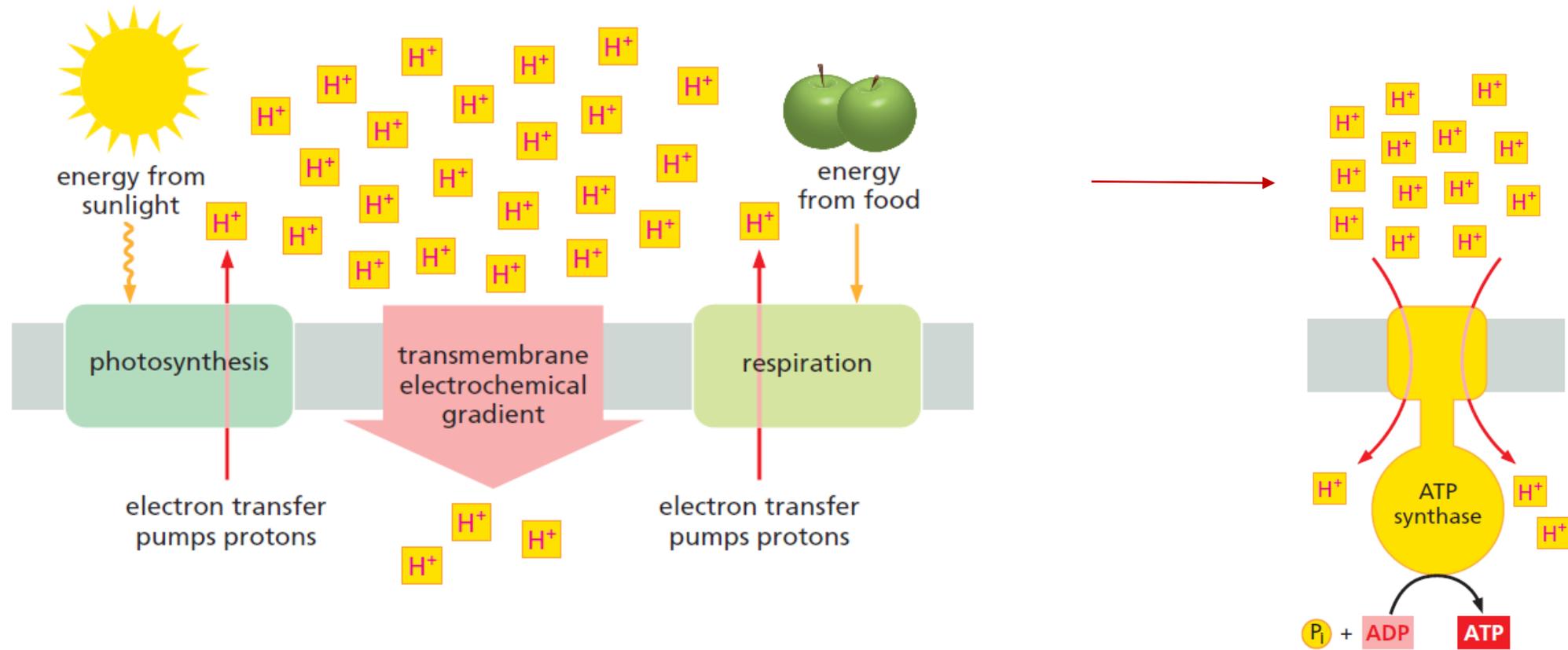
ESTÁGIO 1: O TRANSPORTE DE ELÉTRONS PROMOVE A BOMBA QUE BOMBEIA OS PRÓTONS PELA MEMBRANA.

(A)

ESTÁGIO 2: O GRADIENTE DE PRÓTONS É APROVEITADO PELA ATP-SINTASE PARA PRODUZIR ATP.

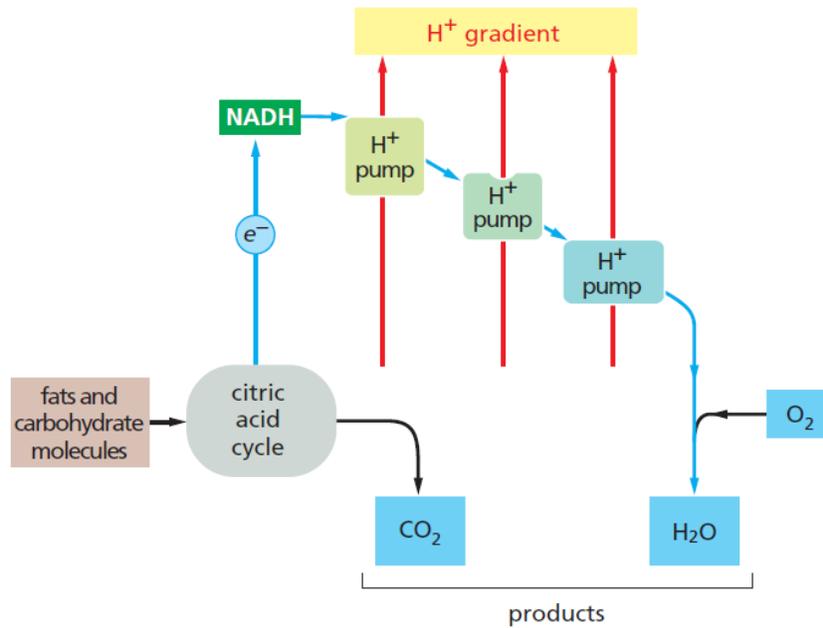
(B)

# Acoplamiento Quimiosmótico

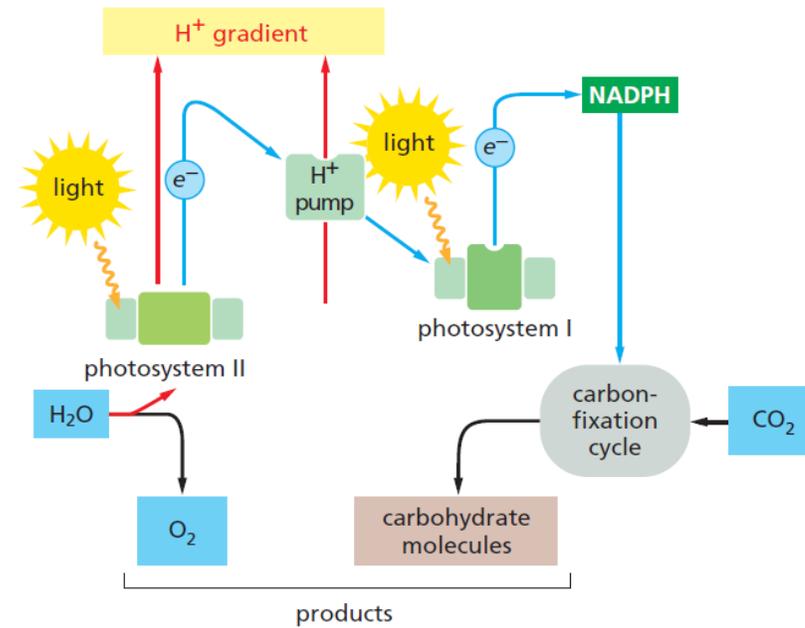


# Acoplamiento Quimiosmótico

(A) MITOCHONDRION

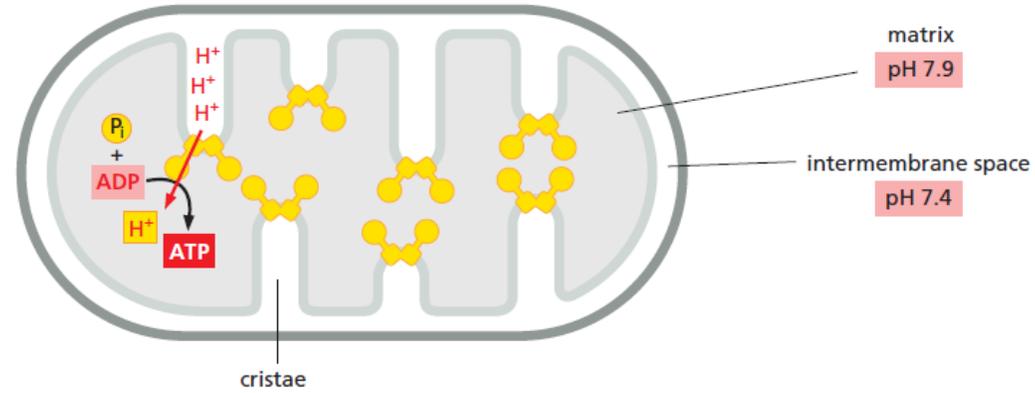


(B) CHLOROPLAST

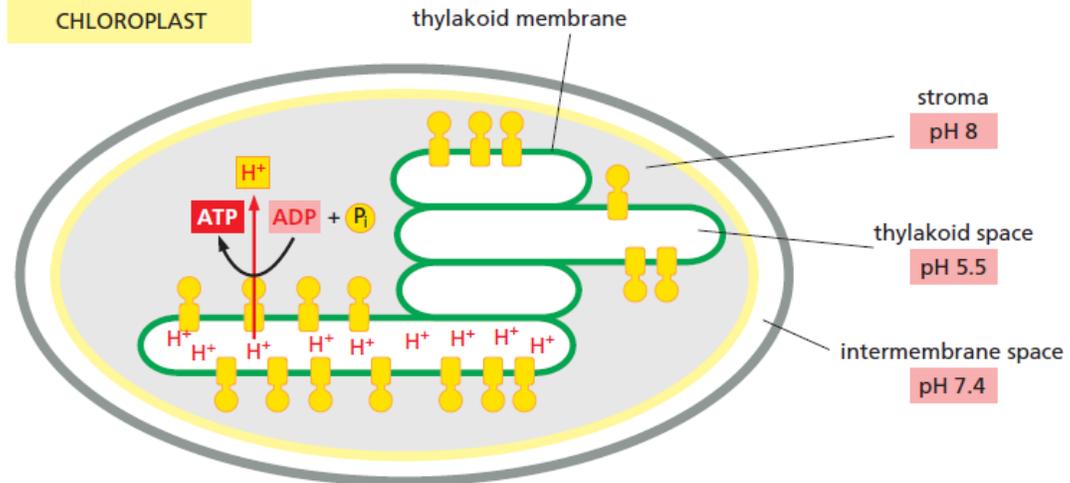


# Acoplamiento Quimiosmótico

MITOCHONDRION



CHLOROPLAST



# Mitocôndrias e Cloroplastos

## Acoplamento Quimiosmótico

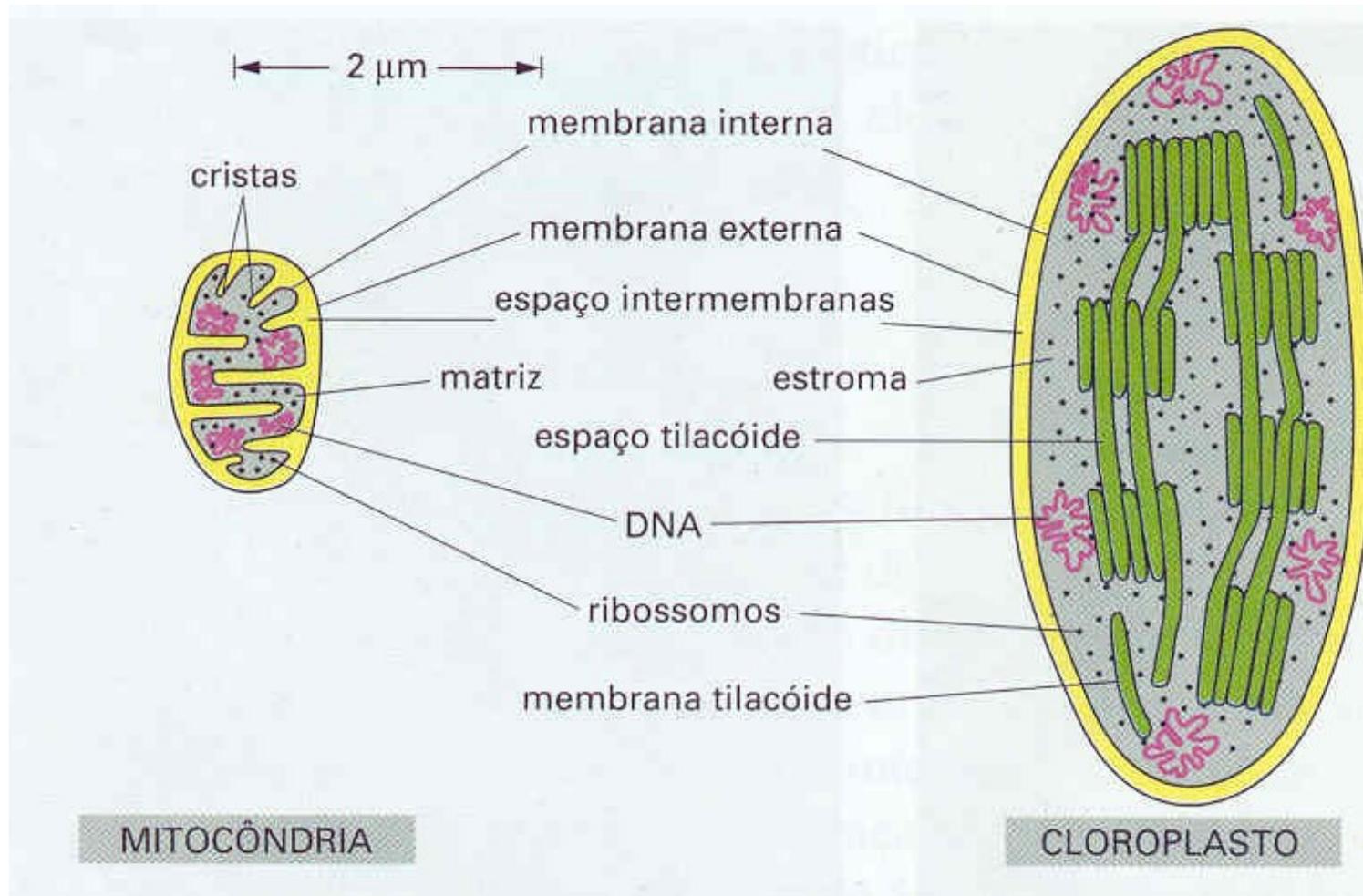
**Respiração:** oxidação de glicose e ácidos graxos para geração de elétrons

$O_2$  acceptor final dos elétrons gerando  $H_2O$

**Fotossíntese:** ação da luz na clorofila para a geração dos elétrons

$H_2O$  acceptor final dos elétrons gerando  $O_2$

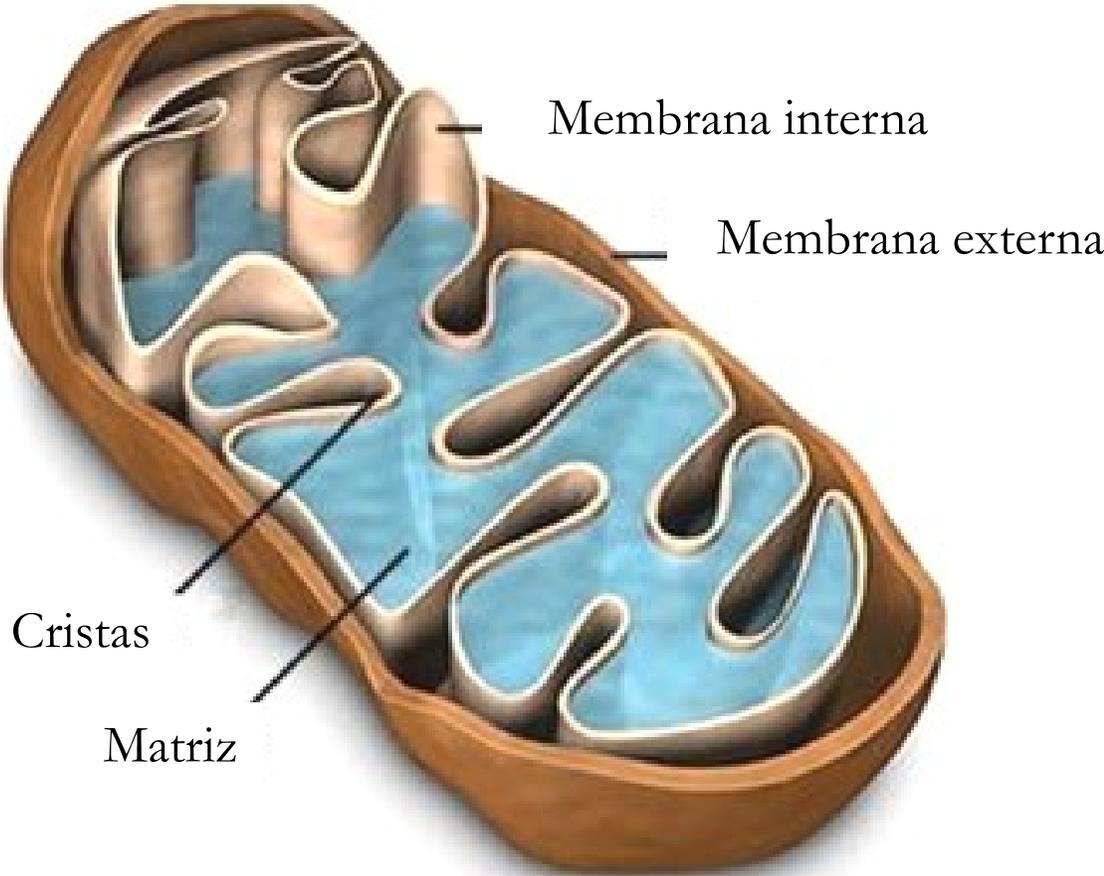
# Mitocôndrias e Cloroplastos



# Mitocôndrias

- **Mitocôndrias:** tamanho e forma similares a bactérias
- Móveis ou fixas pelo citosequeleto, presentes em grande número, pp sítio de alto uso de ATP
  - cauda de espermatozóide, músculo cardíaco,...
- Envolta por **duas membranas**, contém **matriz**, e **espaço intermembranas**
- Membrana externa: porinas = canais aquosos
  - permeável até 5.000 Daltons
- Membrana interna: com cristas, e impermeável  
sítio do transporte de elétrons; síntese de ATP; e transportadores específicos seletivos

# Mitocôndrias



mtDNA



# Mitocôndrias

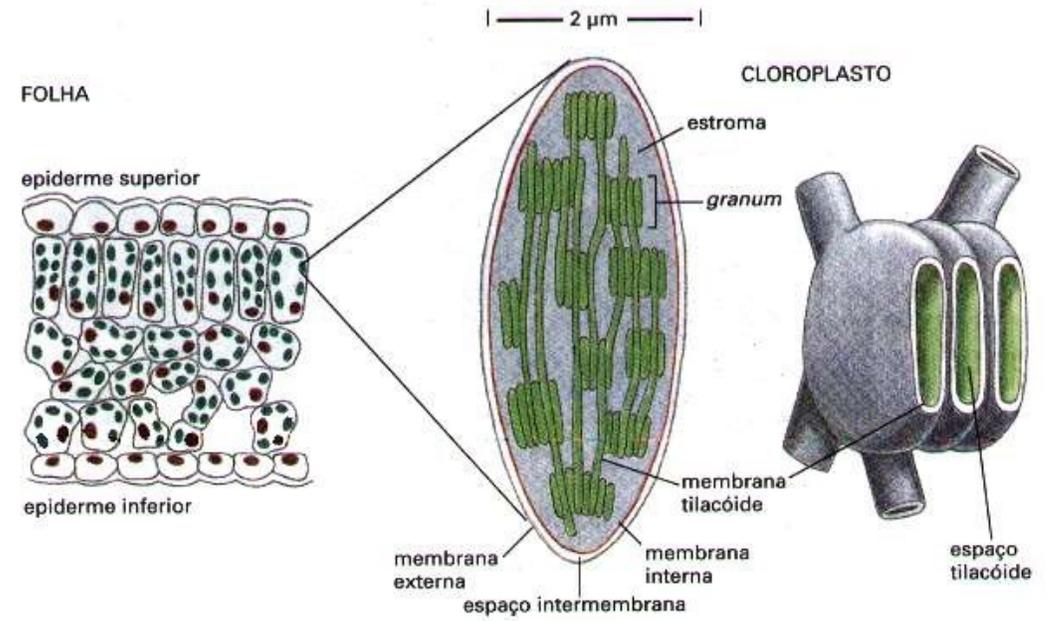
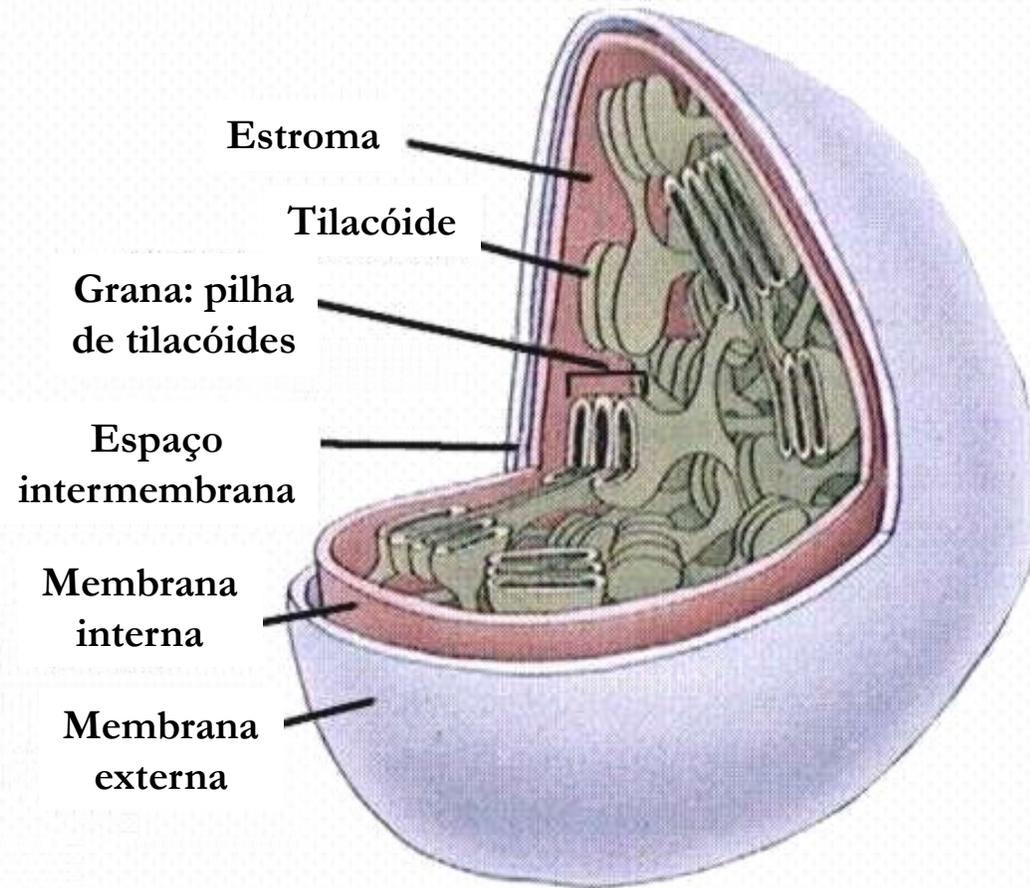
- **Matriz:** enzimas de oxidação, do ciclo do ácido cítrico, DNA e RNAs
- Função da mitocôndria em plantas: respiração
- Possuem próprio DNA, RNA, sistema de transcrição e tradução
- Transmissão variável, mas tipicamente uniparental
- Genoma mitocôndria codifica pequeno número de genes
- Sob controle de expressão gênica pelo núcleo
- Tamanho do genoma de MT em plantas – 10% codificante!!
  - 200.000 pares de bases (Kb) em *Brassica* a 2.600 Kb em *Cucumis*
    - Animais – 16.000 pares de base
- Essencialmente, mesma informação genética entre mitocôndrias de diversas espécies
- Codifica enzimas da respiração oxidativa, síntese de ATP e tradução



# Cloroplasto

- **Cloroplastos:** responsável pela fotossíntese
- Produzem ATP e NADPH
- Maiores que mitocôndrias
- Envolta por duas membranas, contém espaço intermembranas, **estroma** e membrana **tilacóides** (*granum*)
  1. **Membrana externa:** alta/ permeável
  2. **Membrana interna:** impermeável contendo transportadores seletivos
  3. **Matriz interna = estroma** – onde ficam DNA, RNA, **fixação do CO<sub>2</sub>**
  4. **Membrana tilacóide:** cadeia de transporte de elétrons, síntese de ATP e captação de luz

# Cloroplasto



Alberts *et al.*, 1997

# Cloroplasto

- Função do cloroplastos: fotossíntese, síntese de amino ácidos e ácidos graxos
- Possuem próprio DNA, RNA, sistema de transcrição e tradução
- Transmissão variável, mas tipicamente uniparental (maternal)
- Genoma circular
- Ocorrência de operons - genes de rota ou complexo comum agrupados e expressos

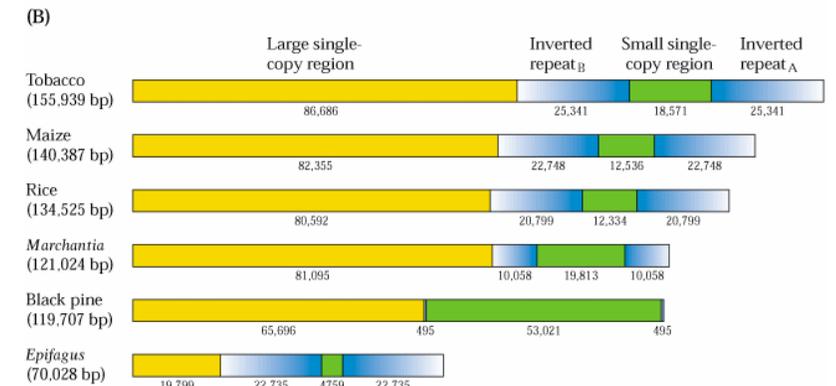
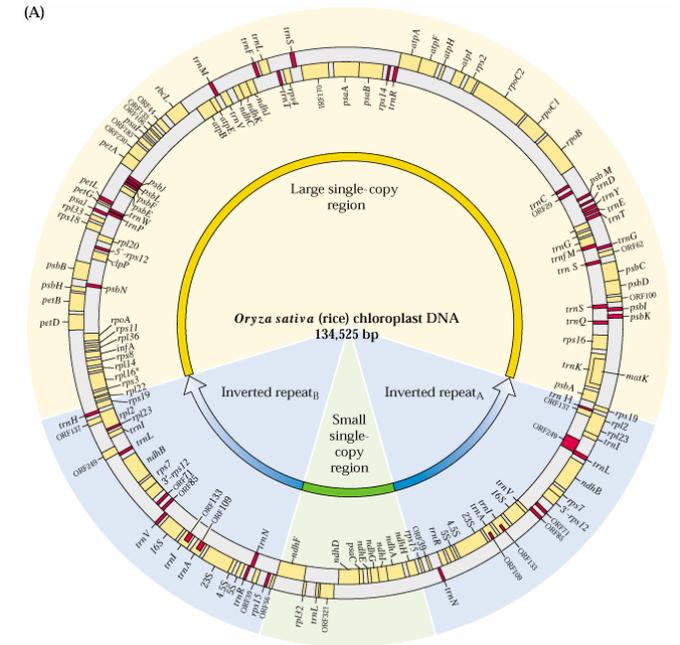
# Cloroplasto



# Cloroplasto

## Estrutura do genoma do cloroplasto:

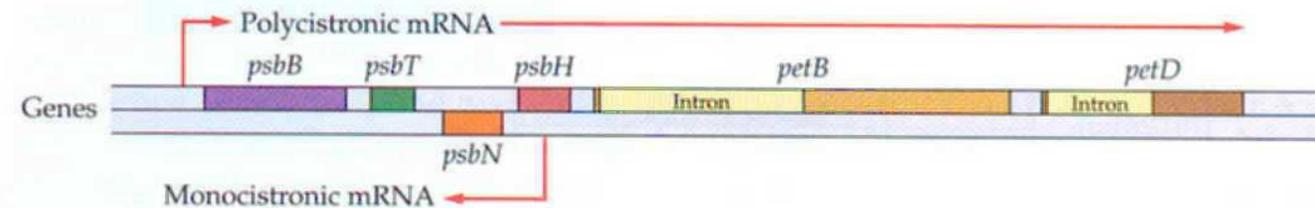
- cromossomo circular único, dividido em 4 regiões:  
 LSC = grande região de genes cópia-única  
 SSC = pequena região de genes cópia-única  
 IR = 2 regiões repetidas invertidas, separando região cópia-única
  - Homogêneo na mesma espécie
  - Tamanho variado: plantas de 120 a 160 Kbp
    - alga verde *Codium* = 89 Kbp
    - alga *Acetabularia* = 400 Kbp
- variação tamanho da região IR 0,5 a 76 Kbp



# Cloroplasto

## Estrutura do genoma do cloroplasto:

- contém todos genes rRNA e set completo de genes tRNAs
- ~100 genes únicos codificando proteínas necessárias para fotossíntese
- alguns mRNA - policistrônicos
- **maioria genes fotossíntese - origem nuclear**
  - Ex. gene da Rubisco = *rbcS* (nuclear) x *rbcL* (cloroplasto)



**Table 6.1** Genes identified in complete plastid genome sequences

Gene products	Gene acronym	Plants		Algae	
		Photosynthetic plants	<i>Epifagus</i> <sup>a</sup>	<i>Euglena</i>	<i>Porphyra</i> <sup>b</sup>
<b>Number of genes</b>		101–150	40	82	182
<b>Genetic system</b>					
rRNA	<i>rrn</i>	4	4	3	3
tRNA	<i>trn</i>	30–32	17	27	35
Ribosomal protein	<i>rps, rpl</i>	20–21	15	21	46
Other		5–6	2	4	18
<b>Photosynthesis</b>					
Rubisco and complexes of the thylakoid membrane system	e.g., <i>rbcL</i> , <i>psa, psb</i> , <i>pet, atp</i>	29–30	0	26	40
NADH dehydrogenase <sup>c</sup>	<i>ndh</i>	11	0	0	0
Biosynthesis and miscellaneous functions		1–5	2	1	40
Number of introns		18–21	6	155	0

<sup>a</sup>*Epifagus* (beechdrops) is a nonphotosynthetic, parasitic flowering plant.

<sup>b</sup>*Porphyra* is a red alga.

<sup>c</sup>The plastid genome of black pine does not encode genes for NADH dehydrogenase.

# **Geração de energia e síntese de ATP**

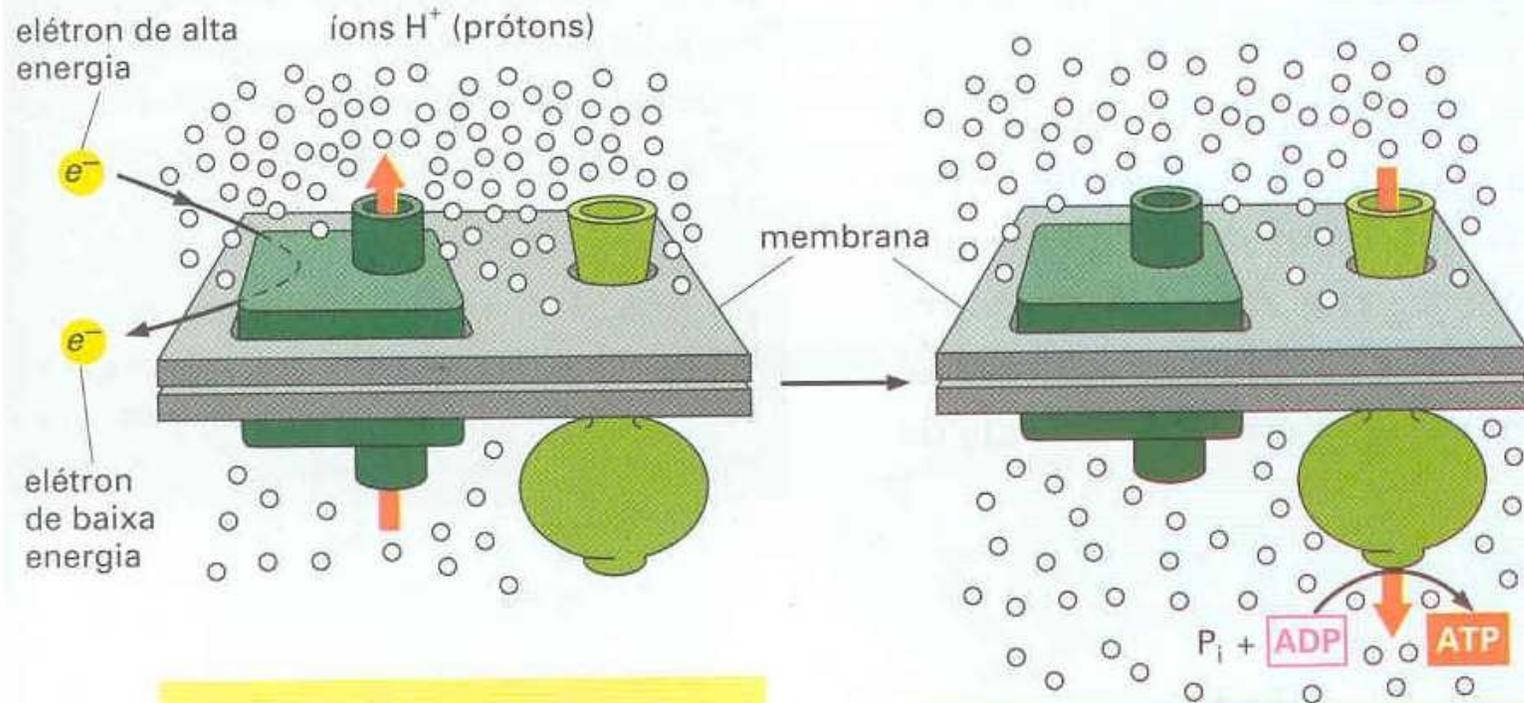
# Mitocôndrias

Geração de energia e síntese de ATP

**Ciclo do ácido cítrico** gera NADH e CO<sub>2</sub>

- NADH doa elétrons para cadeia de transportadores de elétrons
- Passagem de elétrons - bombeia H<sup>+</sup>
- O<sub>2</sub> recebe elétrons e forma H<sub>2</sub>O
- Gradiente de H<sup>+</sup> gera ATP

**Mesmo processo ocorre em bactérias aeróbicas, mas na membrana plasmática**



ESTÁGIO 1: O TRANSPORTE DE ELÉTRONS PROMOVE A BOMBA QUE BOMBEIA OS PRÓTONS PELA MEMBRANA.

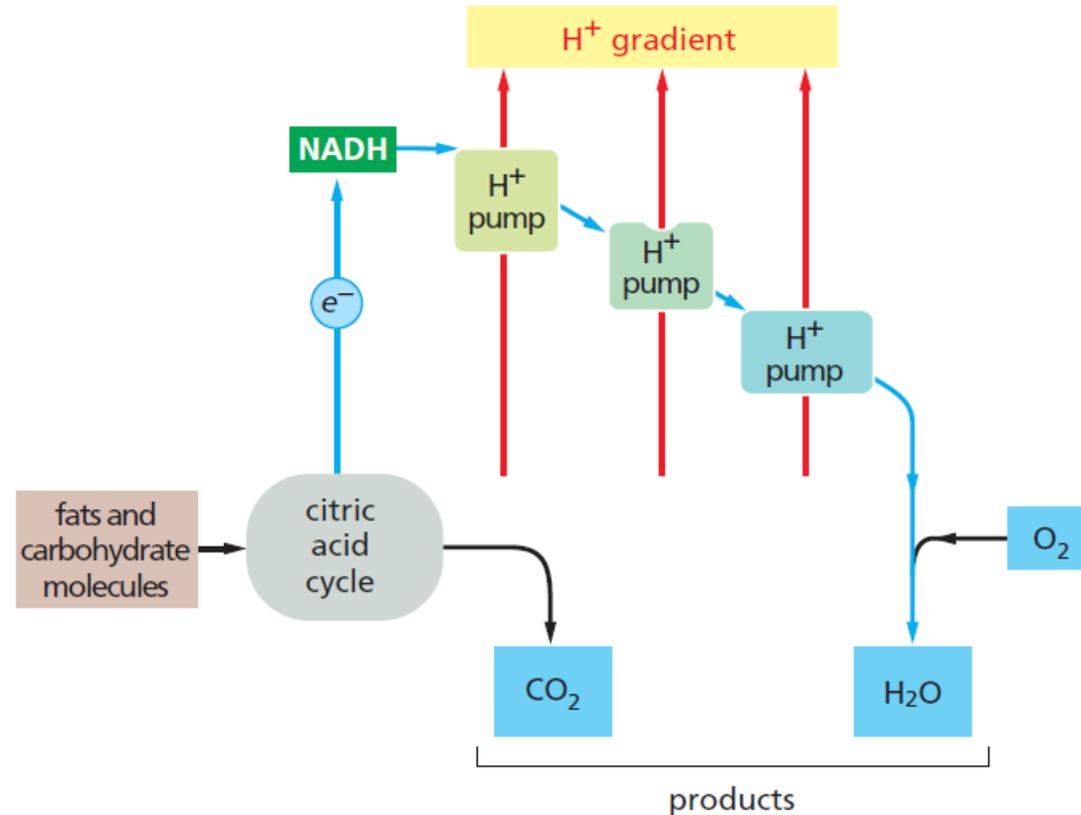
(A)

ESTÁGIO 2: O GRADIENTE DE PRÓTONS É APROVEITADO PELA ATP-SINTASE PARA PRODUIR ATP.

(B)

# Cadeia de transportadores de elétrons acoplada ao bombeamento de prótons

(A) MITOCHONDRION

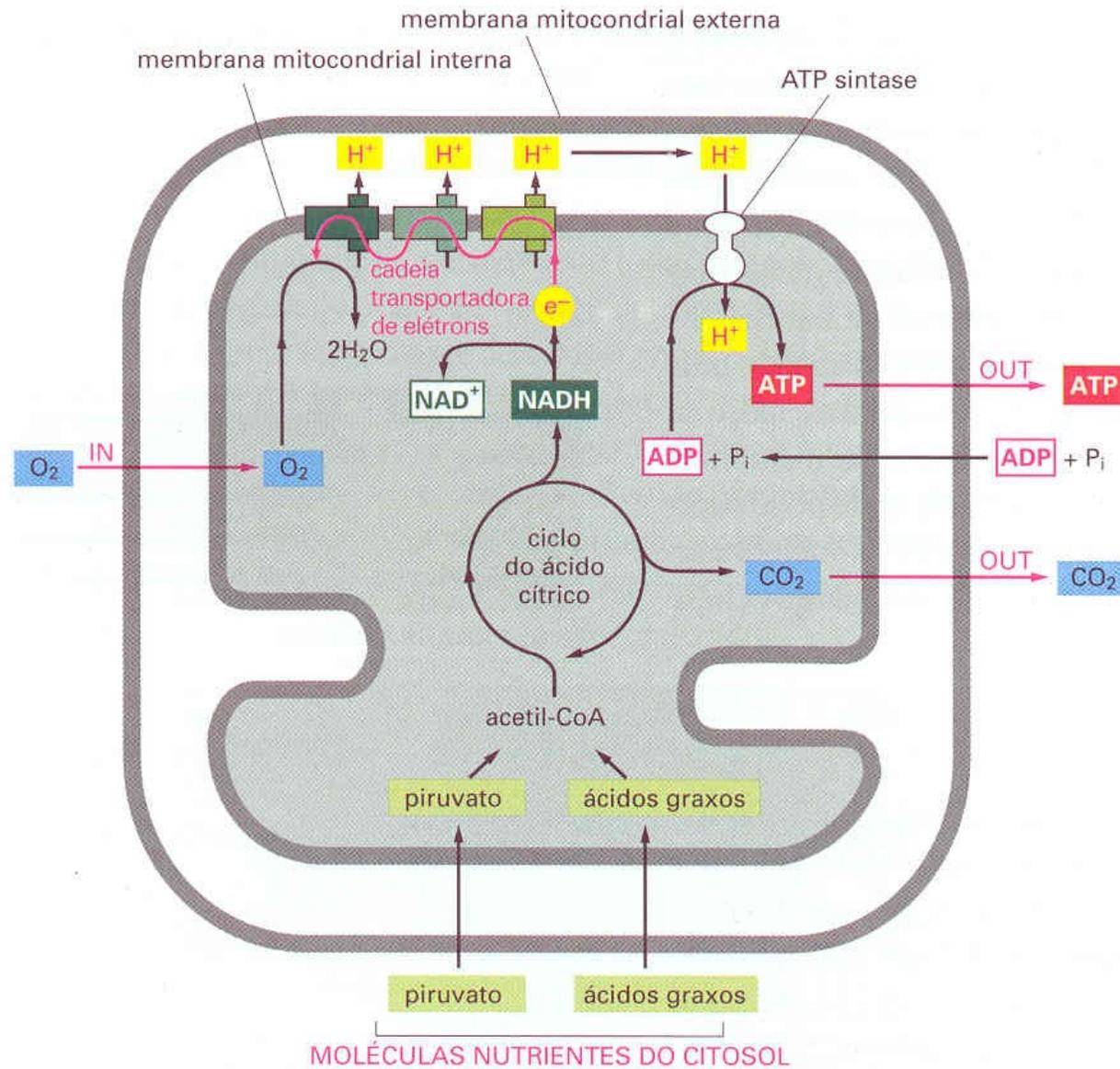


# Mitocôndrias

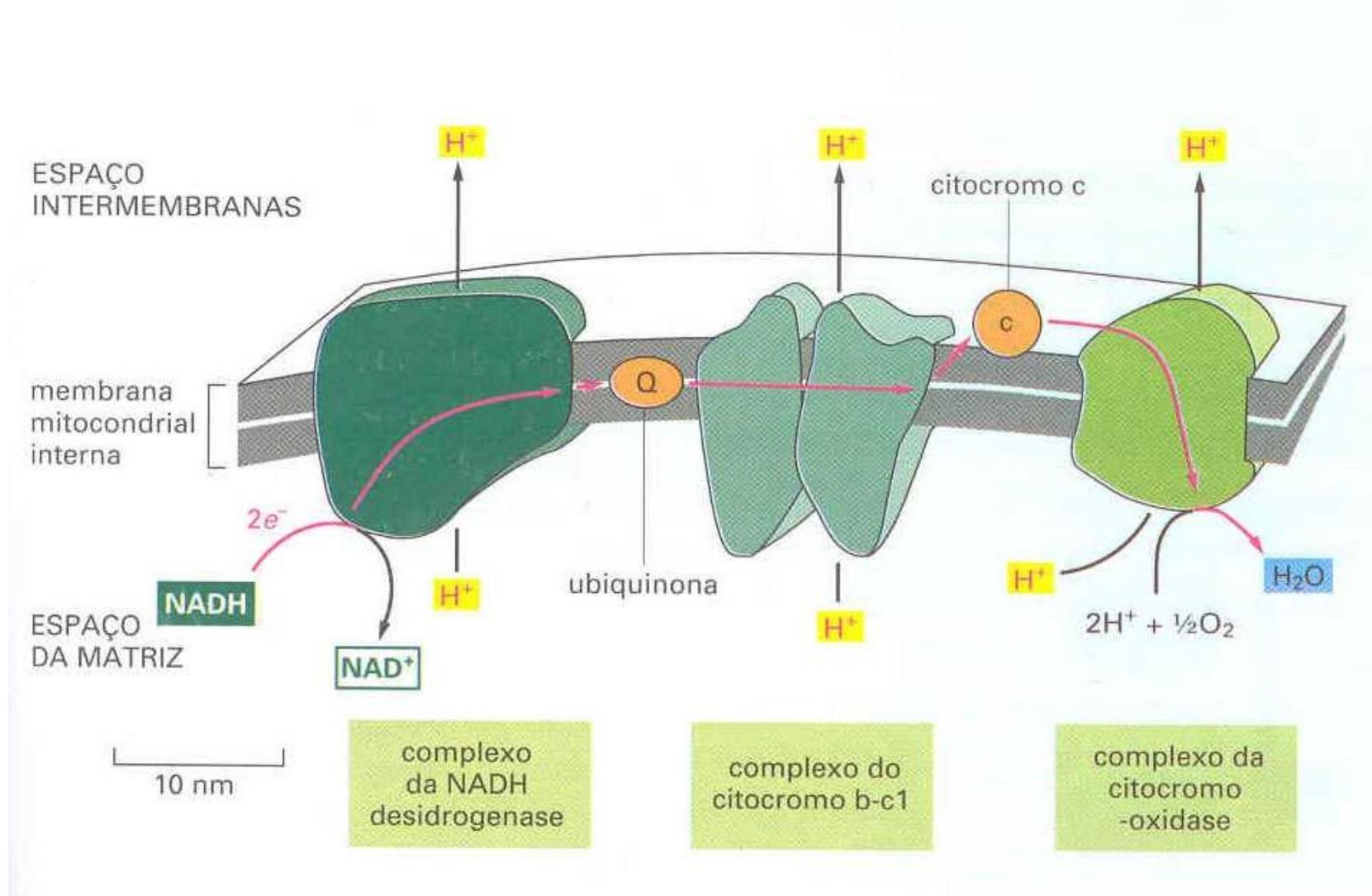
## Oxidação fosforilativa:

- Glicólise: glicose a piruvato - pouca energia gerada – 2 ATPs
  - $2 \text{ ATPs} \times 30 \text{ ATPs} = < 10\%!!$
- **Ciclo do ácido cítrico - gera  $\text{CO}_2$  e NADH**
- **NADH - transporta elétrons de alta energia**
- Transferidos membrana mitocondrial interna
- Cadeia transportadora de elétrons - **membrana**
- **Três complexos de proteínas:**
  - complexo NADH desidrogenase
  - complexo citocromo b-c
  - complexo citocromo-oxidase

# Respiração celular



# Transporte de elétrons



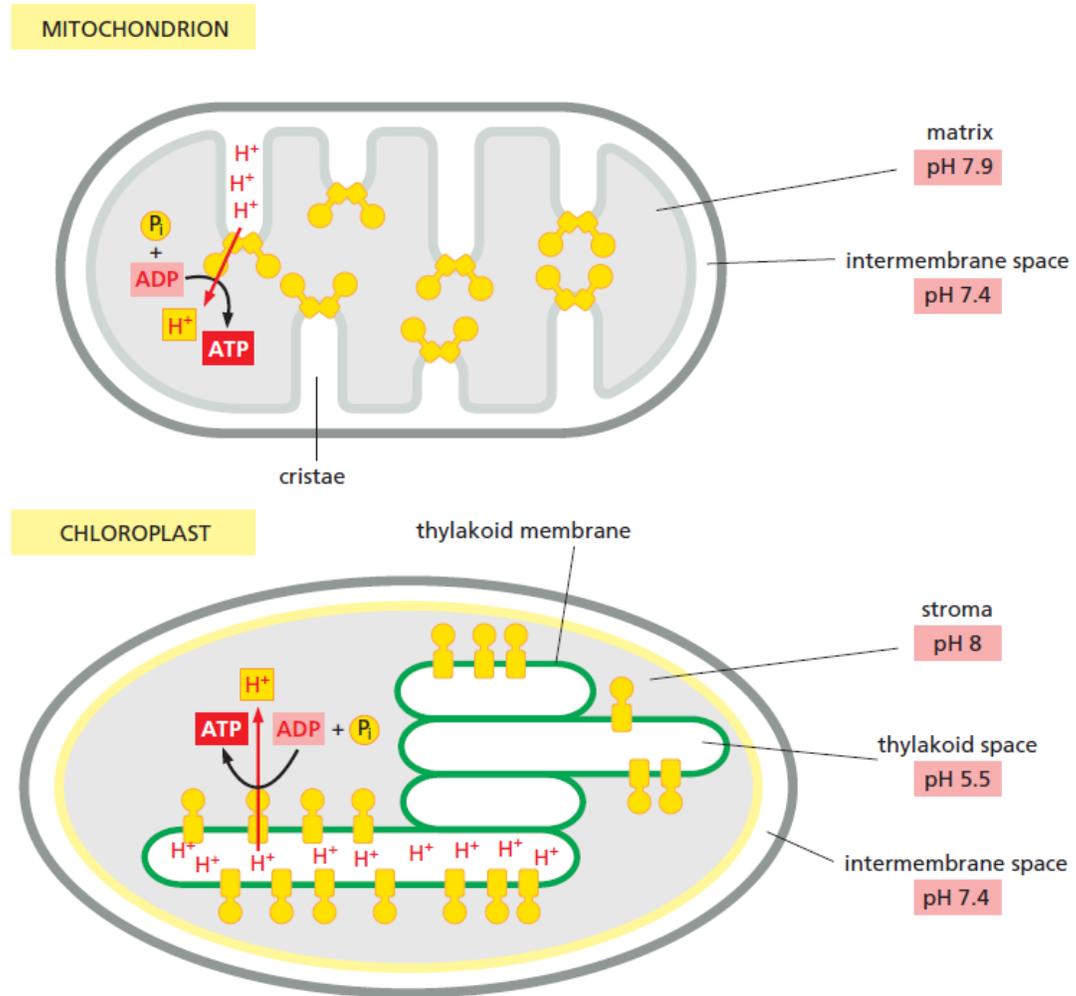
animação

# Mitocôndrias

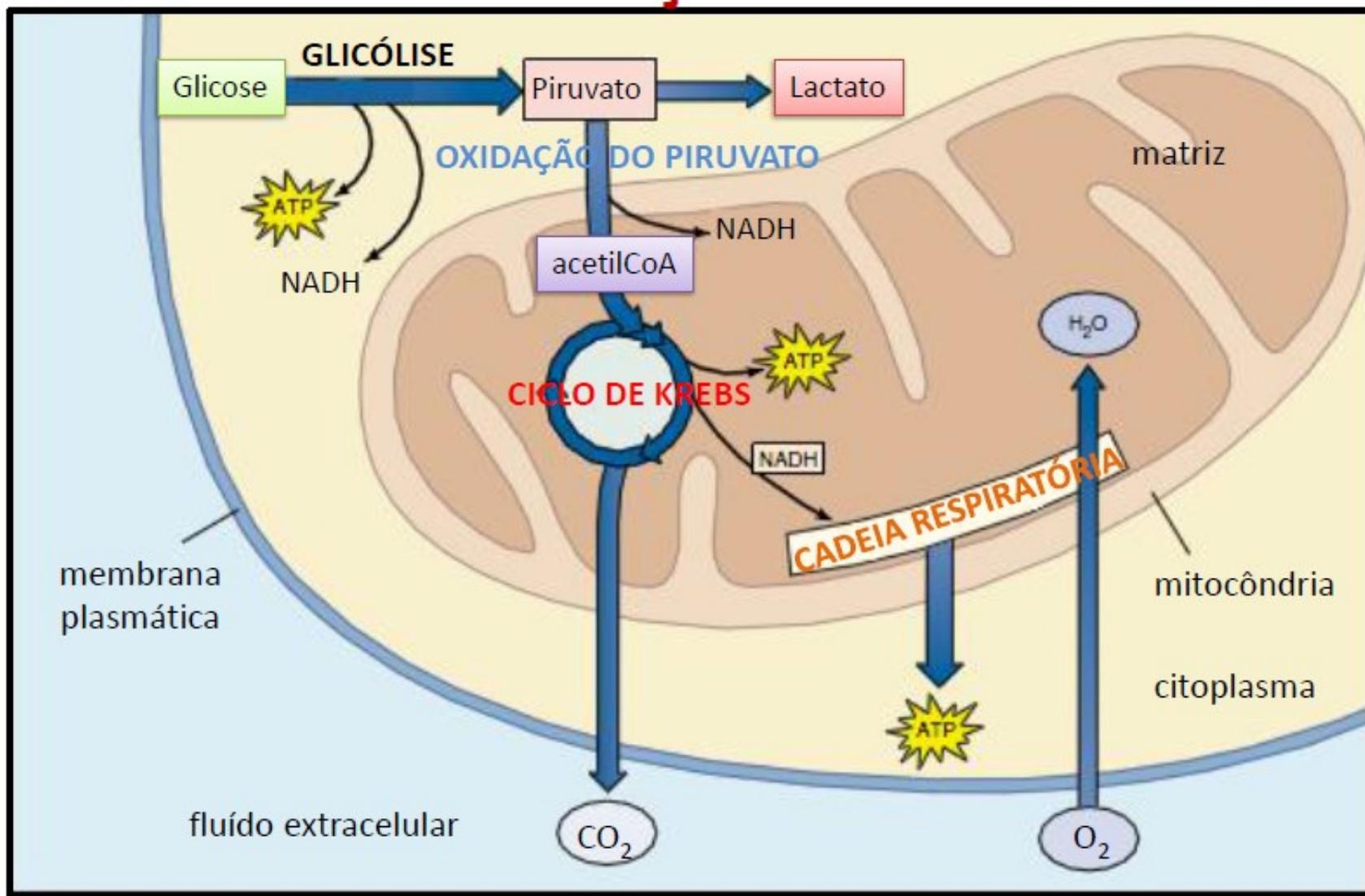
## Oxidação fosforilativa:

- transferência de elétrons - bombear  $H^+$
- captação de  $H^+$  na matriz mitocondrial e liberação no espaço intermembrana
- formação de gradiente de concentração de  $H^+$  (pH) e eletroquímico (cargas)
- fluxo passivo de  $H^+$  proporcional ao gradiente eletroquímico e de pH, gerando ATP
- ATP-sintase - grande complexo proteico com subunidades = “turbina”
- Glicólise = 2 ATPs
- Oxidação fosforilativa = 30 ATPs

# Acoplamiento Quimiosmótico



# PRODUÇÃO DE ATP



\*\*\*Respiração: Glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória.

# GLICÓLISE

## CITOPLASMA!!

1. Phosphorylation of glucose by ATP.

2-3. Rearrangement, followed by a second ATP phosphorylation.

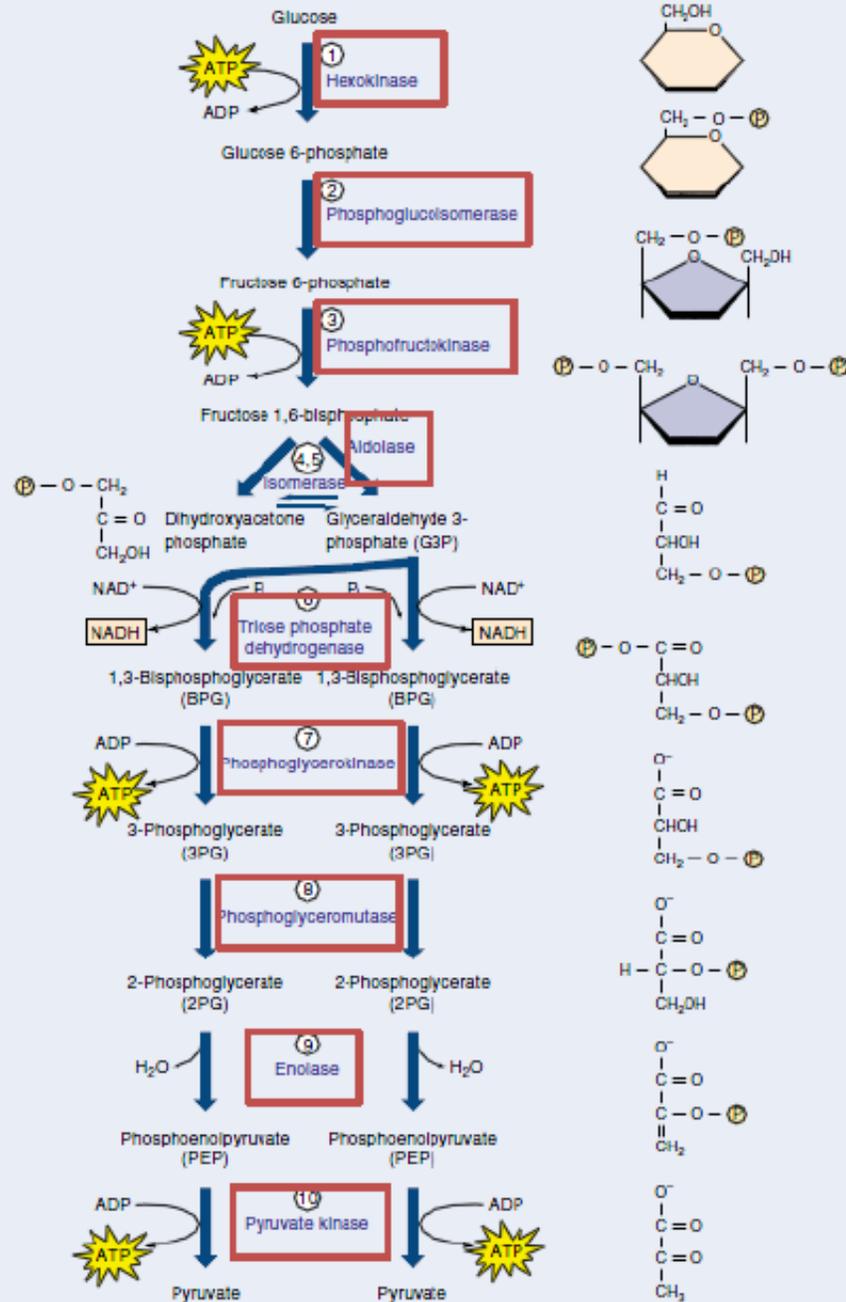
4-5. The six-carbon molecule is split into two three-carbon molecules—one G3P, another that is converted into G3P in another reaction.

6. Oxidation followed by phosphorylation produces two NADH molecules and two molecules of BPG, each with one high-energy phosphate bond.

7. Removal of high-energy phosphate by two ADP molecules produces two ATP molecules and leaves two 3PG molecules.

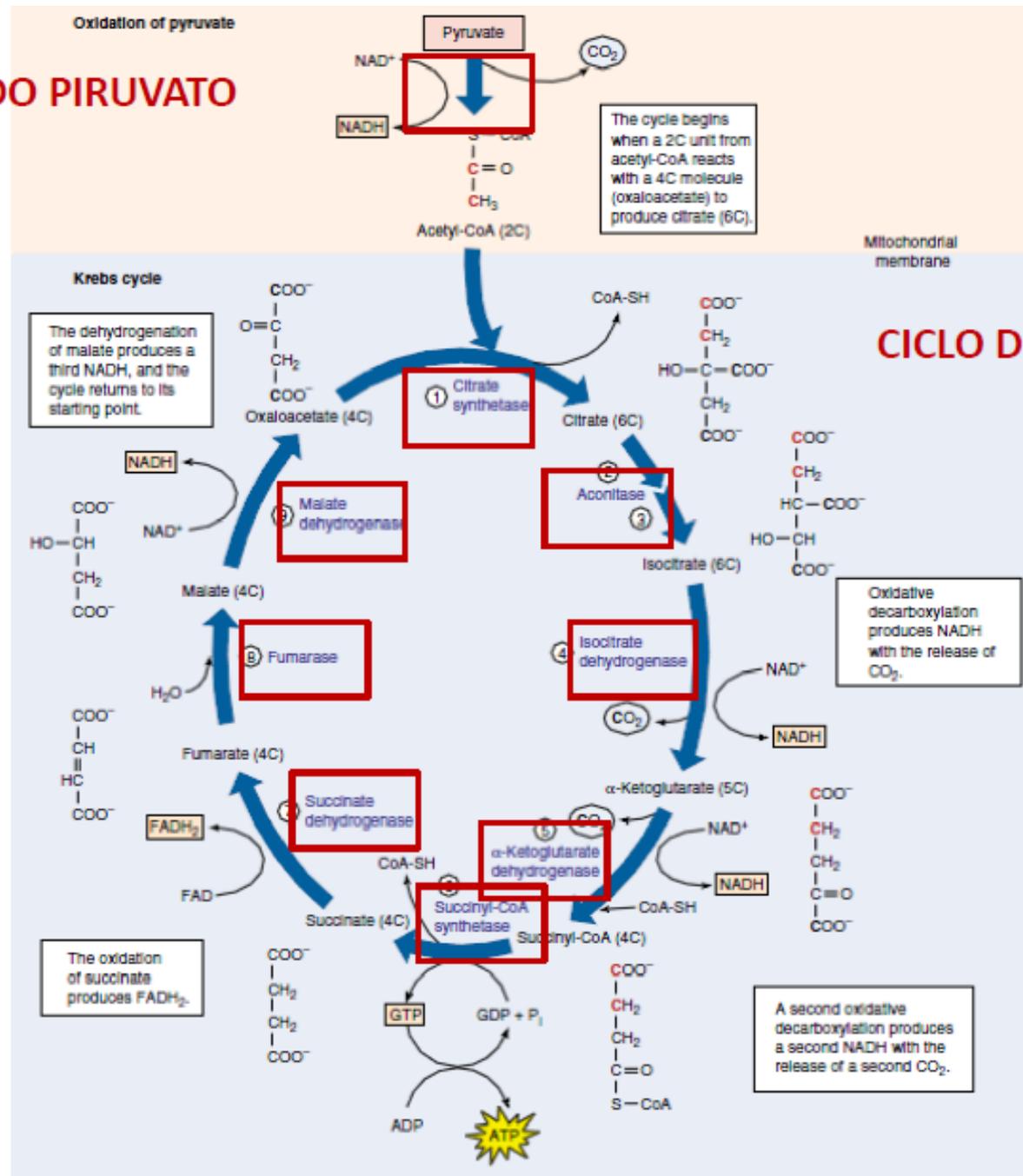
8-9. Removal of water yields two PEP molecules, each with a high-energy phosphate bond.

10. Removal of high-energy phosphate by two ADP molecules produces two ATP molecules and two pyruvate molecules.



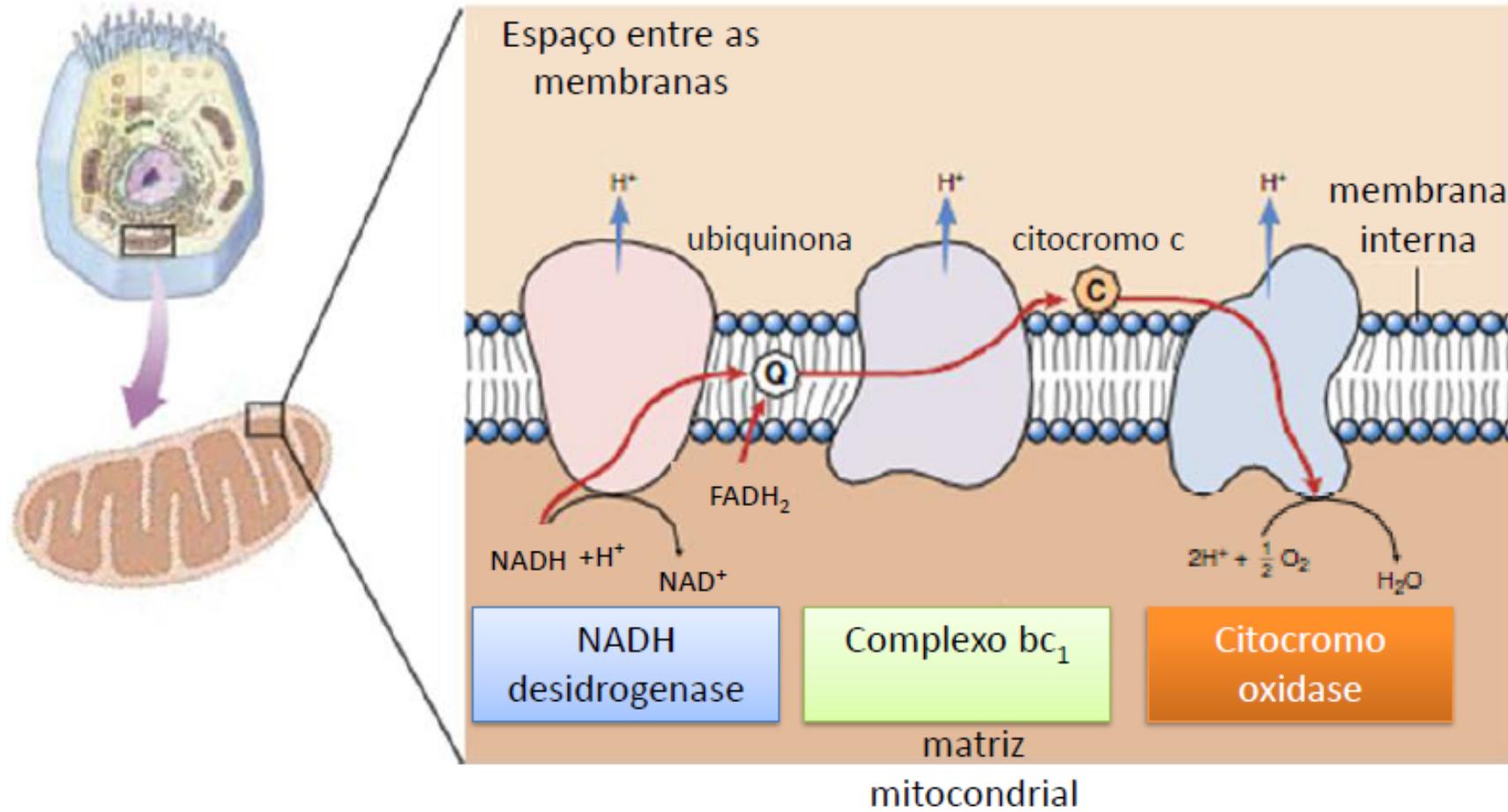
## OXIDAÇÃO DO PIRUVATO

# MATRIZ MITOCONDRIAL

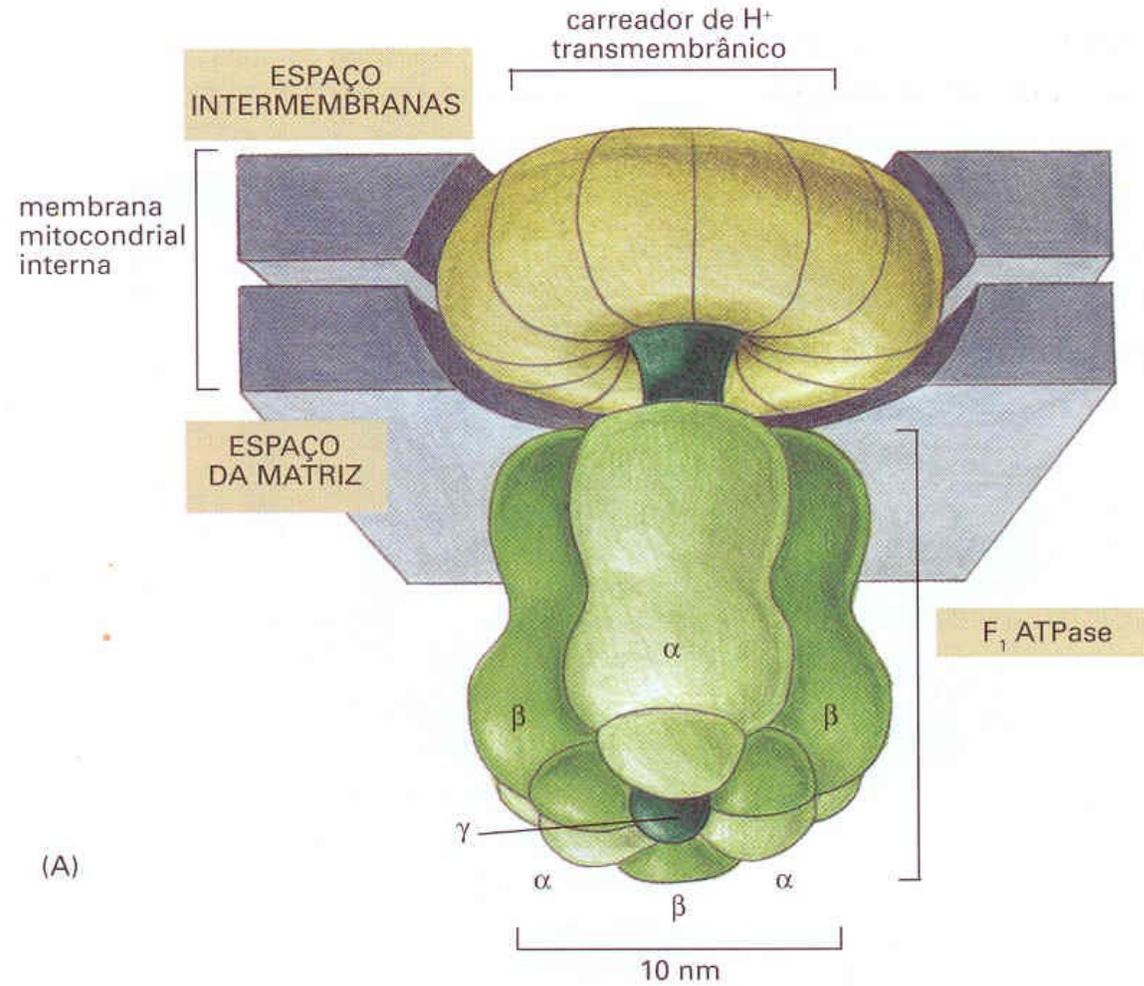


# MEMBRANA INTERNA DA MITOCÔNDRIA

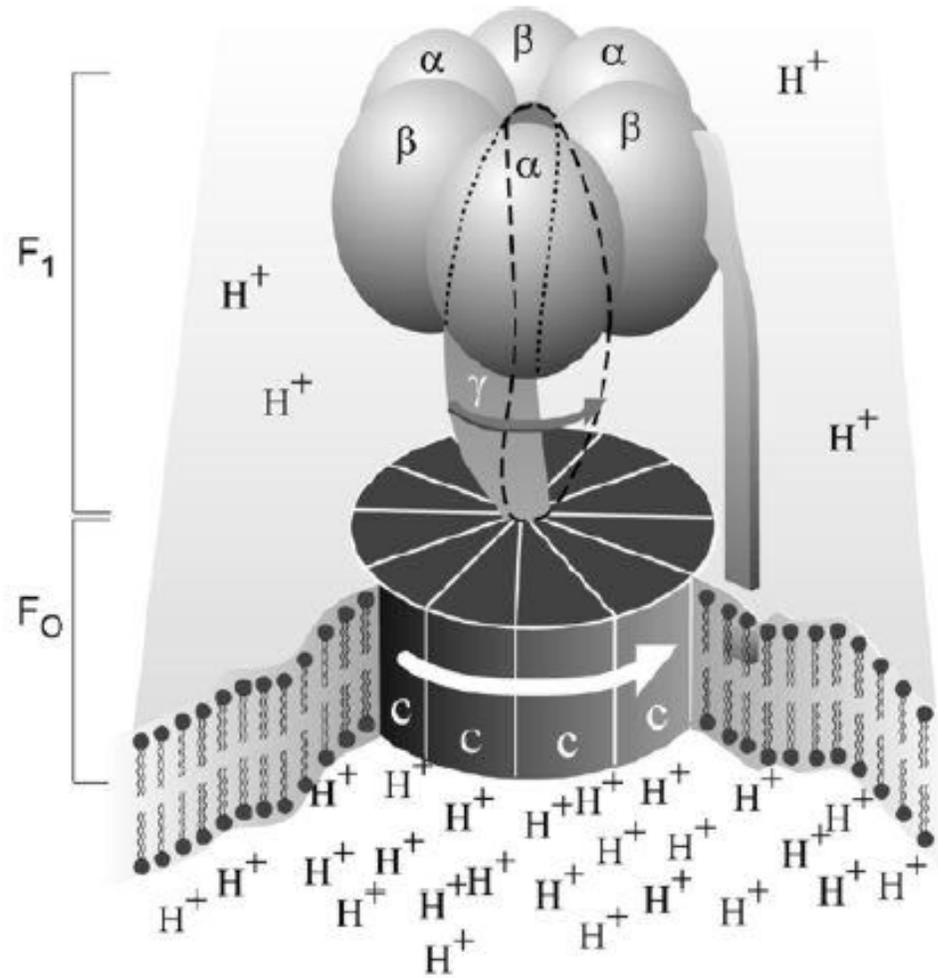
## CADEIA RESPIRATÓRIA



# ATPase



# ATP SINTASE



Paul D. Boyer  
The Nobel Prize in Chemistry 1997



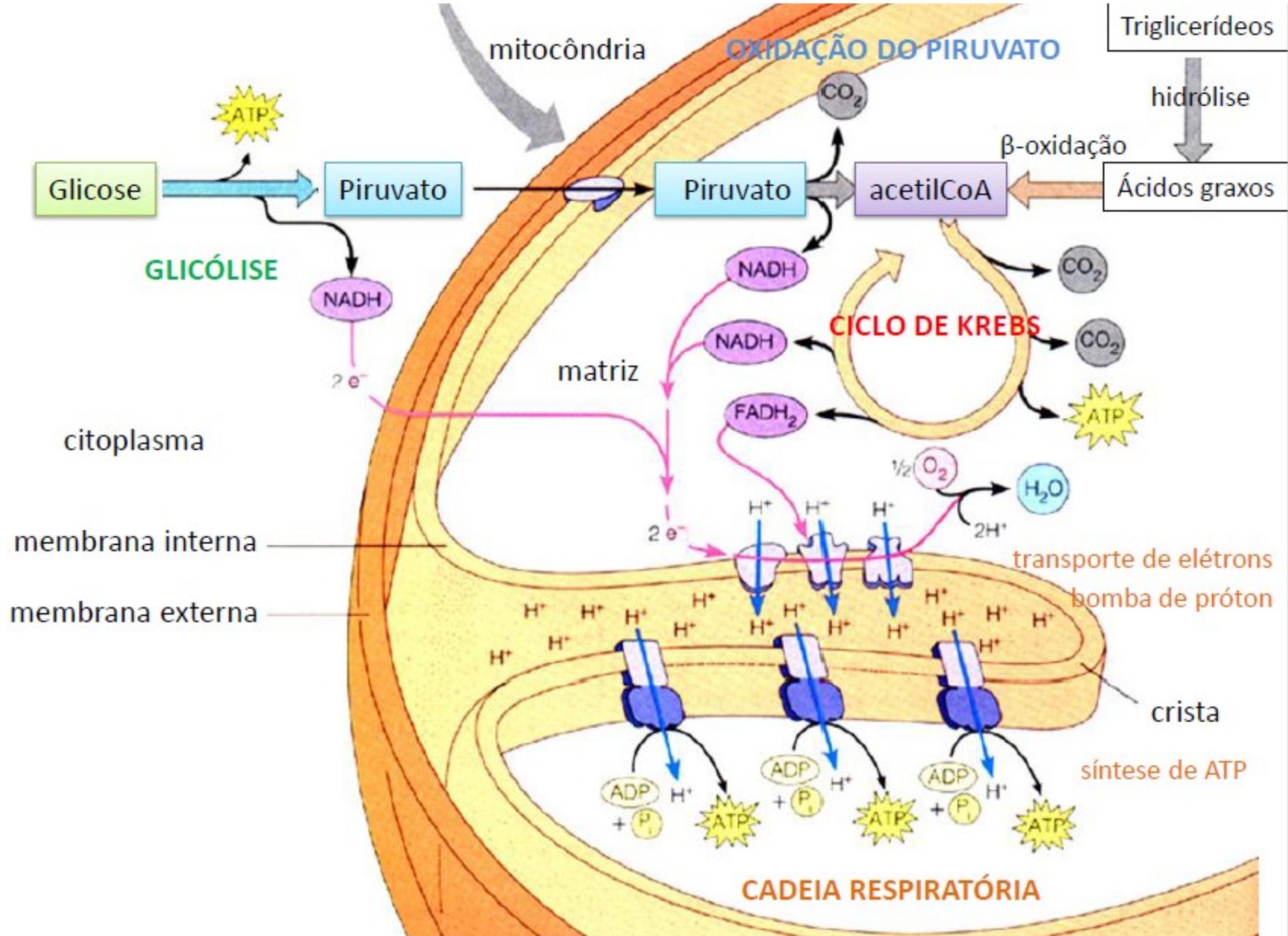
John E. Walker  
The Nobel Prize in Chemistry 1997



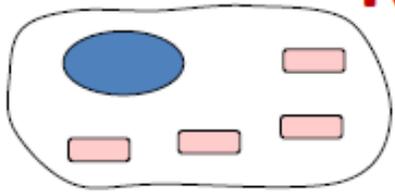
Jens C. Skou  
The Nobel Prize in Chemistry 1997

- Geração de gradiente eletroquímico de  $H^+$ ;
- Formação de ATP

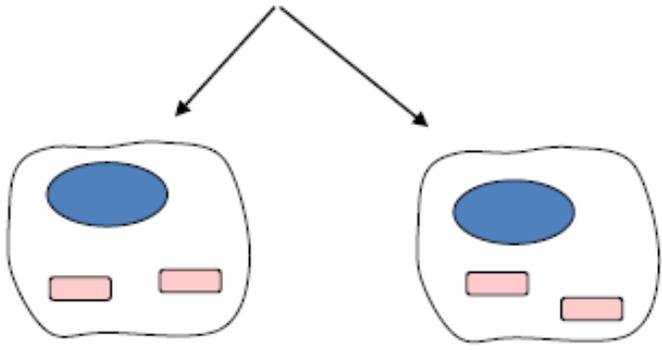
10.000 rotações por minuto  $\rightarrow$  3ATP/rotação



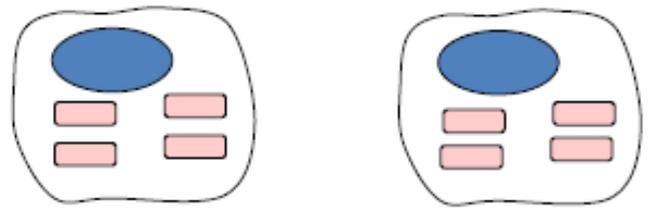
# REPLICAÇÃO DAS MITOCÔNDRIAS



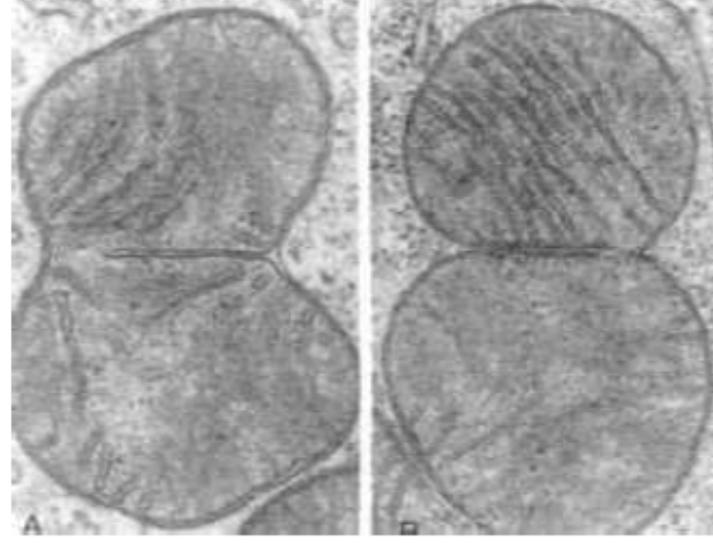
**Divisão celular:** distribuição das mitocôndrias entre as células filhas



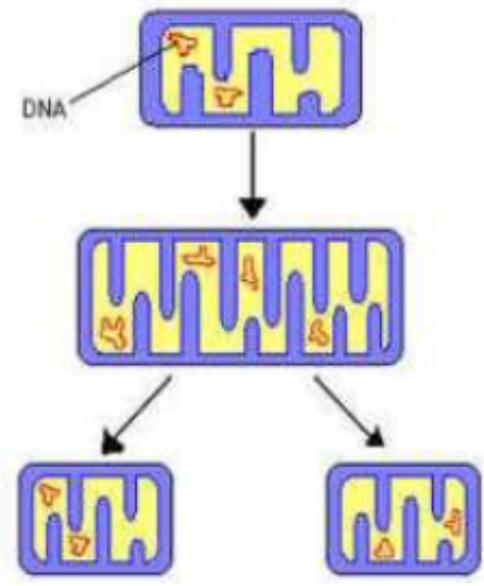
Replicação das mitocôndrias

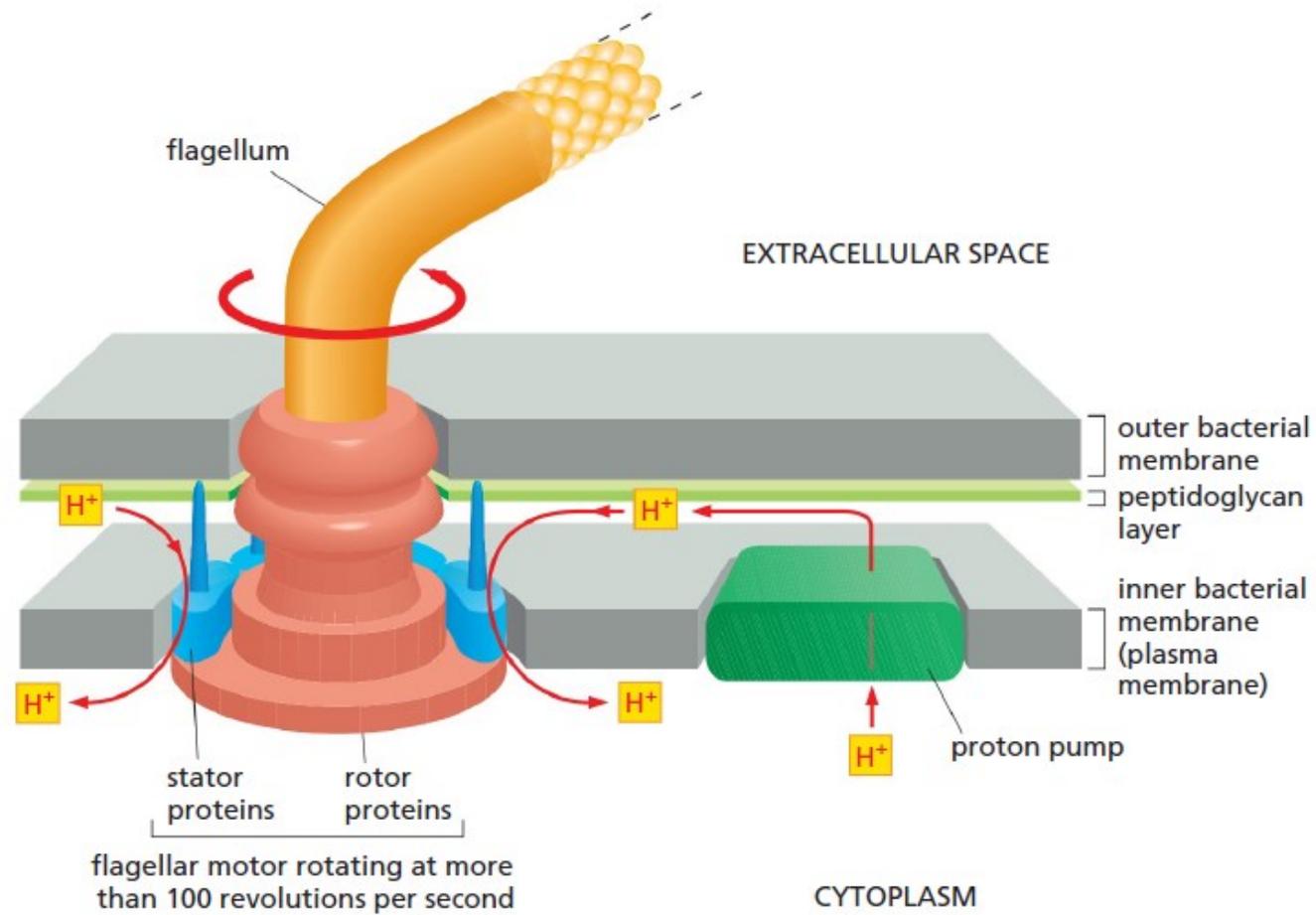


Mitochondrial Division

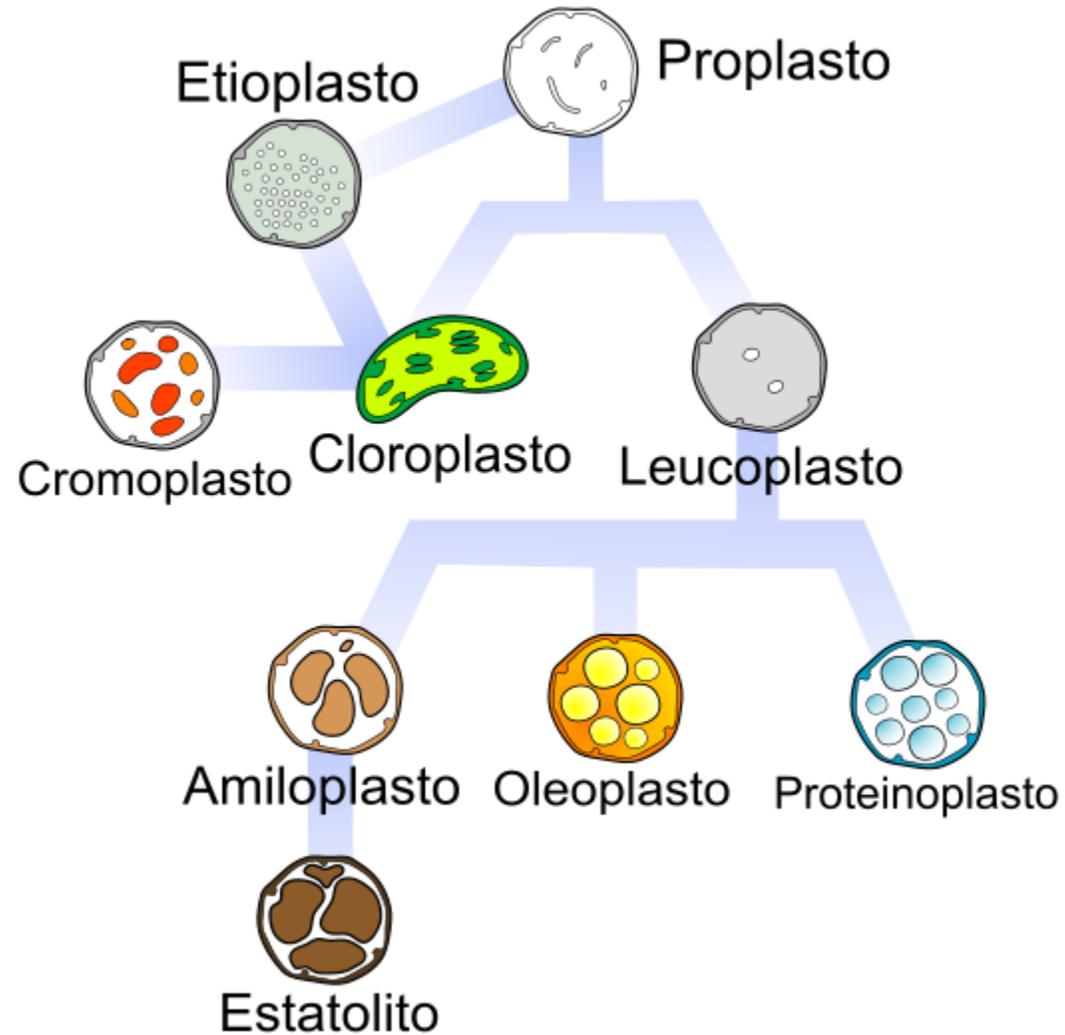


✓ Mitocôndria se replica como uma célula de bactéria;  
✓ Antes de se dividir, a mitocôndria replica o seu DNA.

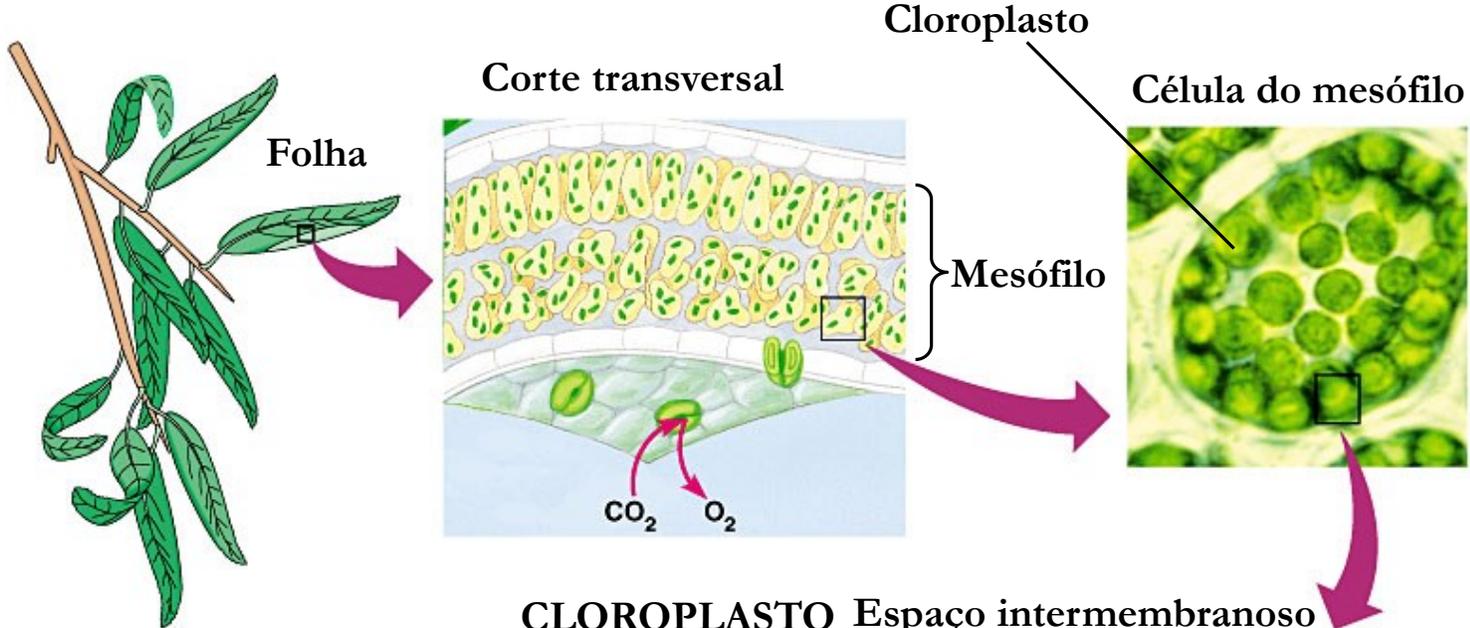




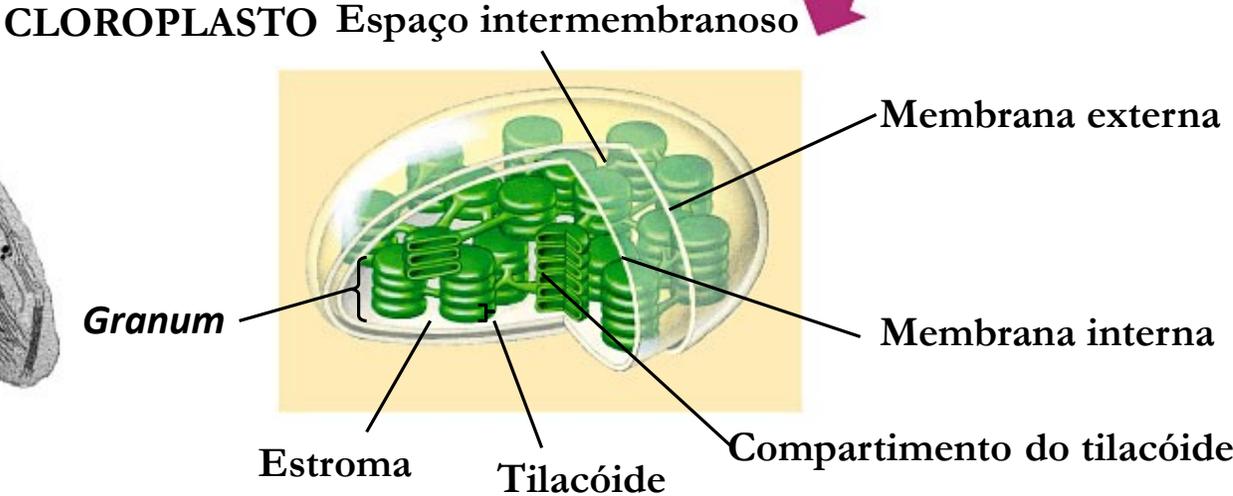
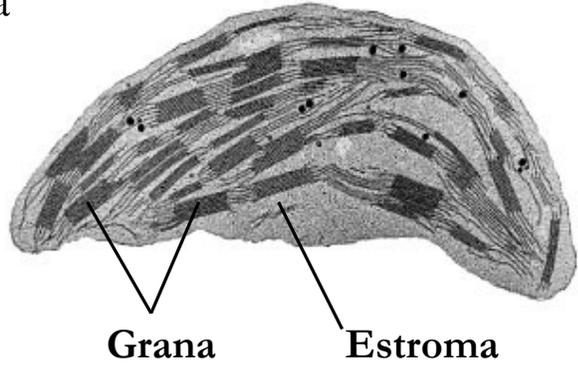
# Plastos em Plantas



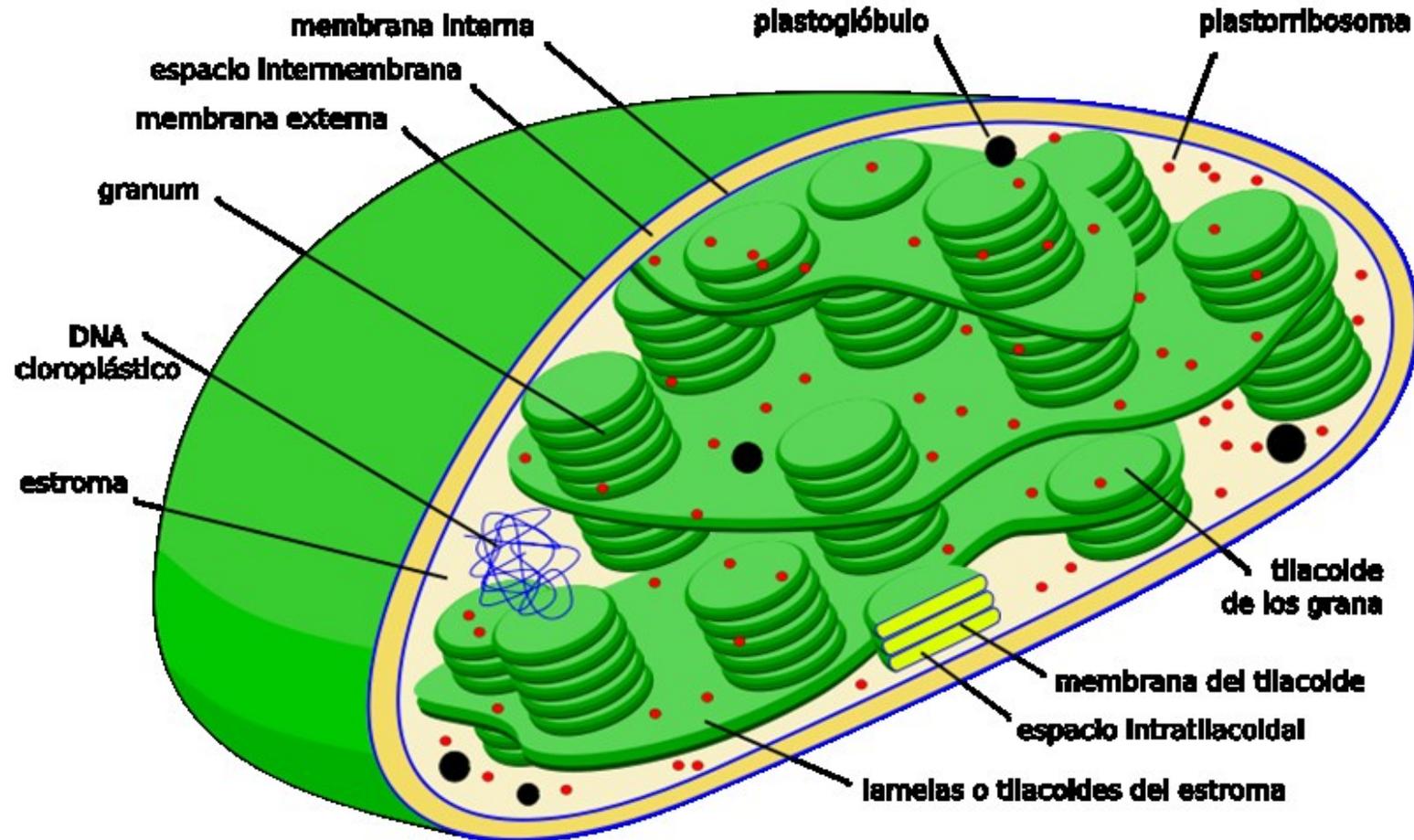
# Cloroplastos



Diâmetro de 4 a 6  $\mu\text{m}$ ,  
podendo assumir uma forma  
discóide, ovóide ou esférica

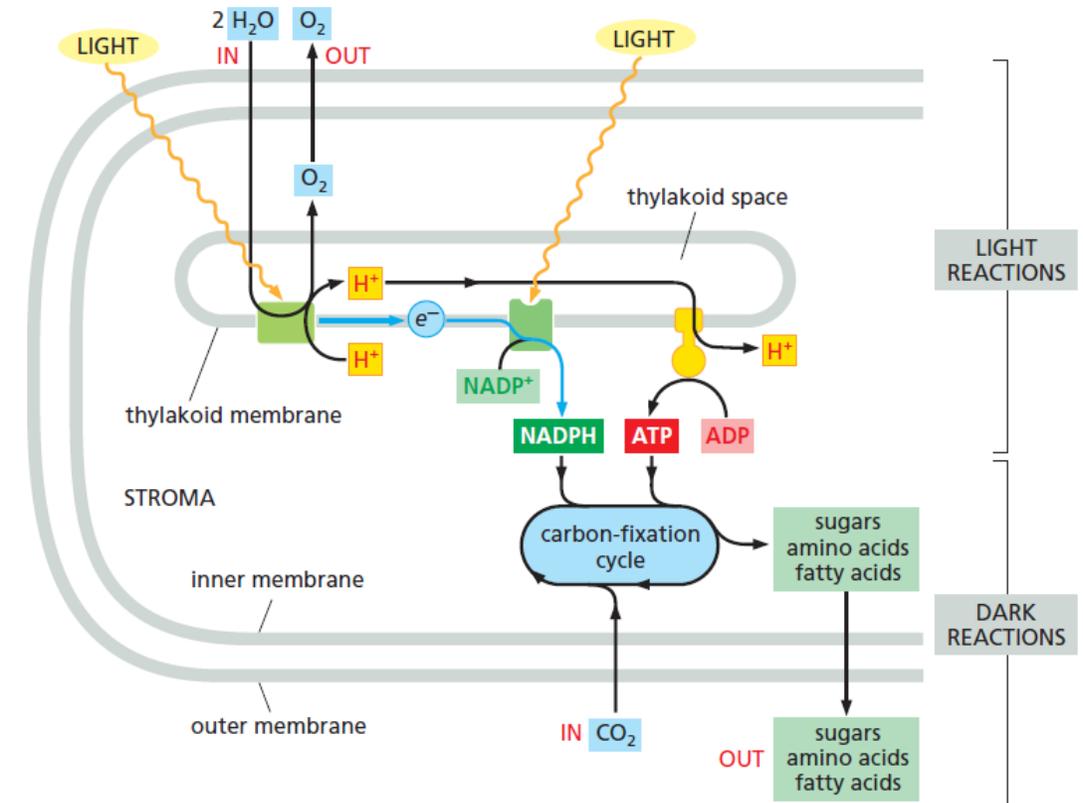
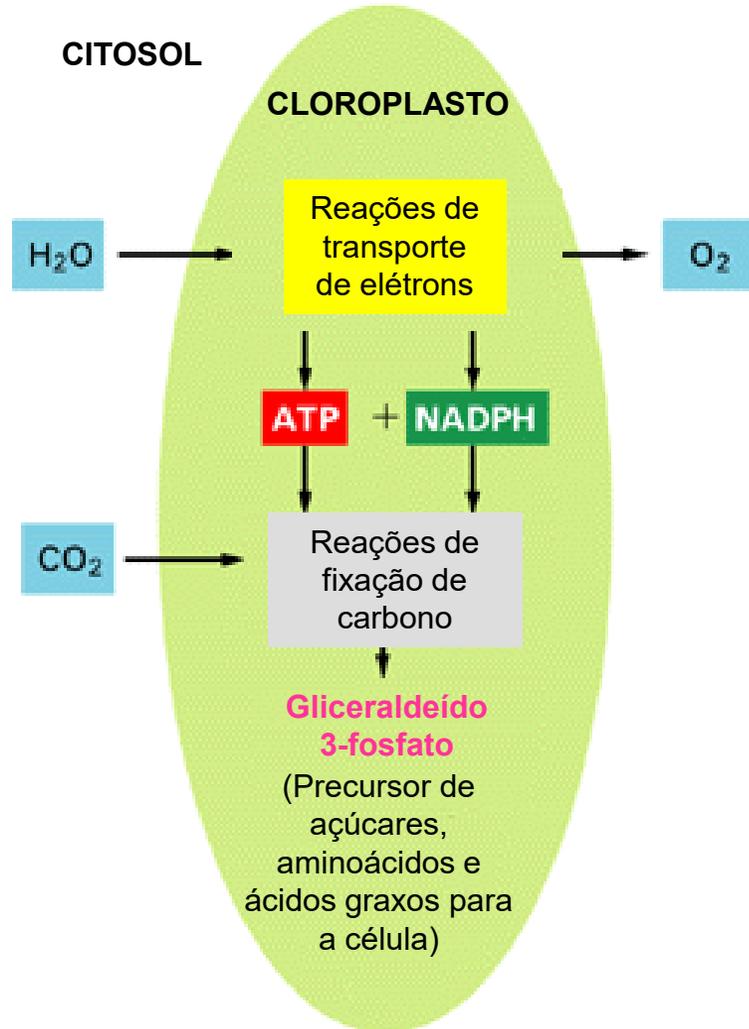


# Cloroplastos



- O número de cloroplastos se mantém constante nos diversos vegetais durante a mitose;
- Nas plantas superiores existem entre 20 a 40 cloroplastos por célula.

# Fotossíntese



# Cloroplastos

## Fotossíntese:

1. Reação de fase clara: transferência de elétrons

- energia solar energiza elétron da clorofila
- cadeia transportadora de elétrons
- clorofila captura elétron da  $H_2O$  gerando  $O_2$
- bombeamento de  $H^+$  através membrana do tilacóide
- síntese de ATP no estroma e de NADPH

2. Reação de fase escura = fixação do C

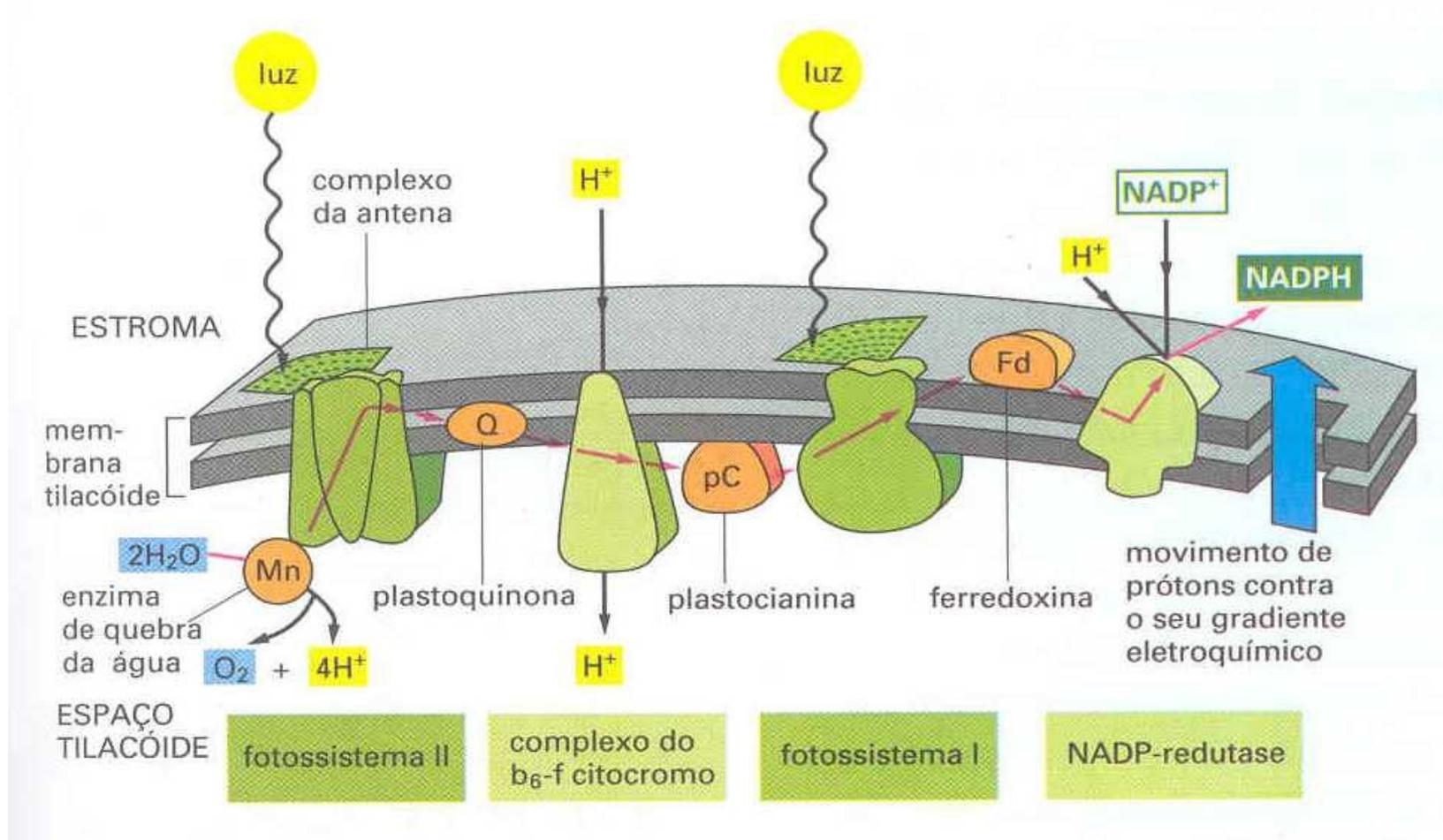
- o ATP e NADPH como fonte de energia para conversão de  $CO_2$  em carboidratos

# Cloroplastos

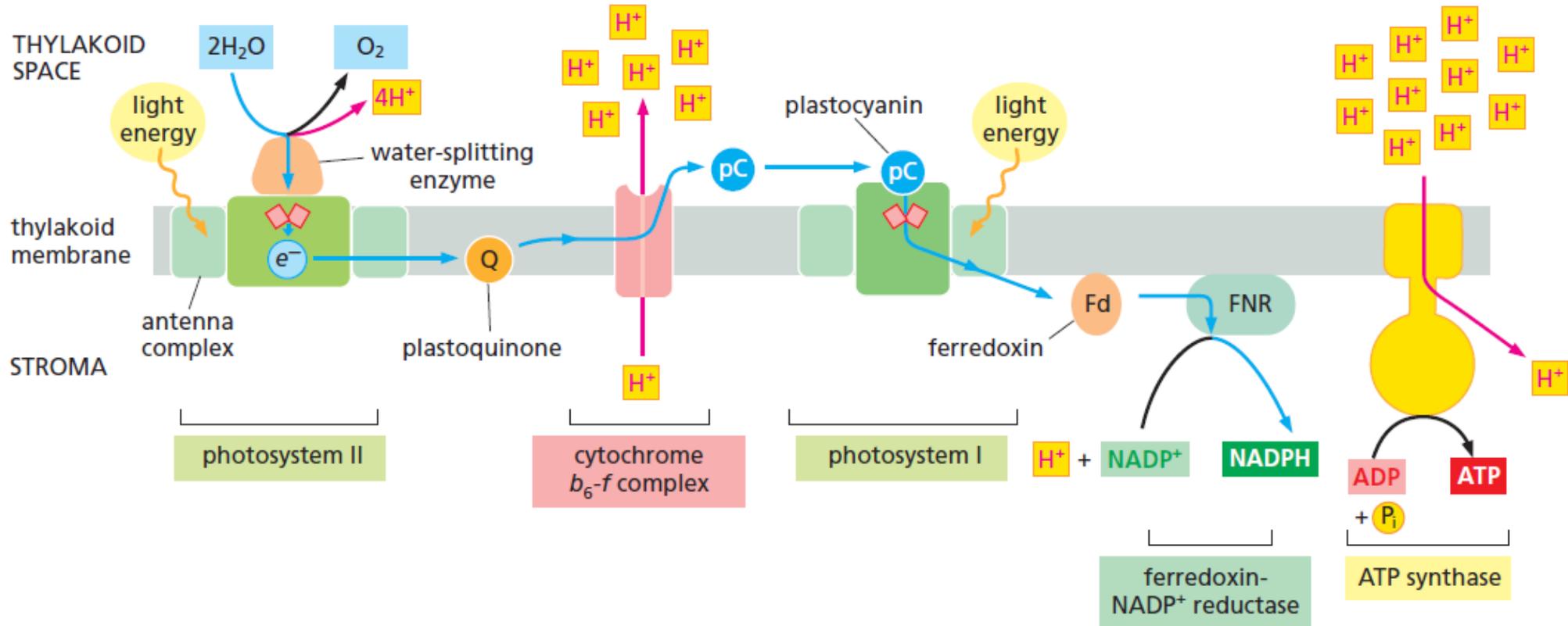
## Fotossíntese:

- Radiação de 400 a 700 nm (PAR)
- Clorofila = pigmento verde
- fotossistemas: complexos multiprotéicos embebidos em membranas tilacóides
  
- **Fotossistema II** -> plastoquinona -> complexo citocromo b6-f -> plastocianina
  - bombeamento de prótons + síntese de ATP
- **Fotossistema I** -> ferredoxina -> NADP redutase
- Fixação de C: Ribulose 1,5 Bifosfato Carboxilase = Rubisco

# Transporte de elétrons Fotossíntese

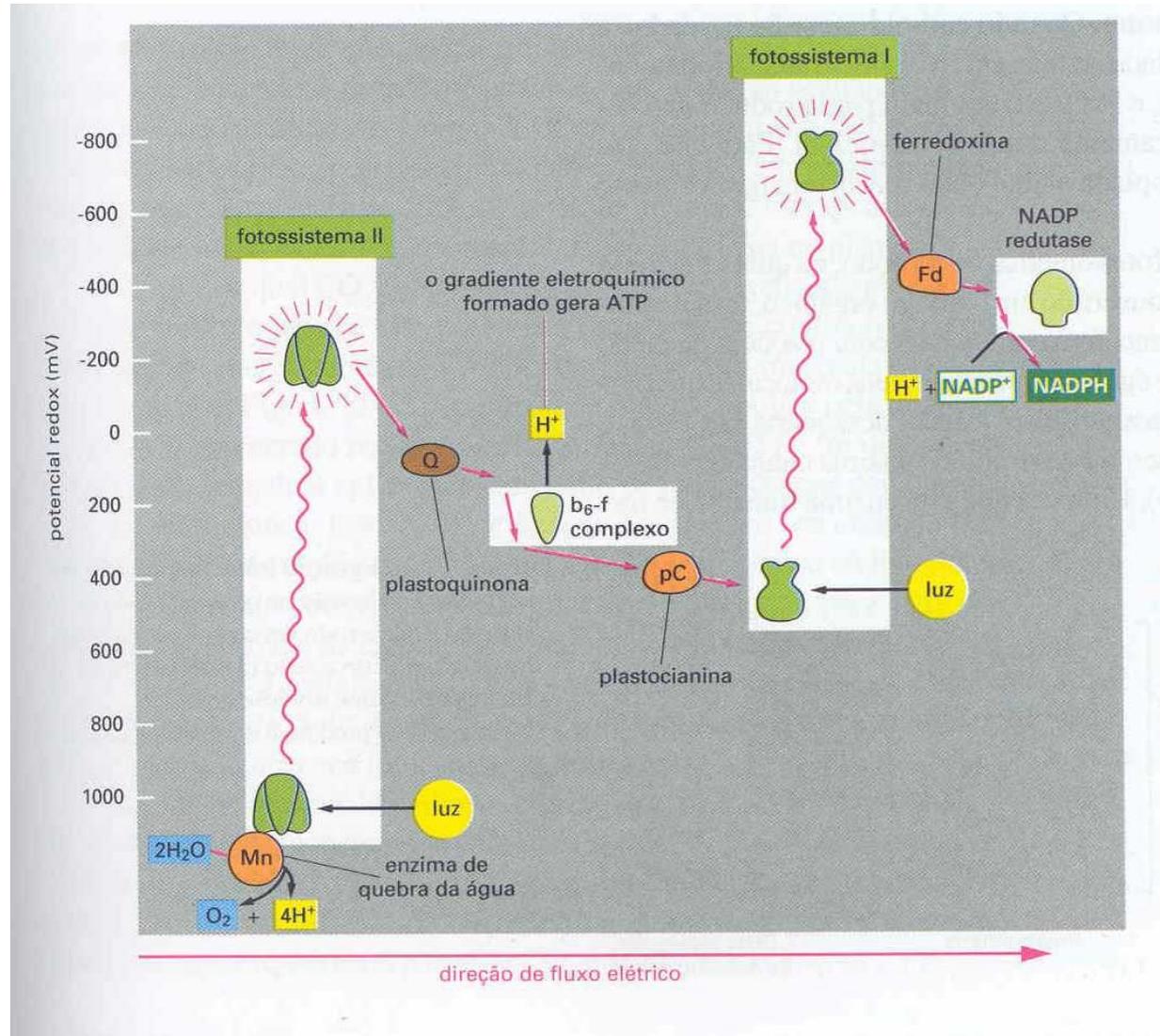


# Transporte de elétrons Fotossíntese

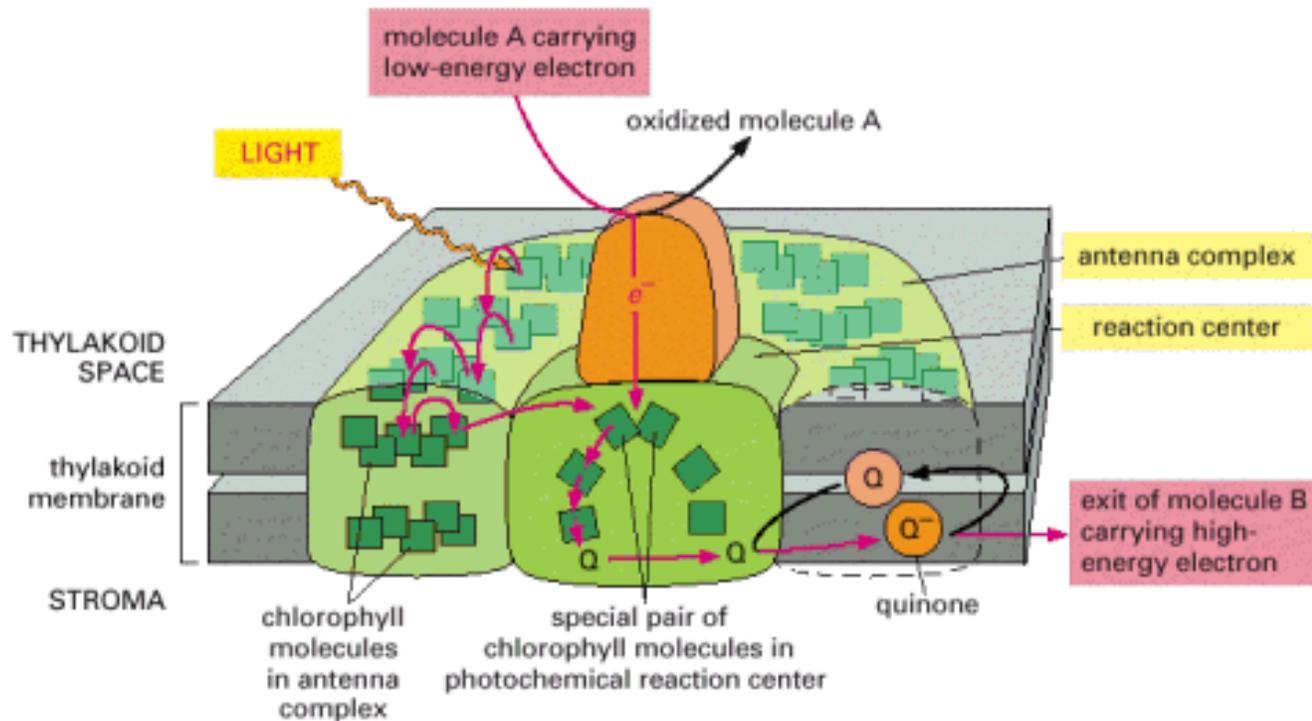


animação

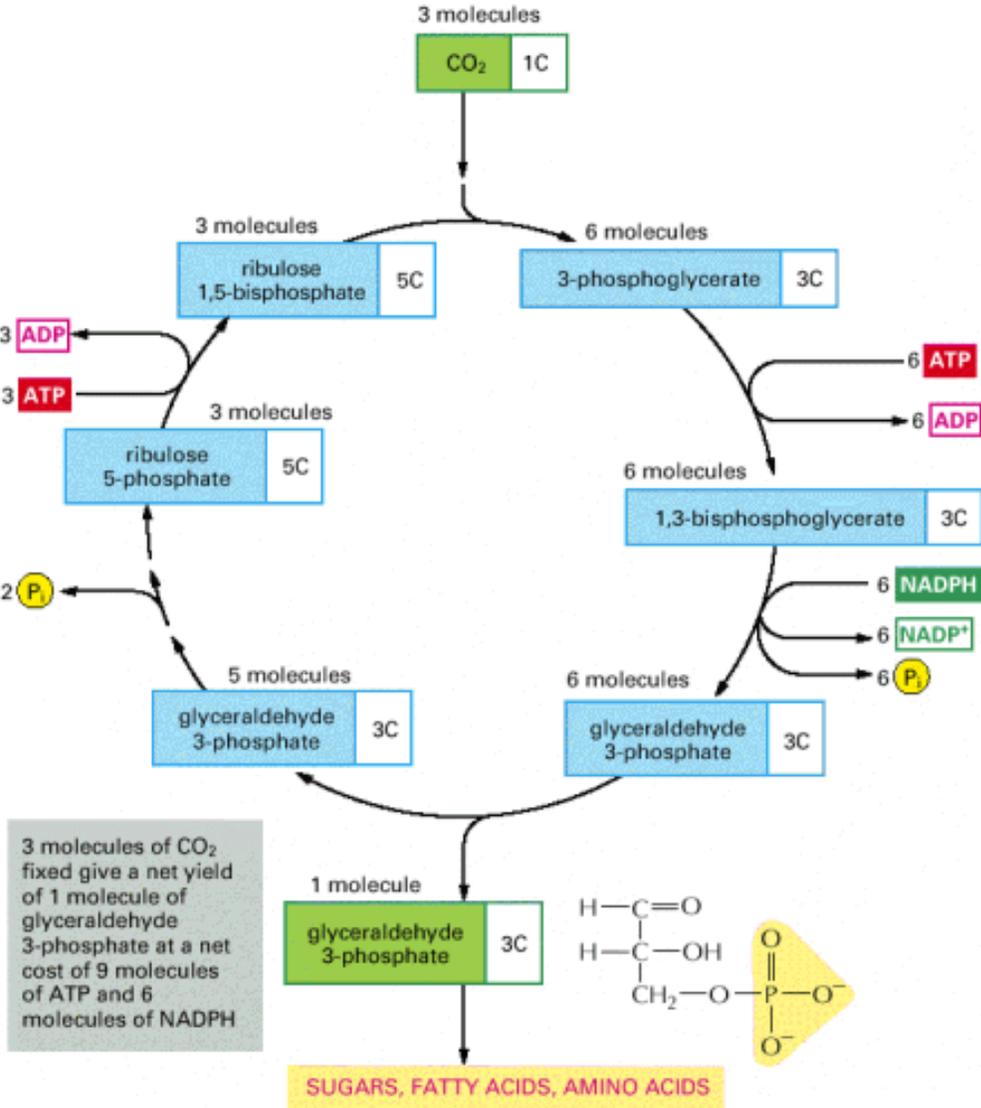
# Transporte de Elétron na Fotossíntese



# Complexo Antena e Centro de Reação do Fotossistema

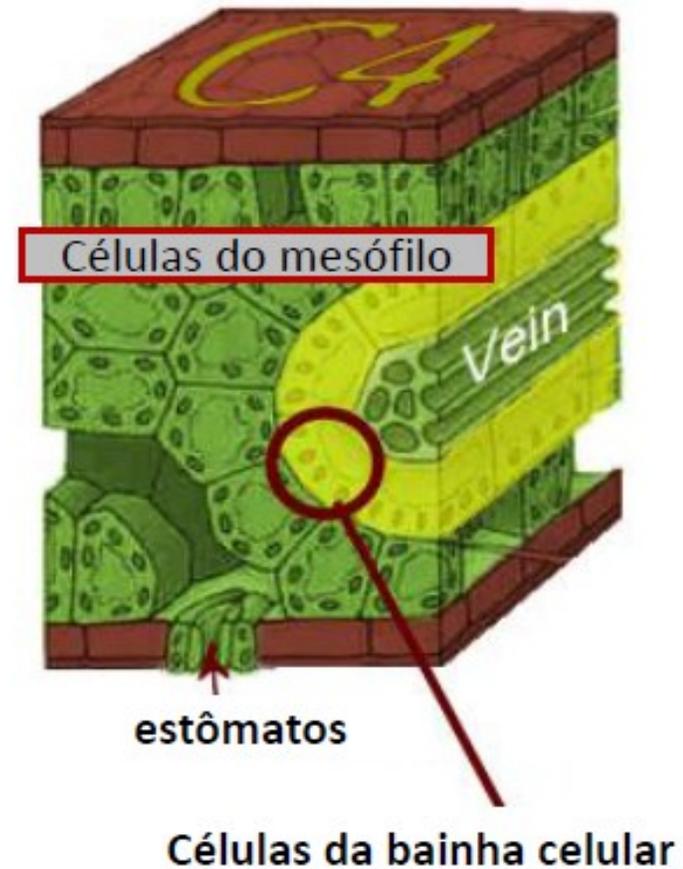


# Ciclo de Fixação do Carbono



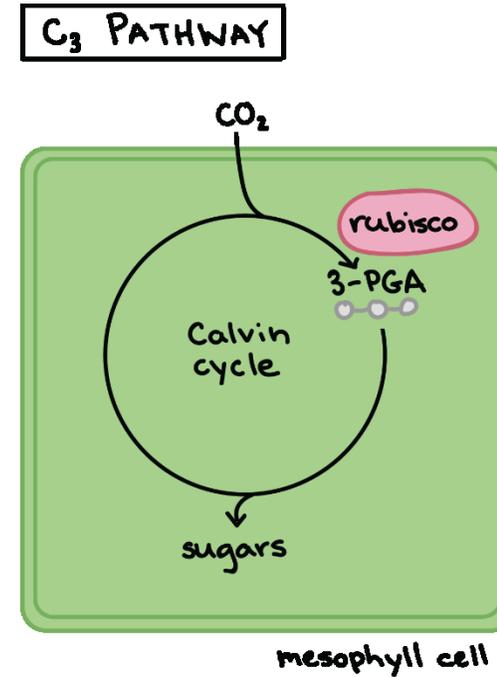
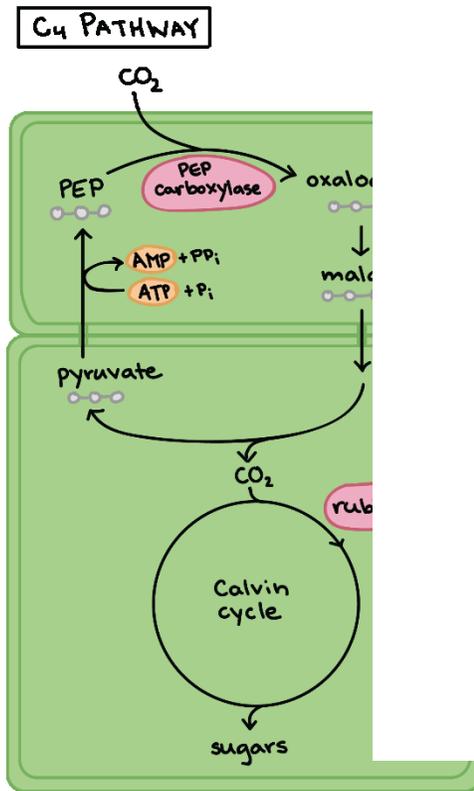
# Variações Morfo-Fisiológicas na Fixação de CO<sub>2</sub>

## Plantas C3 e C4



# Variações Morfo-Fisiológicas na Fixação de CO<sub>2</sub>

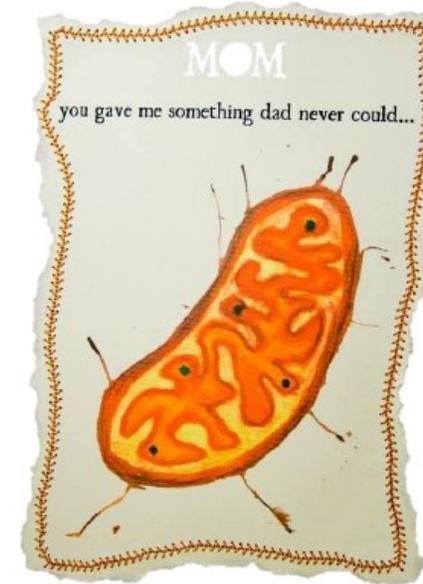
## Plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>



<https://www.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-and-cam-plants-agriculture>

# Estudo Dirigido

- Função das mitocôndrias
- Etapas da respiração celular
- Função dos cloroplastos
- Etapas da fotossíntese
- Diferenças entre estruturas de mitocôndria e cloroplastos
- Origem das mitocôndrias e cloroplastos



Capítulo 8 - Mitocôndrias e Capítulo 9 - Cloroplastos

De Robertis, E.M.F.; Hib, J. 2014. *Biologia Celular e Molecular*. 16ª Edição. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.