



Universidade Federal de Pelotas  
CDTec - Graduação em Biotecnologia  
Disciplina de Biologia Celular



# Mitocôndria e Cloroplasto

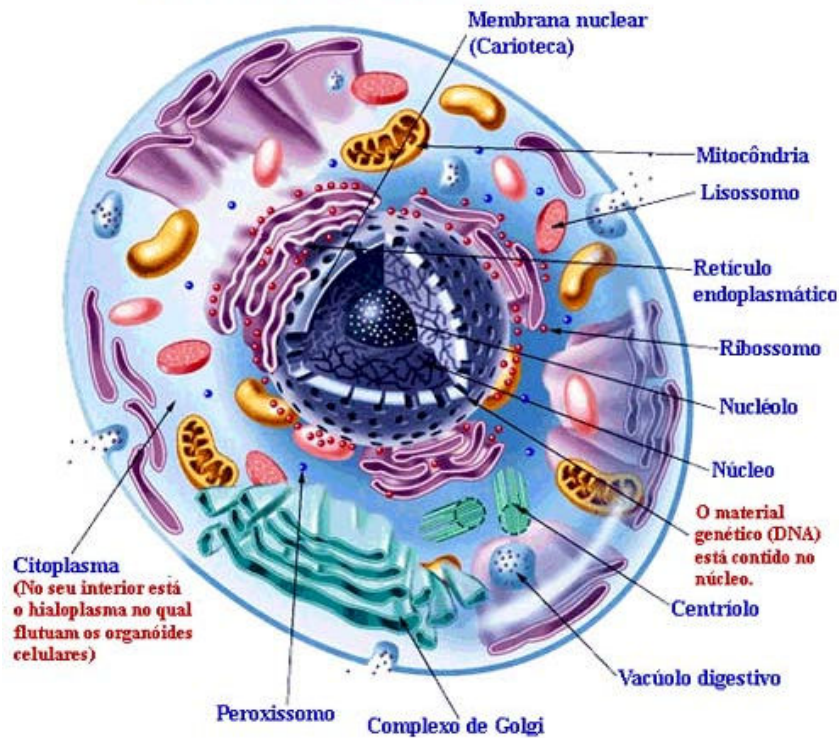
Priscila M. M. de Leon

Dra., Médica Veterinária

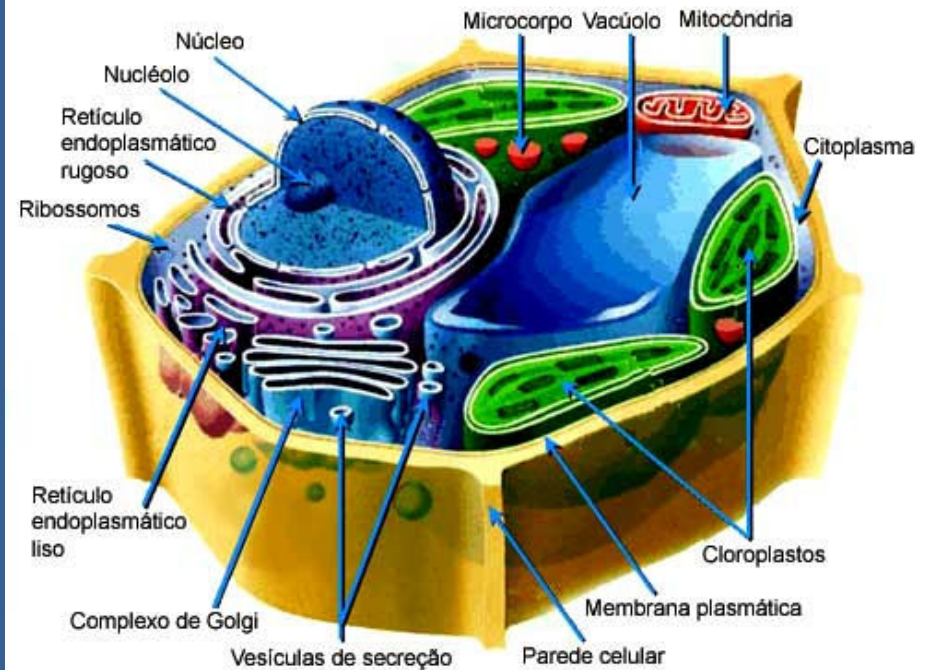
PNDP Biotecnologia/UFPEL

Abril, 2012

# Mitocôndria e Cloroplasto



**Célula Animal - Mitocôndria**



**Célula Vegetal – Mitocôndria/Cloroplasto**

❖ Organelas celulares envolvidas nas transformações energéticas.

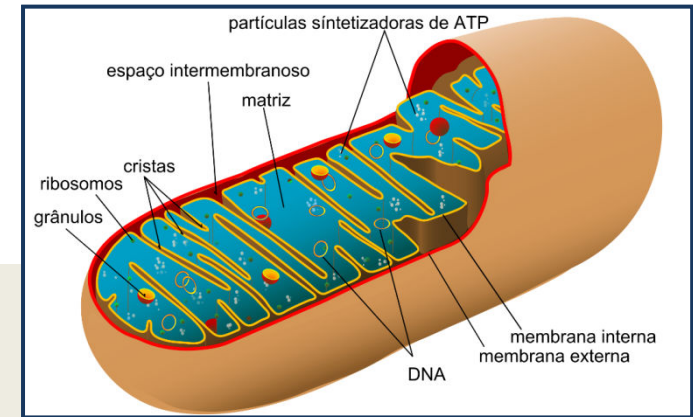
# Origem e evolução de Mitocôndrias e Cloroplastos



Lynn Margulis

- Teoria da Endossimbiose
  - teoria formulada por Lynn Margulis da Universidade de Massachusetts em 1981;
- Mitocôndrias e Cloroplastos são organelas supostamente derivadas de bactérias primitivas:
  - que foram englobadas por células eucarióticas;
  - estabelecendo assim uma relação de *Endossimbiose (interação biológica mutualmente benéfica)*;
  - célula ofertando proteção e nutrientes & microrganismo favorecendo maior rendimento e aproveitamento energético através do processo de respiração celular;

# Origem e evolução de Mitocôndrias e Cloroplastos



## Fundamentação da Teoria da Endossimbiose:

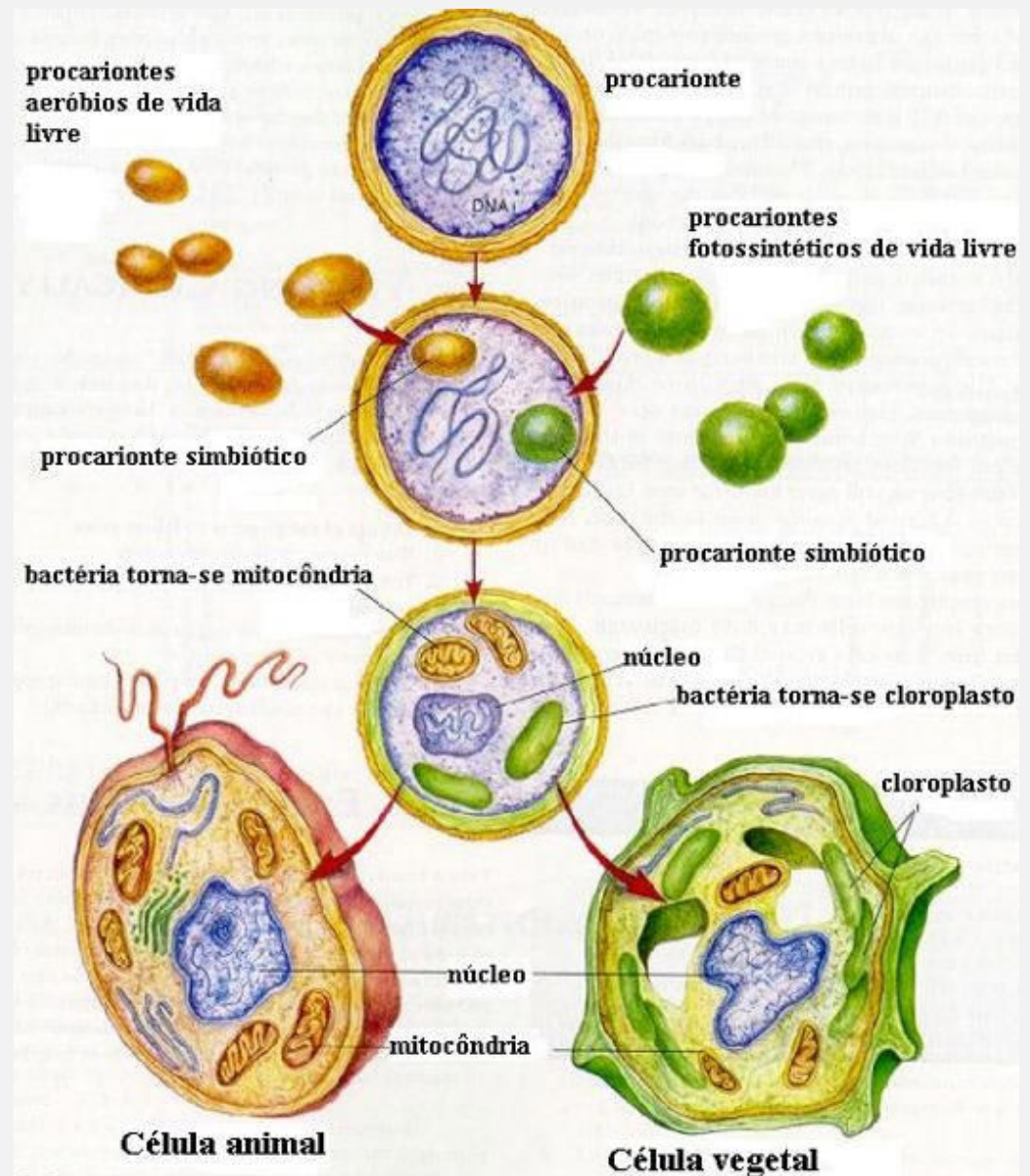
1. *Existência de material genético próprio* - característico de organismos ancestrais pelo DNA circular;
2. *Presença de RNA ribossômico estruturalmente diferenciado* - com menor teor proteico e menor tamanho dos ribossomos em relação aos da célula hospedeira;
3. Existência de duas membranas - sendo a interna do microrganismo englobado e a externa do organismo da célula hospedeira;



## Teoria da Endossimbiose:

A célula eucariótica teria surgido em 3 etapas:

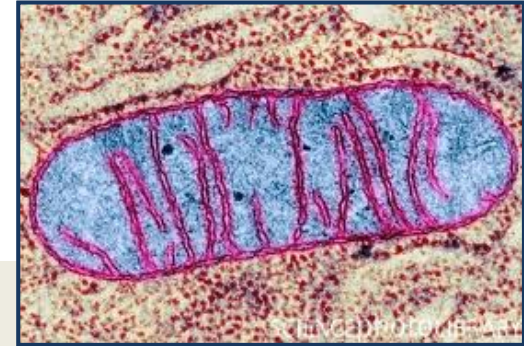
1. proto-eucarionte tornou-se hospedeiro de **bactérias aeróbias**, obtendo **mitocôndrias**;
2. proto-eucarionte tornou-se hospedeiro de **cianobactérias** obtendo **cloroplastos**;
3. proto-eucarionte tornou-se hospedeiro de bactérias espiroquetas, obtendo cílios, flagelos e outras estruturas com base em microtúbulos como os **centríolos** e **citoesqueleto**.



# Mitocôndria



# Mitocôndrias



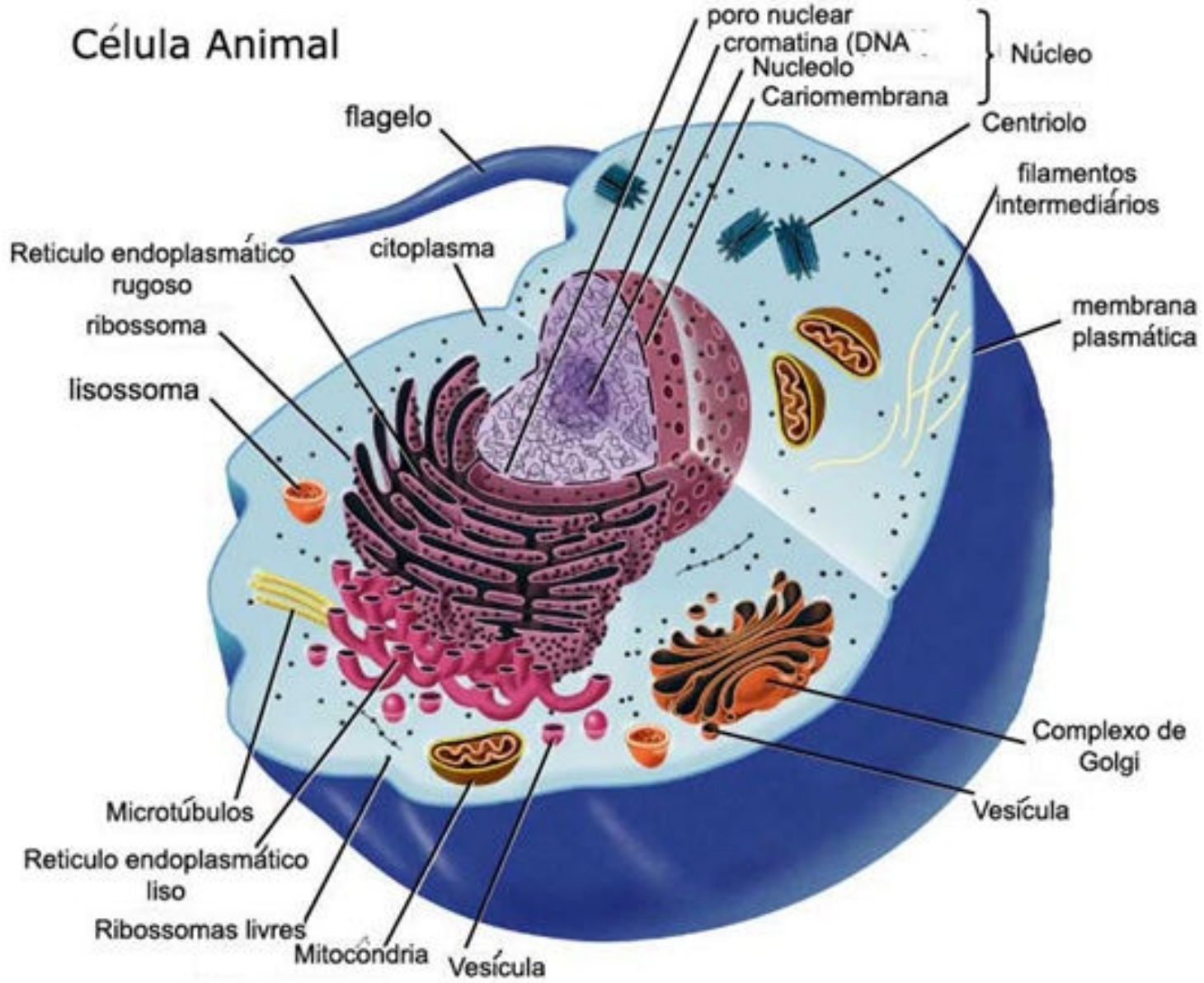
- Conceito:

*são organelas complexas que desempenham uma série de funções essenciais nas células eucarióticas*

➔ *Transformar a energia química dos metabólitos em energia de fácil acesso à célula*

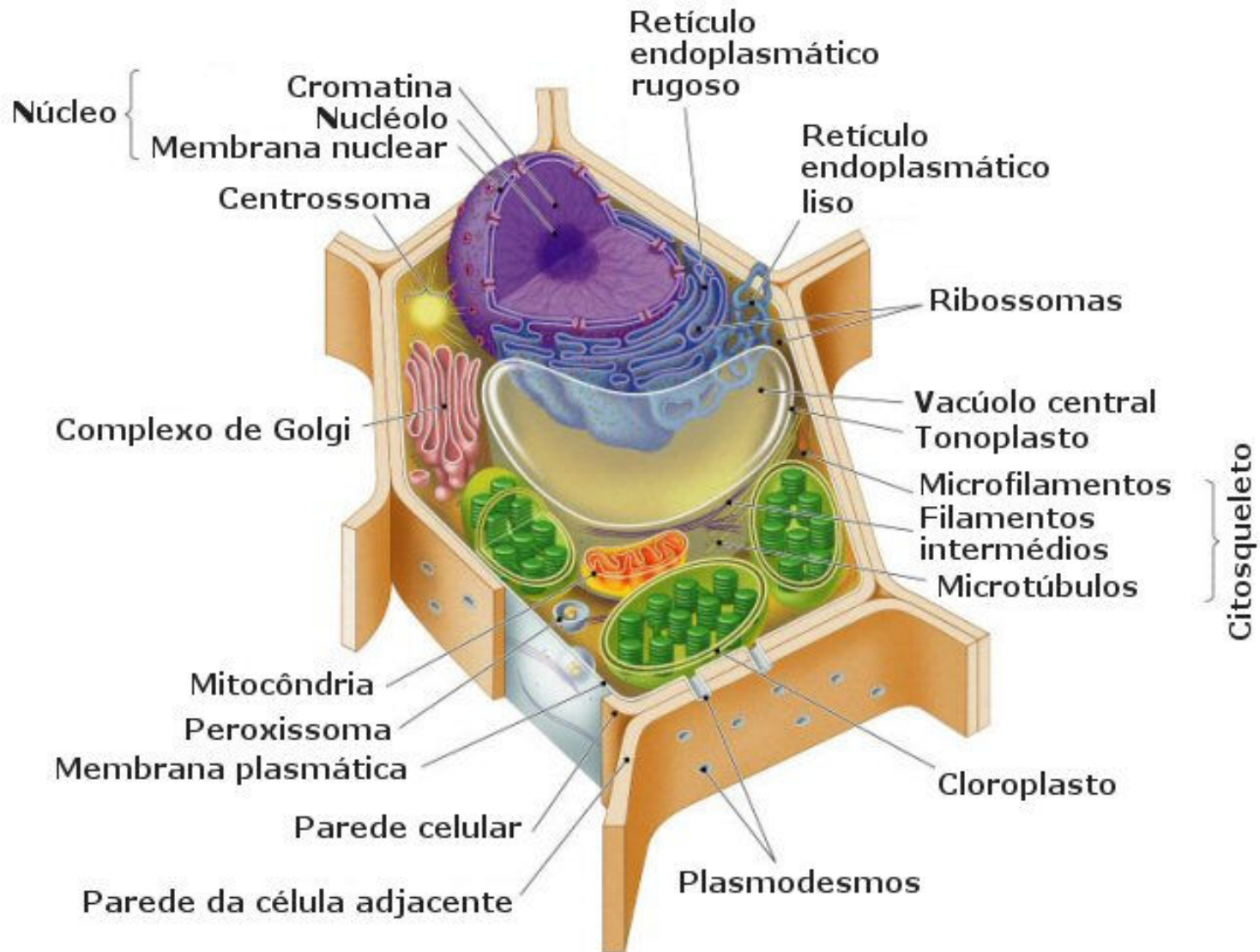
- ✓ Onde **maior parte do ATP celular** é produzido;
- ✓ As mitocôndrias contêm seu **próprio DNA e RNA** possuindo um sistema completo de transcrição e tradução;
- ✓ A **sobrevivência das células** depende da integridade das mitocôndrias;

# Célula Animal





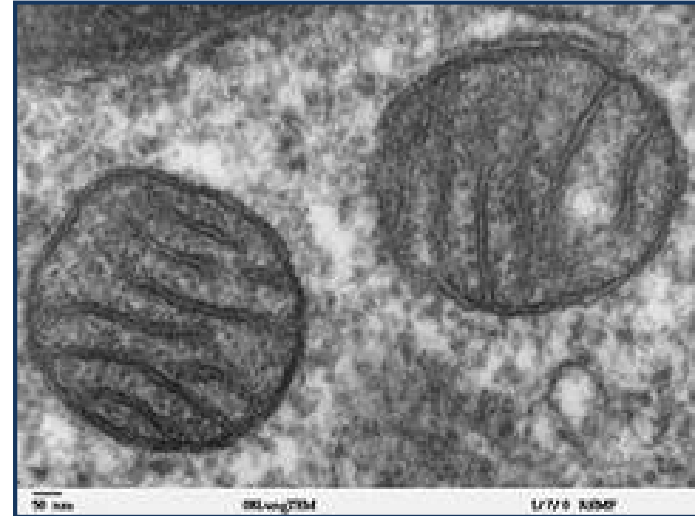
# Célula Vegetal



# *Mitocôndrias*: características fundamentais

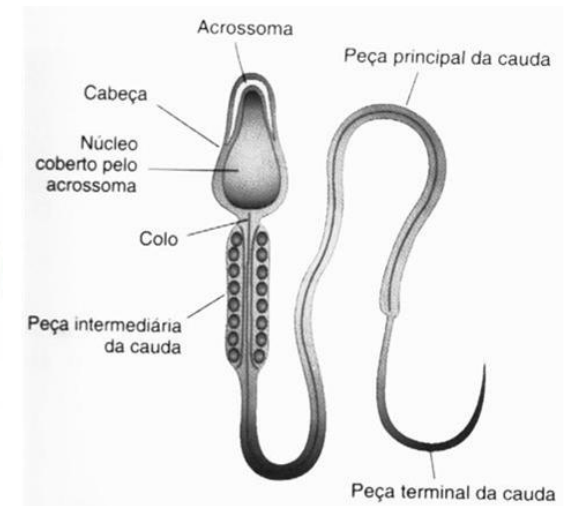
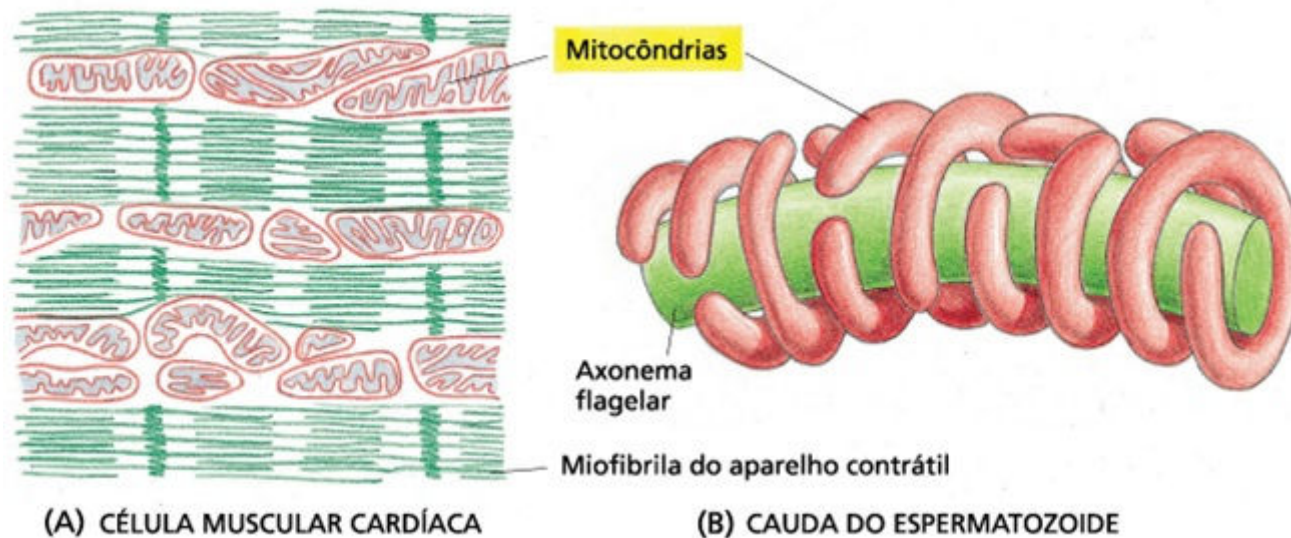
- ✓ são organelas grandes, visíveis ao microscópio óptico;
- ✓ estão presentes na maioria dos eucariontes (exceto num grupo de protistas chamado *Archezoa*);
- ✓ O seu número varia entre as células - sendo **proporcional à atividade metabólica** (500 a 10.000mitocôndrias/célula);
- ✓ Possuem características morfológicas reconhecíveis, apesar de exibir variabilidade morfológica;
- ✓ Ocupam aproximadamente 15% a 25% do volume do citoplasma de uma célula de mamífero;
- ✓ São organelas que **mudam de forma e posição constantemente**;
- ✓ São mais prevalentes em **céls. Musculares** (ATP – contração muscular);
- ✓ Localizadas próximas aos pontos contrateis no músculo cardíaco;
- ✓ Ocupam a peça intermediária dos espermatozoides - flagelo motor (ATP-movimentos espermáticos);

# *Mitocôndrias*: microscopia eletrônica





# Mitocôndrias: localização celular



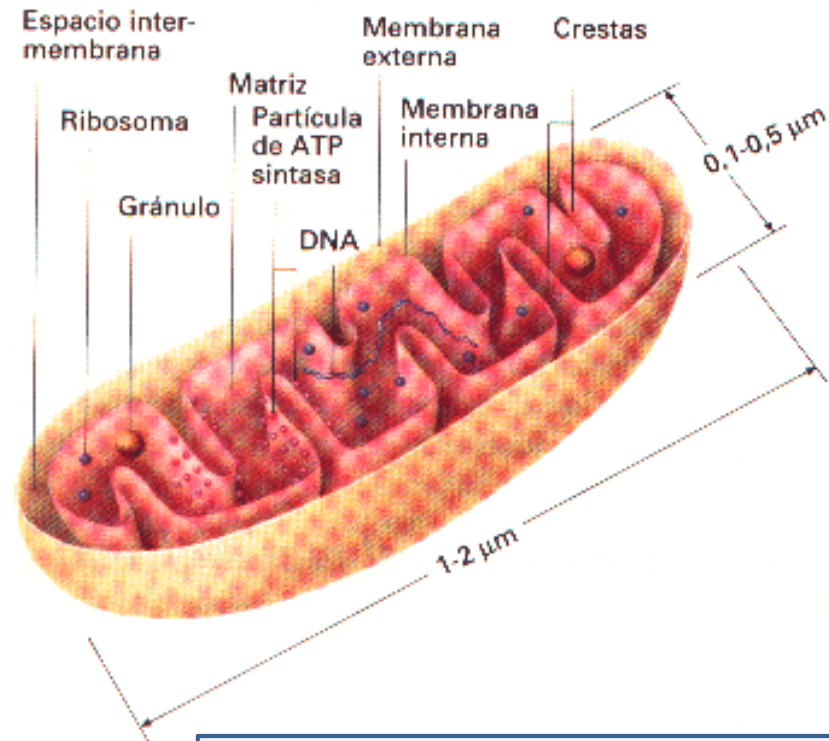
Fonte: MOORE, Keith L., PERSAUD, T. V. N., *Embriologia Básica*, 5ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. p17. fig. 2.4

- **Movimentos e posição intracelular das mitocôndrias** são influenciados pela disposição do citoesqueleto, em estreita relação entre essas organelas e as **necessidades energéticas da célula**.
- Ex.: Epitélios ciliados → próximo aos cílios; Espermatozoides → peça intermediária; Muscular estriada → paralelamente aos feixes de miofibrilas.



# Mitocôndrias: Estrutura

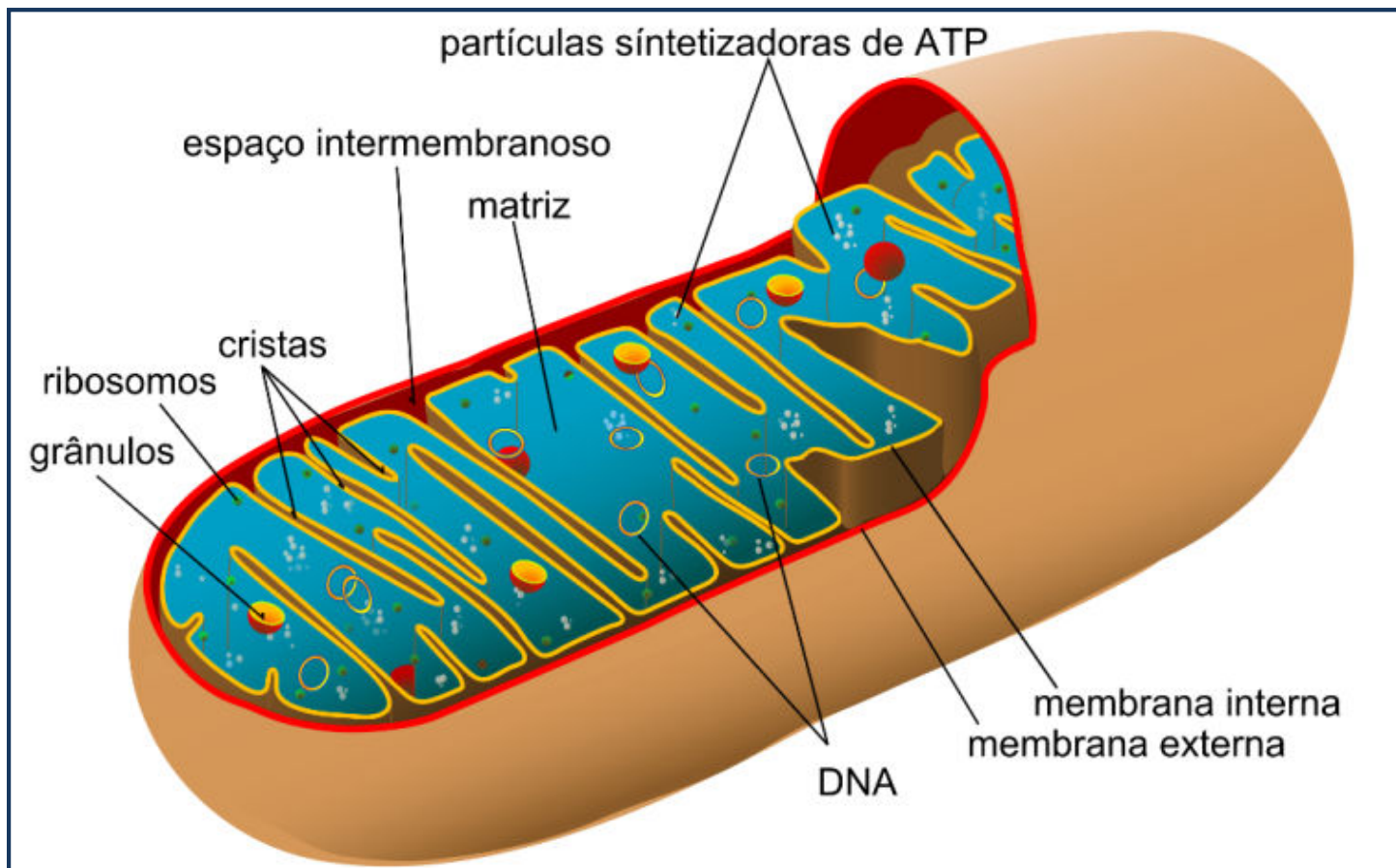
- *Membrana Externa*
- *Membrana Interna*
- *Cristas*
- *Espaço Intermembrânico*
- *Matriz*
- *Ribossomos*
- *Grânulos*
- *DNA*
- *Partículas sintetizadoras de ATP*



## Dimensões:

- 0,5 a 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro;
- 0,5 a 10  $\mu\text{m}$  de comprimento;

# Mitocôndrias: Estrutura



# Mitocôndrias: Estrutura

## 1. Membranas Mitocondriais

→ Externa e Interna possuem propriedades diferentes

- **Externa:**

- membrana fosfolipídica semelhante á membrana plasmática (rica em colesterol);
- composta 50% por lipídios e 50% proteínas;
- Possuem proteínas de transporte: **Porinas**, que são canais permeáveis a moléculas menores de 5.000 a 10.000 dáltons (ATP, NAD e coenzima A);

- **Interna:**

- 100 diferentes polipeptídeos, possui 20% de lipídeos e 80% de proteínas;
- desprovida de colesterol e rica em fosfolipídeos (Cardiolipina);
- Se dobra formando vilosidades e ondulações – **Cristas**;
- Altamente impermeável (íons e pequenas moléculas); **Permeável á piruvato e ácidos graxos**;
- Proteínas transportadoras envolvidas na retenção ou liberação de íons;
- Fundamental na atividade bioenergética da mitocôndria devido a **síntese de ATP (Cadeia de Transporte de Elétrons e ATP-sintetase)**;

# Mitocôndrias: Estrutura

## 2. *Cristas:*

- Tem finalidade de **aumentar a área de superfície da membrana interna;**
- Quanto maior é o aporte de energia pela célula maior são estas ondulações;
- Exemplo: O número de Cristas em uma célula muscular cardíaca é três vezes maior que em uma célula hepática;

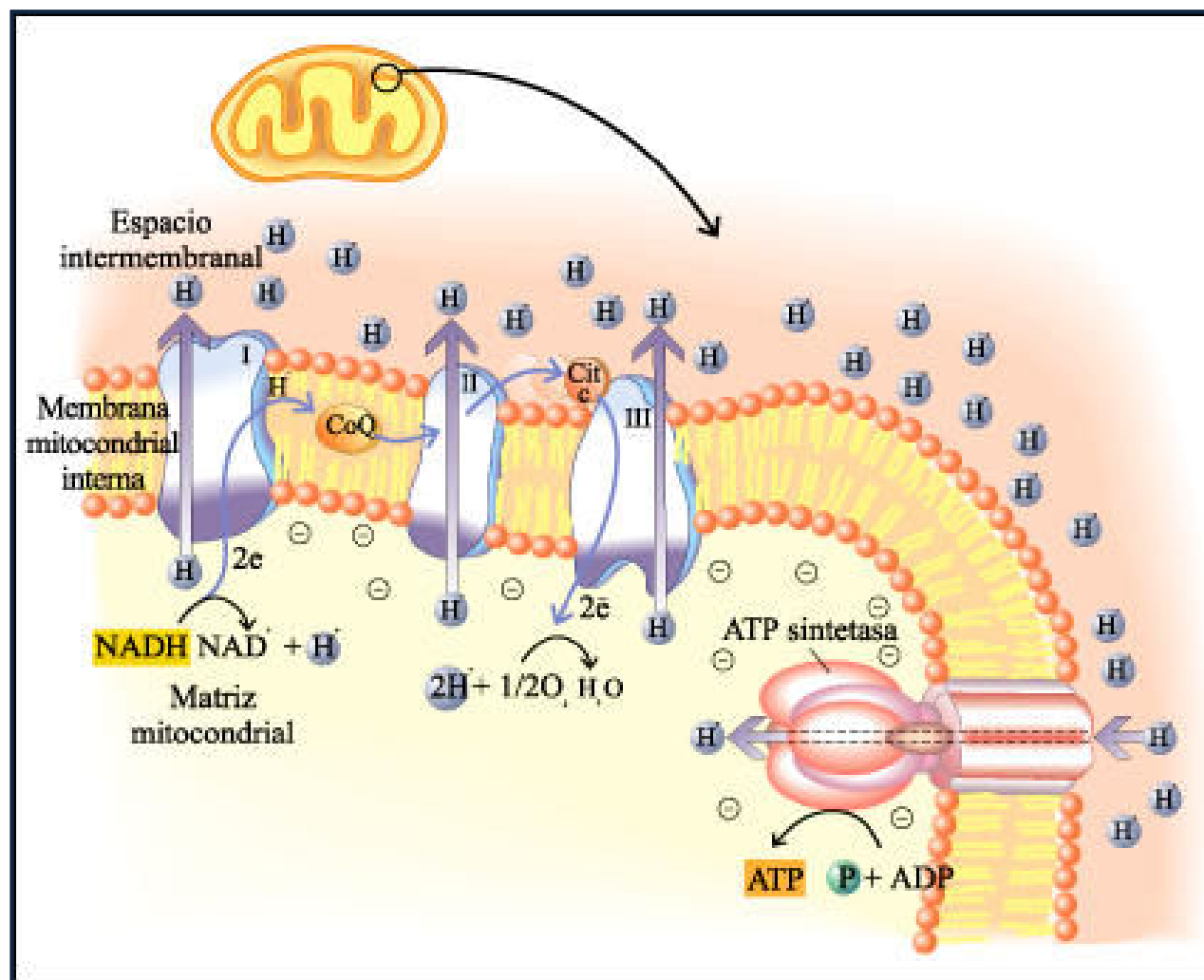
## 3. *Espaço Intermembrana*

→ Espaço entre as membranas Externa e Interna

- Possui várias enzimas que utilizam o ATP proveniente da matriz para fosforilar outros nucleotídeos;



## Membrana Mitocondrial Interna



# Mitocôndrias: Estrutura

## 4. *Matriz Mitocondrial*

- Contém proteínas, ribossomos (menores que os encontrados no citosol) e DNA circular (típico de bactérias);
- Possui enzimas necessárias para a Oxidação do Piruvato e Ácidos Graxos, no **Ciclo do Ácido Cítrico**;
- DNA codifica para 37 genes utilizados na síntese proteica mitocondrial:
  - 13 polipeptídios mitocondriais
  - 2 RNAs ribossomais
  - 22 tRNAs
- \* DNA mitocondrial tem elevado índice de mutações, é 10 vezes maior que o DNA nuclear (falta dos mecanismos de reparo do mtDNA);

Quadro 2: Principais diferenças entre o DNA mitocondrial e o DNA nuclear

<b>DNA mitocondrial</b>	<b>DNA nuclear</b>
Circular	Linear
Sem íntrons	Com íntrons
Herança maternal	Herança mendeliana
16.569 pares de bases	7 bilhões de pares de bases
37 genes	100.000 genes

- Somente o DNA mitocondrial da mãe é herdado:
  - zigoto possui cerca de 100.000 cópias de mtDNA do oócito;
  - espermatozoides possuem cerca de 100 cópias de mtDNA que não entram no oócito na fertilização;
- \* 90 proteínas mitocondriais são codificadas no DNA nuclear;

# Mitocôndrias: Funções

## 1. Produção de Energia

- Através da dupla membrana fosfolipídica é formado um gradiente eletroquímico de prótons e produção de ATP



**Fosforilação Oxidativa**

## 2. Unidades independentes no interior das células

- DNAmít e ribossomos para a síntese de RNA e proteínas mitocondriais

## 3. Sobrevivência celular

- Mitocôndria participa do processo de Morte Celular Programada - ***Apoptose***



# Função Mitocondrial: Fosforilação Oxidativa

- Conceito:

***Fosforilação Oxidativa é uma via metabólica que utiliza energia liberada pela oxidação de nutrientes na produção de adenosina trifosfato (ATP)***

- ✓ O processo refere-se à fosforilação do ADP em ATP, utilizando para isso a energia libertada nas reações de oxidação-redução (**NADH** e **FADH<sub>2</sub>**);
- ✓ Dependendo do transporte de elétrons na membrana interna mitocondrial – ***Cadeia Transportadora de Elétrons***;
- ✓ Principal fonte de ATP: enquanto que a Glicólise produz 2 ATPs a ***Fosforilação Oxidativa produz 30 ATPs/glicose oxidada***.

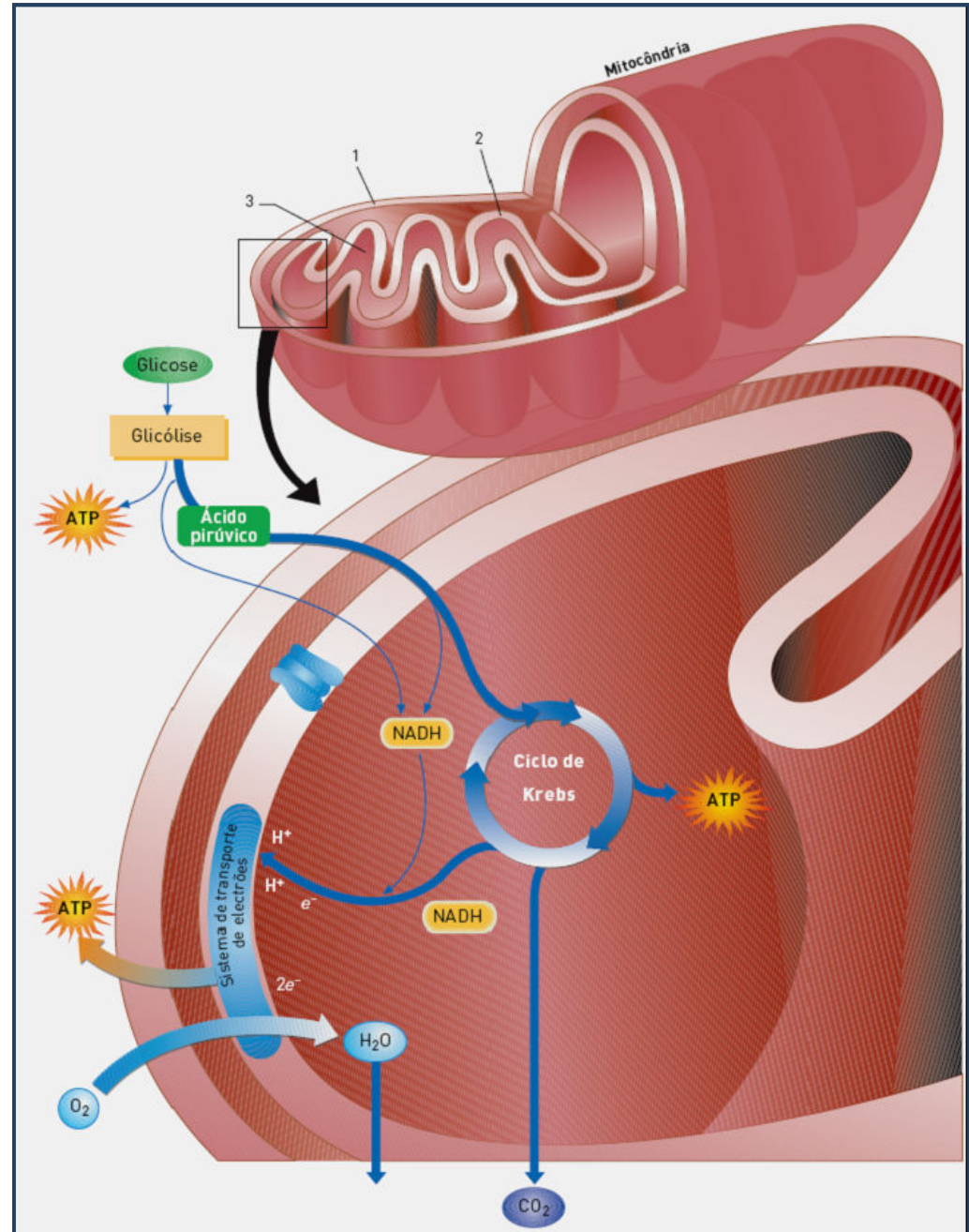
***Fosforilação Oxidativa = Cadeia Transportadora de Elétrons + ATP-sintetase***

# *Ciclo do Ácido Cítrico ou Ciclo de Krebs*

- O ciclo é **executado na matriz mitocondrial** como parte do metabolismo aeróbio.
- Fonte combustível: ***Piruvato*** (açúcares) e ***Ácidos Graxos*** (gorduras)
- Estas moléculas são transportadas pela membrana mitocondrial interna;
- Na matriz mitocondrial são convertidas em acetil-CoA;
- *O Ciclo do Ácido Cítrico gera elétrons de alta energia transportados por NADH e FADH<sub>2</sub>*  
  
→ ***Ciclo de Krebs fornece elétrons para a Fosforilação Oxidativa***

# Ciclo de Krebs:

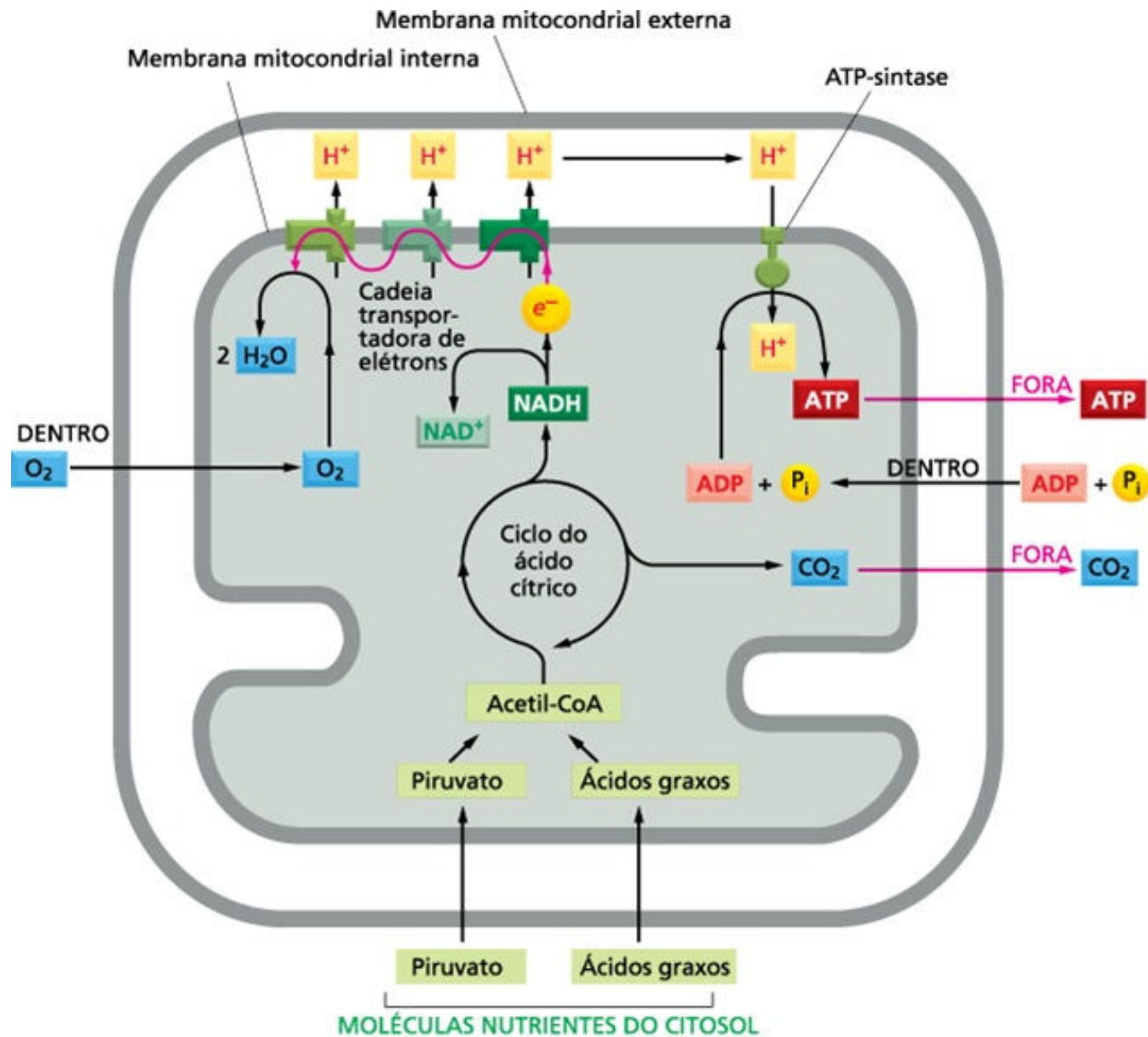
- Glicólise:  
ocorre no **citoplasma celular**
- Ciclo de Krebs:  
ocorre na **matriz mitocondrial**
- Fosforilação Oxidativa:  
**membrana interna mitocondrial**



# Cadeia Transportadora de Elétrons

- Ocorre na **Membrana Interna Mitocondrial**, também é chamada de **Cadeia Respiratória**;
- NADH e FADH<sub>2</sub> doam seus elétrons de alta energia para a cadeia transportadora de elétrons, sendo oxidadas em NAD<sup>+</sup> e FAD;
- Os e<sup>-</sup> são passados rapidamente pela cadeia até o O<sub>2</sub> para formar H<sub>2</sub>O;
- A **transferência de elétrons libera energia que é utilizada para bombear os prótons (H<sup>+</sup>)** através da membrana interna;
- **Gerando um gradiente eletroquímico** de prótons que promove a **síntese de ATP** (a partir de ADP e fosfato inorgânico);

# Fosforilação Oxidativa:





# Cadeia Transportadora de Elétrons

- Formada por mais de 40 proteínas;
- **Complexos Enzimáticos Respiratórios:** são sítios do bombeamento de prótons através da membrana à medida que os elétrons são transferidos por ela.

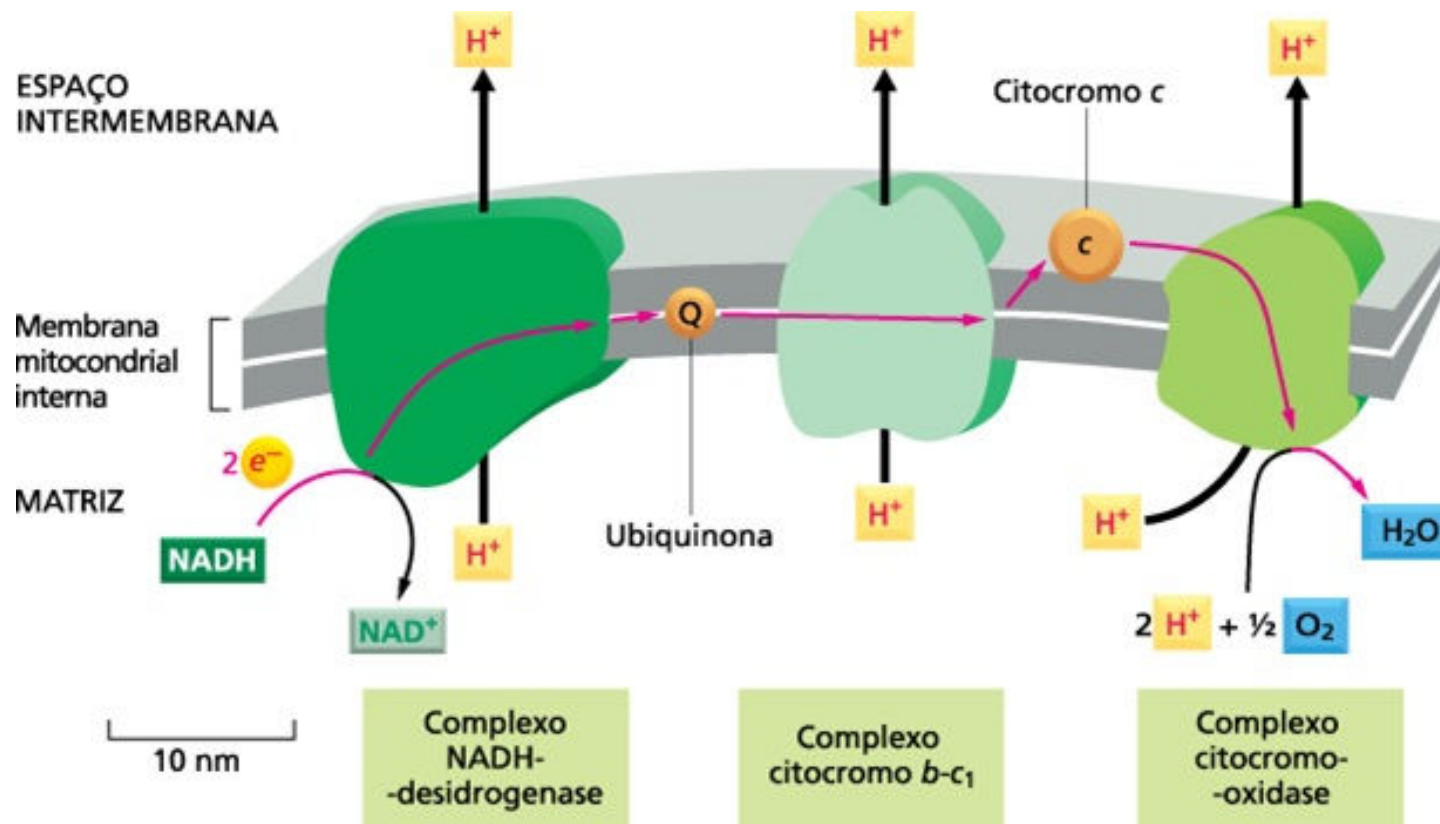
**Complexo NADH-desidrogenase:** acceptora de elétrons de NADH, catalisando a primeira reação

**Complexo do Citocromo b-c1:** os elétrons perdem energia a medida que evoluem na cadeia;

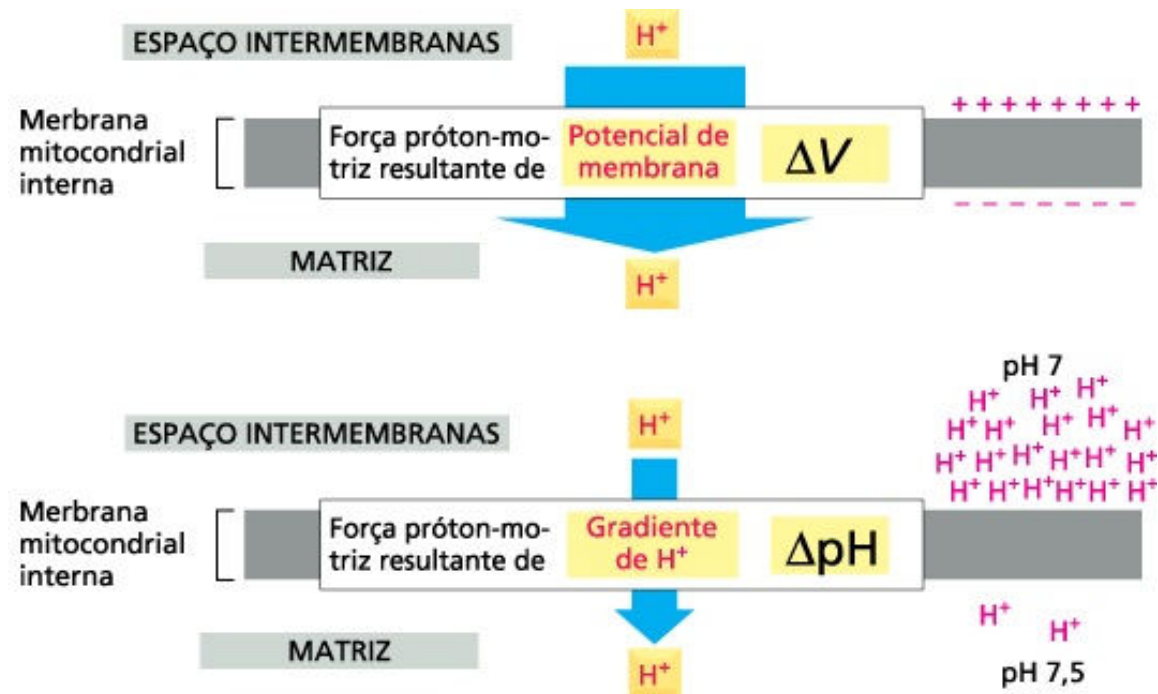
**Complexo Citocromo-Oxidase:** elétrons são combinados com molécula de  $O_2$  para formar  $H_2O$ ;

*\* Carreadores de elétrons móveis transportam os elétrons entre os complexos enzimáticos respiratórios.*

- ✓ **Ubiquinona:** também chamada de **Coenzima Q<sub>10</sub>**, é componente da cadeia transportadora de elétrons, é livremente móvel na bicamada lipídica, **transfere um H<sup>+</sup> por par de elétrons que transportar;**
- ✓ **Citocromo:** é uma proteína solúvel associada a membrana mitocondrial interna essencial na cadeia transportadora de elétrons. **Transfere um H<sup>+</sup> para cada elétron que transportar;**

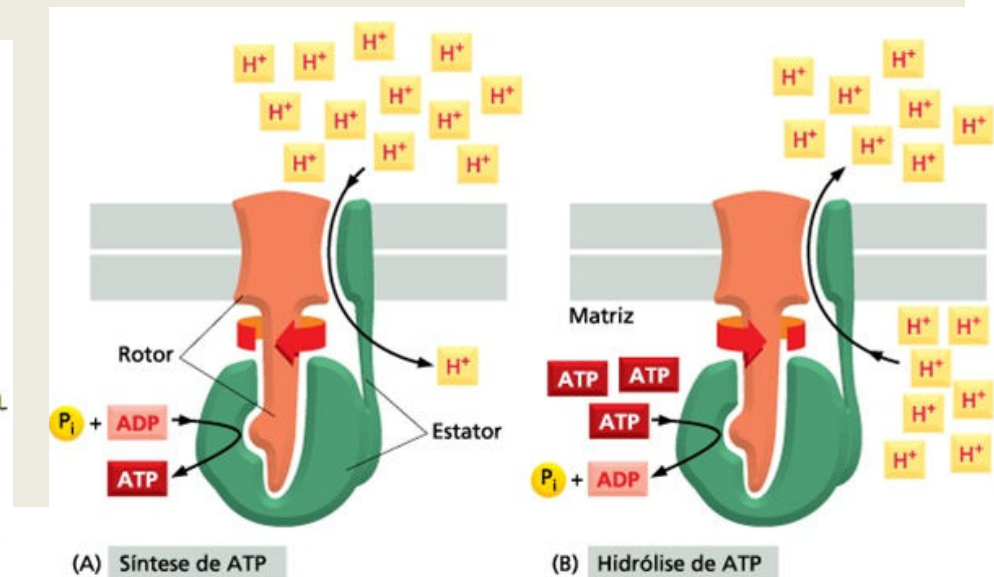
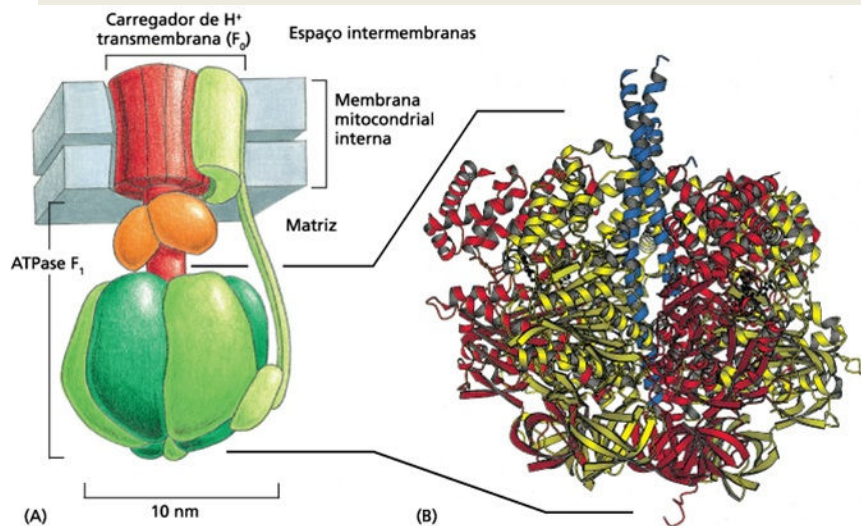


- ✓ O **bombeamento de prótons gera um gradiente de pH** através da membrana interna mitocondrial;
- ✓ Membrana Mitocondrial Interna na *face interna é negativa* e a *face externa é positiva* como resultado do fluxo de saída de H<sup>+</sup>;
- \* O gradiente de pH e o potencial de membrana agem juntos para criar um elevado gradiente eletroquímico de prótons, tornando favorável o fluxo de H<sup>+</sup> de volta para a matriz mitocondrial – **Força Próton-Motriz**



# ATP-sintetase

- Enzima que se encontra embebida na membrana mitocondrial interna que é **responsável pela síntese de ATP**;
  - ATP-sintetase permite que os prótons possam fluir de volta através da membrana, a favor do gradiente eletroquímico;
- \* A medida que os prótons passam pela enzima está favorecida a reação de **ADP + Pi** para produzir **ATP**;*







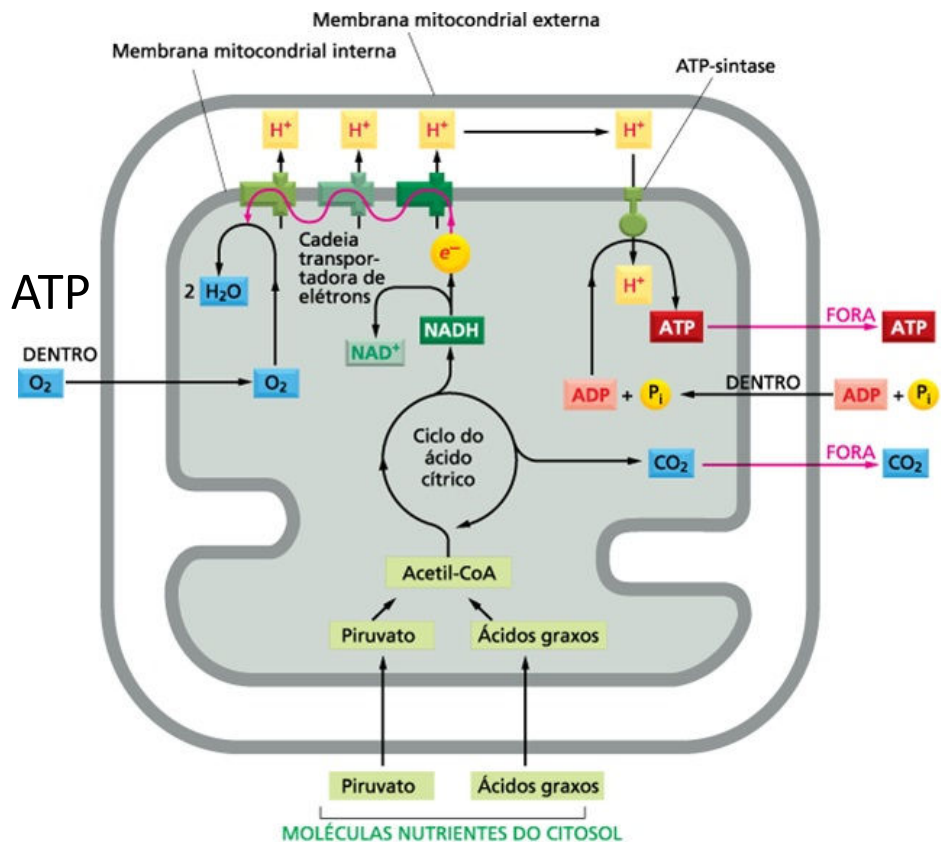
# Fosforilação Oxidativa

- **Fosforilação Oxidativa:**

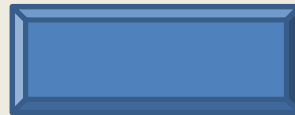
pois envolve o consumo de **O<sub>2</sub>** e adição de **grupo fosfato em ADP**;

- **Acoplamento Quimiosmótico:**

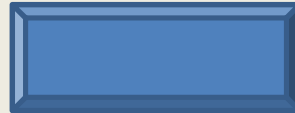
céls aproveitam a energia livre gerada pela transferência de elétrons para a síntese de ATP a partir de ADP + Pi



**Cadeia Transportadora de Elétrons:**



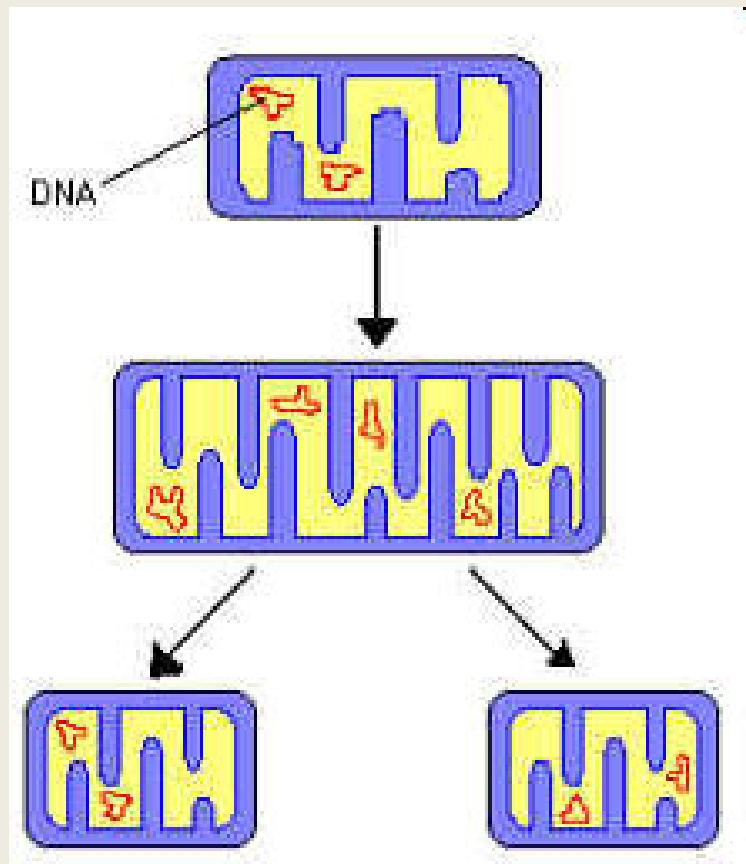
**Síntese de ATP:**



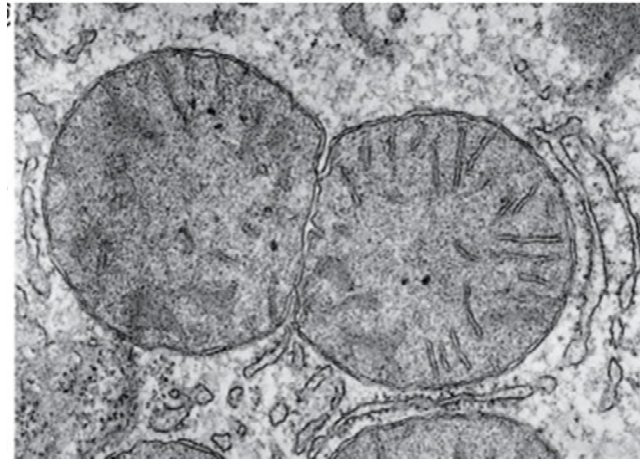
# Mitocôndria - Reprodução

- Antes que a células se divida, todos os seus componentes são duplicados, incluindo as mitocôndrias.
- A reprodução das mitocôndrias ocorre por **fissão binária**, onde acontece um aumento de tamanho da organela preexistente para a fissão.
  - Nem todas as mitocôndrias existentes na célula sofrem fissão, e para compensar isso, *algumas se dividem repetidas vezes*.
  - *A transcrição e replicação do DNA mitocondrial e a síntese proteica ocorrem na matriz das mitocôndrias*, porém a maioria das proteínas que medeiam esses processos são codificadas no genoma nucleares e importadas para dentro da organela.
  - Apesar das mitocôndrias produzirem suas proteínas, a maioria provém do citosol, onde são sintetizadas por ribossomos citosólicos.

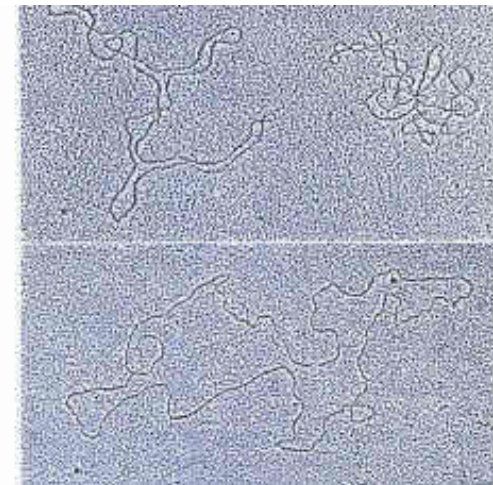
# Mitocôndria - Reprodução



Reprodução das mitocôndrias por Fissão Binária



Fissão Binária mitocondrial



DNA circular mitocondrial

# Mitocôndria - Apoptose

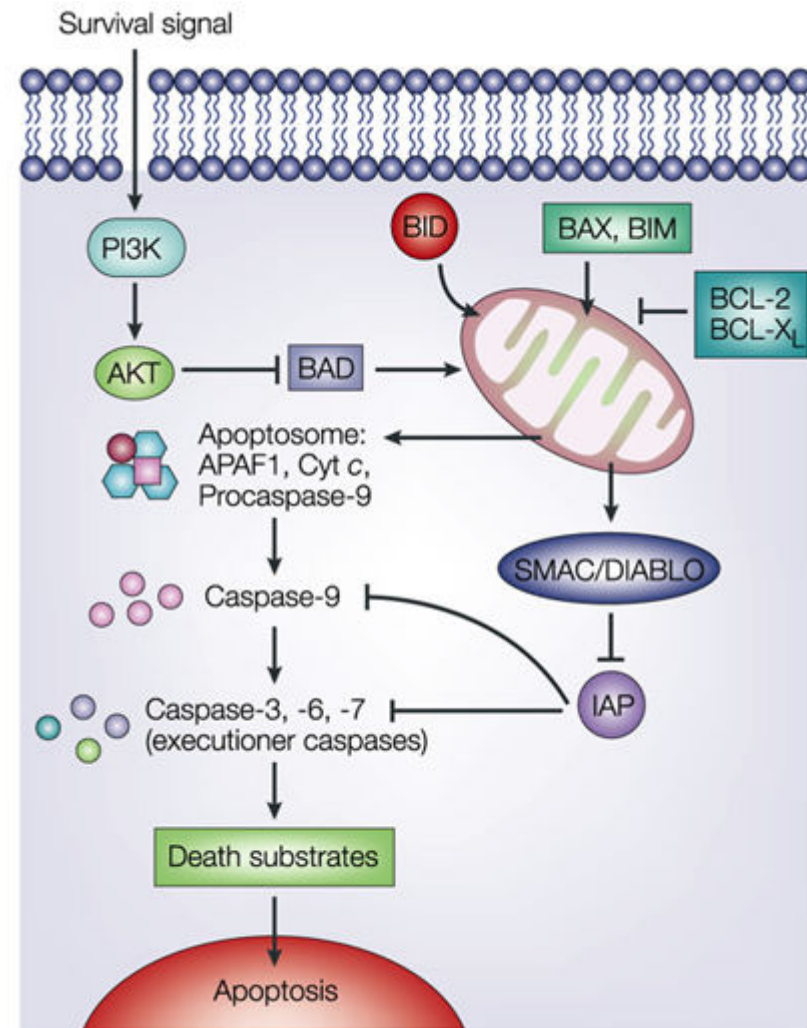
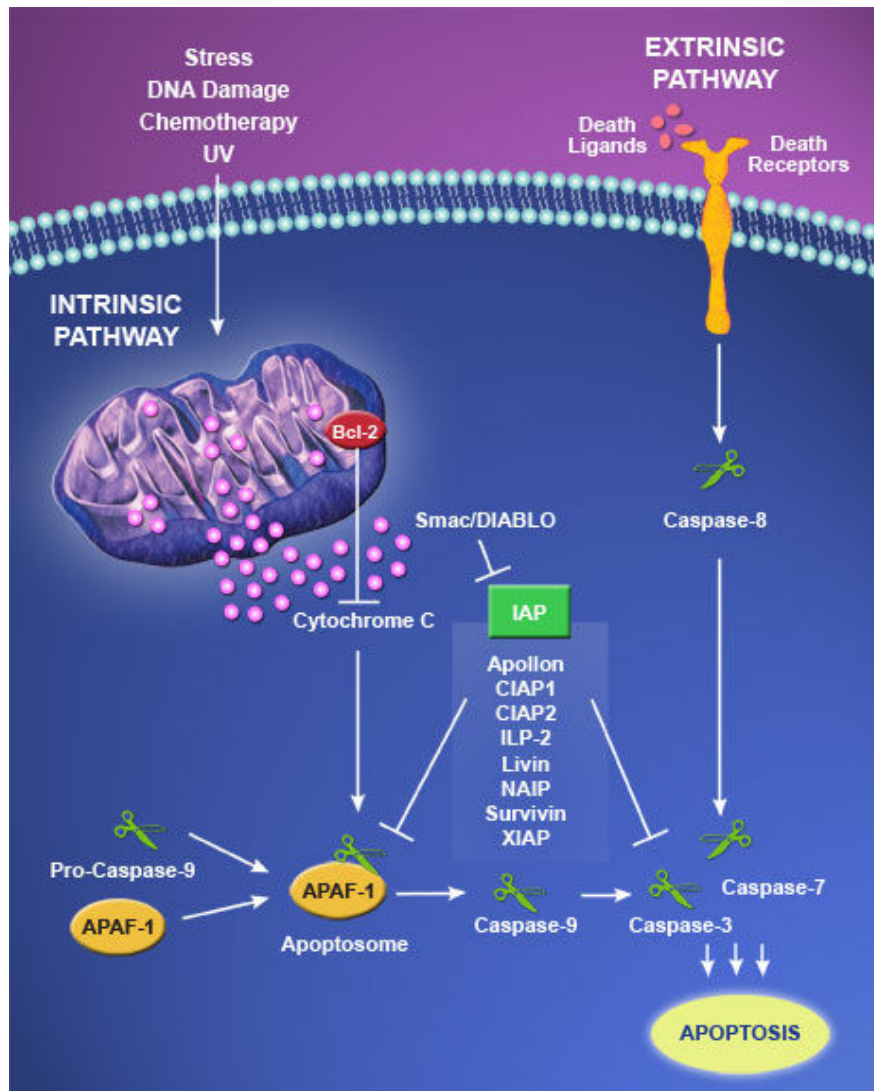
- **Apoptose:** conhecida como "*morte celular programada*", é um tipo de "autodestruição celular" que ocorre de forma ordenada e demanda energia, é relacionada com a manutenção da homeostase e com a regulação fisiológica.
  - **Mitocôndria x Apoptose:** *mitocôndria é o principal mediador na ativação da via intrínseca da apoptose; através da permeabilização mitocondrial e liberação de moléculas pró-apoptóticas (Smac/DIABLO e Citocromo c).*
- \* *A homeostasia é mantida pelo controle da quantidade de proteínas antiapoptóticas e pró-apoptóticas.*
- A expressão de **Bcl-2** (*antiapoptótico*) é capaz de estabilizar o potencial de membrana da mitocôndria (*inibe a permeabilização da membrana externa da mitocôndria*).
  - Estímulos, como dano ao DNA, levam ao aumento na expressão das proteínas *pró-apoptóticas*, como **Bax**, que *promove a apoptose através da interação com a mitocôndria (permeabilização da membrana mitocondrial e saída de Smac/DIABLO e Citocromo c)*;

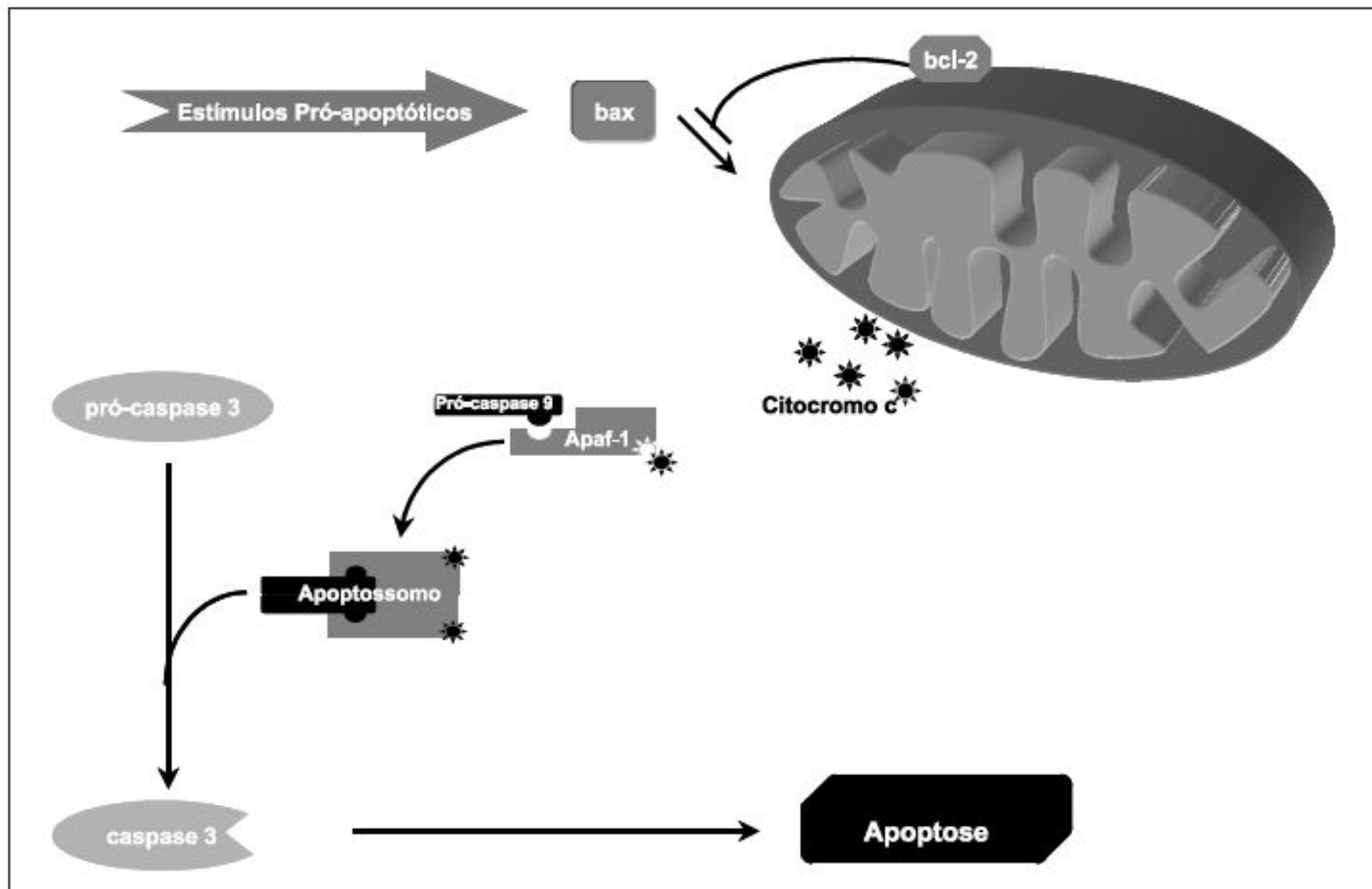


# Mitocôndria - Apoptose

- Durante a apoptose, as IAP (*Inhibitor of Apoptosis Protein*) são removidas por *proteína liberada da mitocôndria* : ***Smac/DIABLO***;
- Após dano mitocondrial, a ***Smac/DIABLO e citocromo c*** são liberados do espaço intermembrana para o citoplasma,;
  - *Citocromo c* liga-se à *APAF-1* e ativa diretamente a *caspase-9*;
  - *Smac/DIABLO* remove as IAP de sua ligação inibitória com as *caspases*;

# Mitocôndria - Apoptose





**Figura 4.** Via intrínseca de ativação da apoptose

Apaf-1=fator de ativação de protease associada à apoptose 1

# *Doenças por Deficiência Mitochondrial*

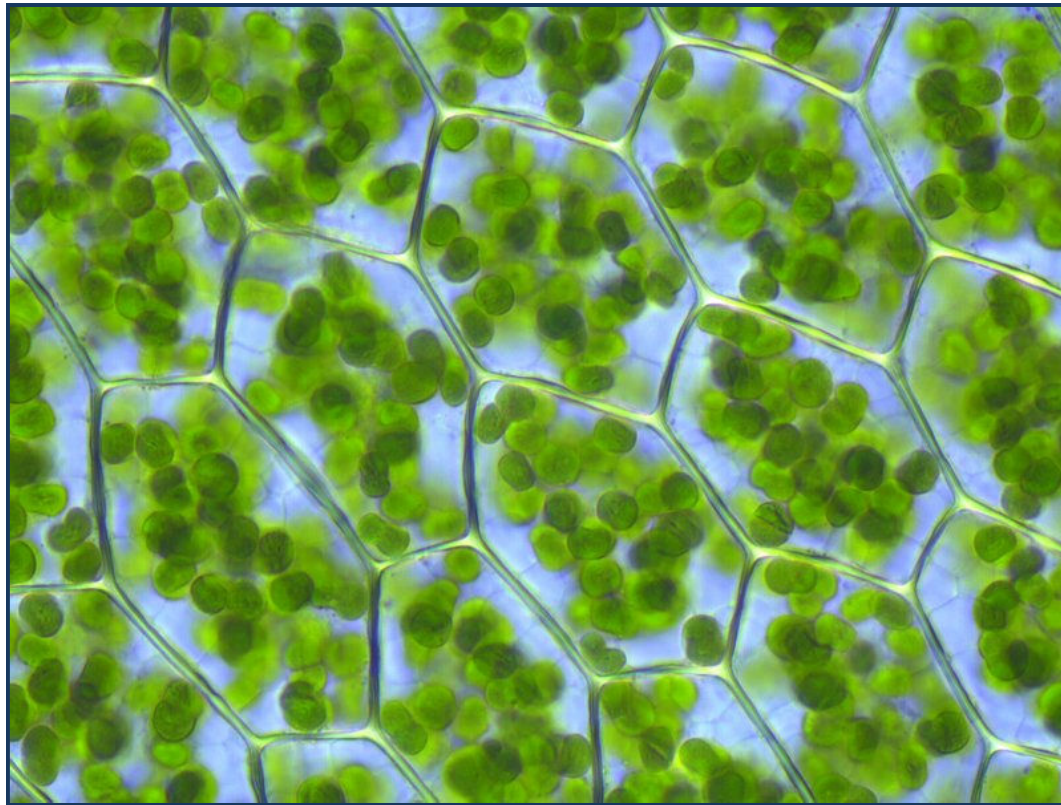
- Miopatia Mitochondrial Infantil:
    - Ausência de enzimas da cadeia transportadora de elétrons;
    - Doença fatal, com disfunção muscular e insuficiência renal;
  - Doença de Luft:
    - Aumento quantitativo das mitocôndrias musculares;
    - Mimetiza Hipertireoidismo;
- \* São doenças hereditárias via materna

Quadro 4. Aspectos clínicos e moleculares de algumas doenças mitocondriais

Doenças	Características Clínicas	Gene Mitocondrial	Mutações
Atrofia óptica hereditária de Leber	Perda visual (central) na segunda ou terceira década de vida	ND1, ND4, ND6	De ponto: 3460 A, 11778 A, 14484C
MELAS	AVCs antes dos 40 anos, demência, enxaqueca, convulsões	RNAt <sup>leu(UUR)</sup>	De ponto: 3243 G, 3271
MERRF	Epilepsia mioclônica, ataxia, miopatia, neuropatia, demência	RNAt <sup>lys</sup>	De ponto: 8344G 8356C
Oftalmoplegia externa progressiva	Ptose, fraqueza dos músculos extra-oculares e membros	RNAt <sup>Asn</sup>	De ponto: 5692G Deleções múltiplas
Miopatia com cardiomiopatia hipertrófica	Fraqueza muscular, miopatia	RNAt <sup>Ile</sup>	De ponto: 4317G, 4269G
Diabete com Surdez	Diabetes melito II, surdez neurossensorial	RNAt <sup>leu(UUR)</sup>	De ponto: 3243G, Deleções e Duplicações do DNA mitocondrial

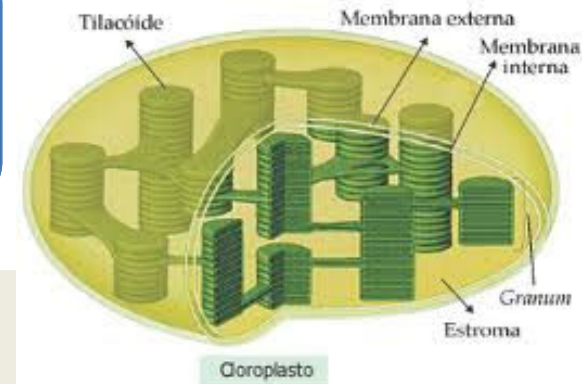
(Adaptado livremente de Carakushanski, Everson – Doenças genéticas em pediatria; Ed Guanabara Koogan, RJ 2001)

# Cloroplasto





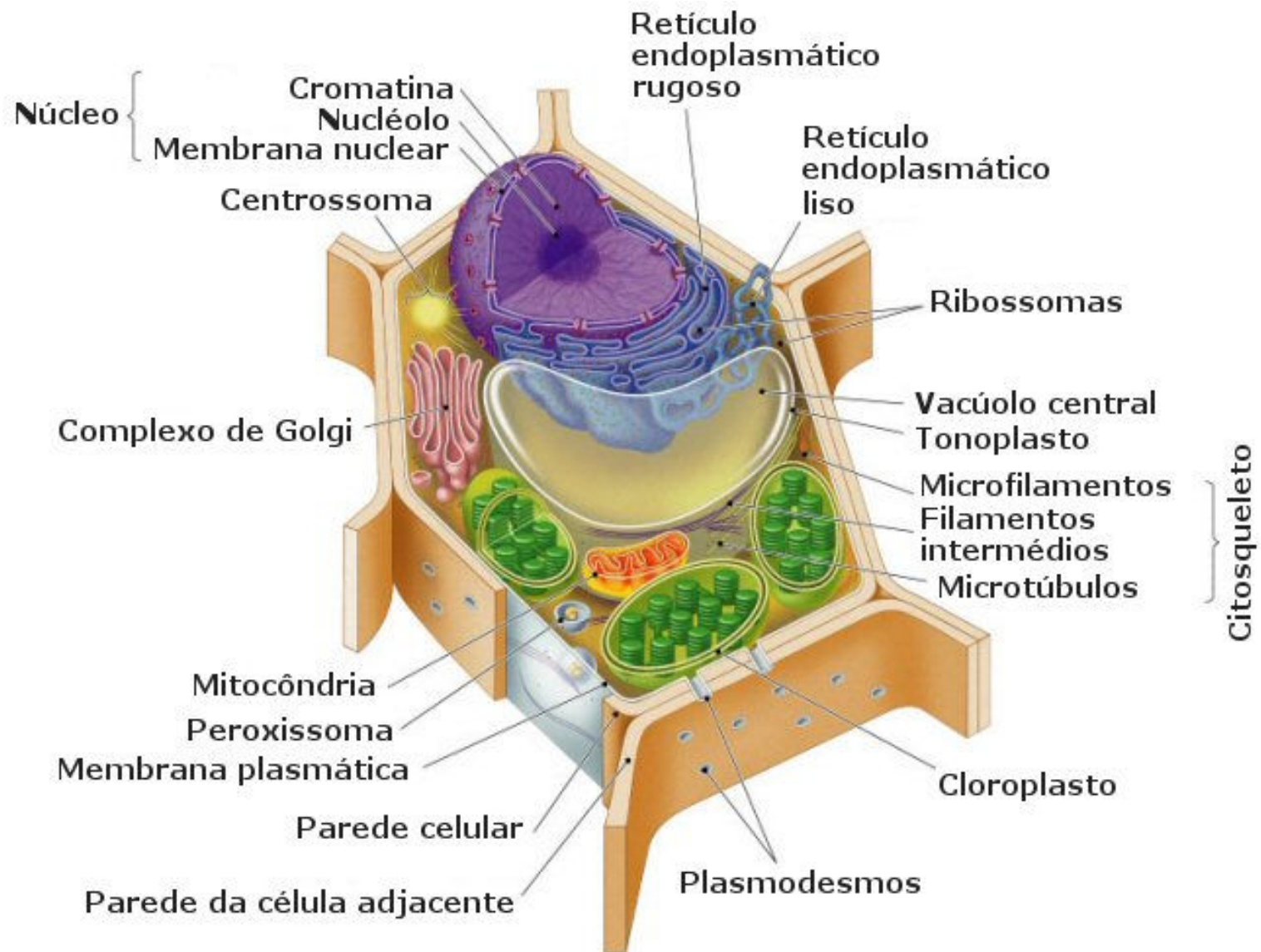
# Cloroplastos



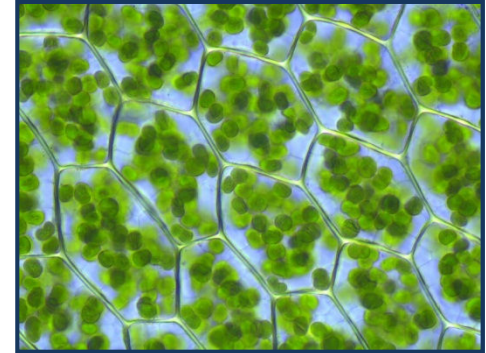
- Conceito:

*são as maiores organelas das células vegetais, algas verdes e cianobactérias (organismos fotossintetizadores);*

- ✓ O **Cloroplasto** é a organela onde se realiza a **Fotossíntese**;
- ✓ Cloroplastos possuem a **Clorofila**, pigmento responsável pela sua cor verde, que captura a luz;
- ✓ Todas as partes verdes de um vegetal possuem cloroplastos → folhas são o principal local de fotossíntese;
- ✓ Herança Citoplasmática Materna (2/3); 1/3 herança mendeliana);



# Cloroplastos



- **Plastos:** são estruturas que contêm **membrana dupla** e um **genoma próprio**;
  - **Cromoplastos:**
    - Coloridos;
    - Cloroplastos são cromoplastos de plantas superiores, são de cor verde e contém clorofila e carotenóides;
  - **Leucoplastos:**
    - sem cor;
    - tem como função acúmulo de substâncias sintetizadas;
    - são **Amiloplastos** (amido), **Oleoplastos** (lipídios) e **Proteoplastos** (proteínas);

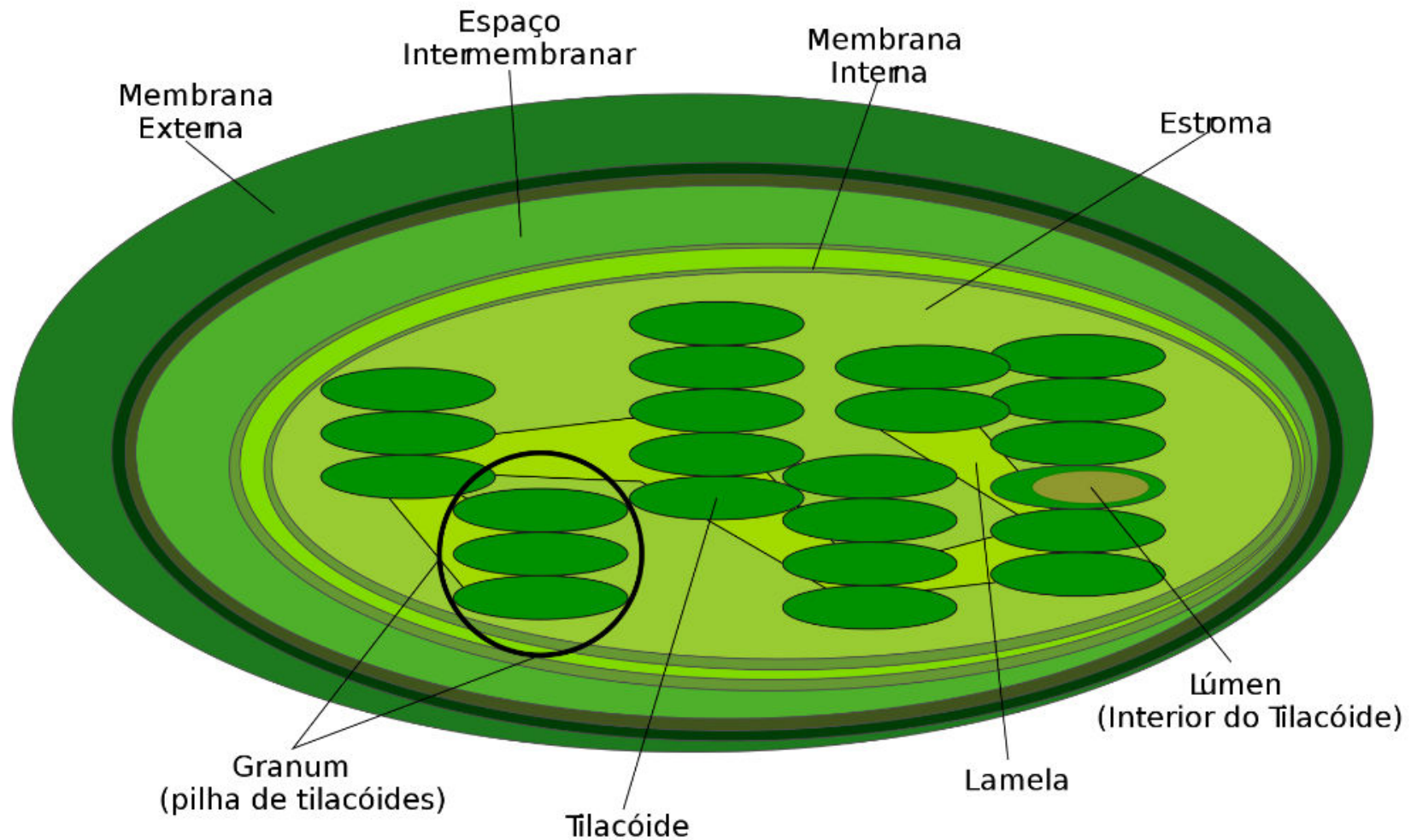
# Cloroplastos: características fundamentais

- ✓ Composição: 50% de proteínas, 35% de lipídeos, 5% de clorofila, água e carotenóides;
- ✓ possuem RNA, DNA e ribossomos, podendo assim sintetizar proteínas e multiplicar-se;
- ✓ Variam em tamanho e forma entre as diferentes células;
- ✓ Os **cloroplastos realizam fotossíntese** durante as horas diurnas;
- ✓ células que realizam fotossíntese contém cerca de 40 a 200 cloroplastos, que se movimentam em função da intensidade de luz;
- Cloroplastos assemelham-se a mitocôndrias, porém são maiores. ***No entanto, não há cadeia de transporte de elétrons na membrana interna dos cloroplastos;***

# *Cloroplastos: Estrutura*

- *Membrana Externa*
- *Membrana Interna*
- *Tilacóides (membrana do Tilacóide)*
- *Lúmen (interior do Tilacóide)*
- *Clorofila*
- *Grana ou Granum*
- *Lamela*
- *Estroma (interior do cloroplasto)*
- *DNA circular*

# Cloroplastos: Estrutura





# Cloroplastos: Estrutura

## 1. Membranas dos Cloroplastos

- **Externa:**

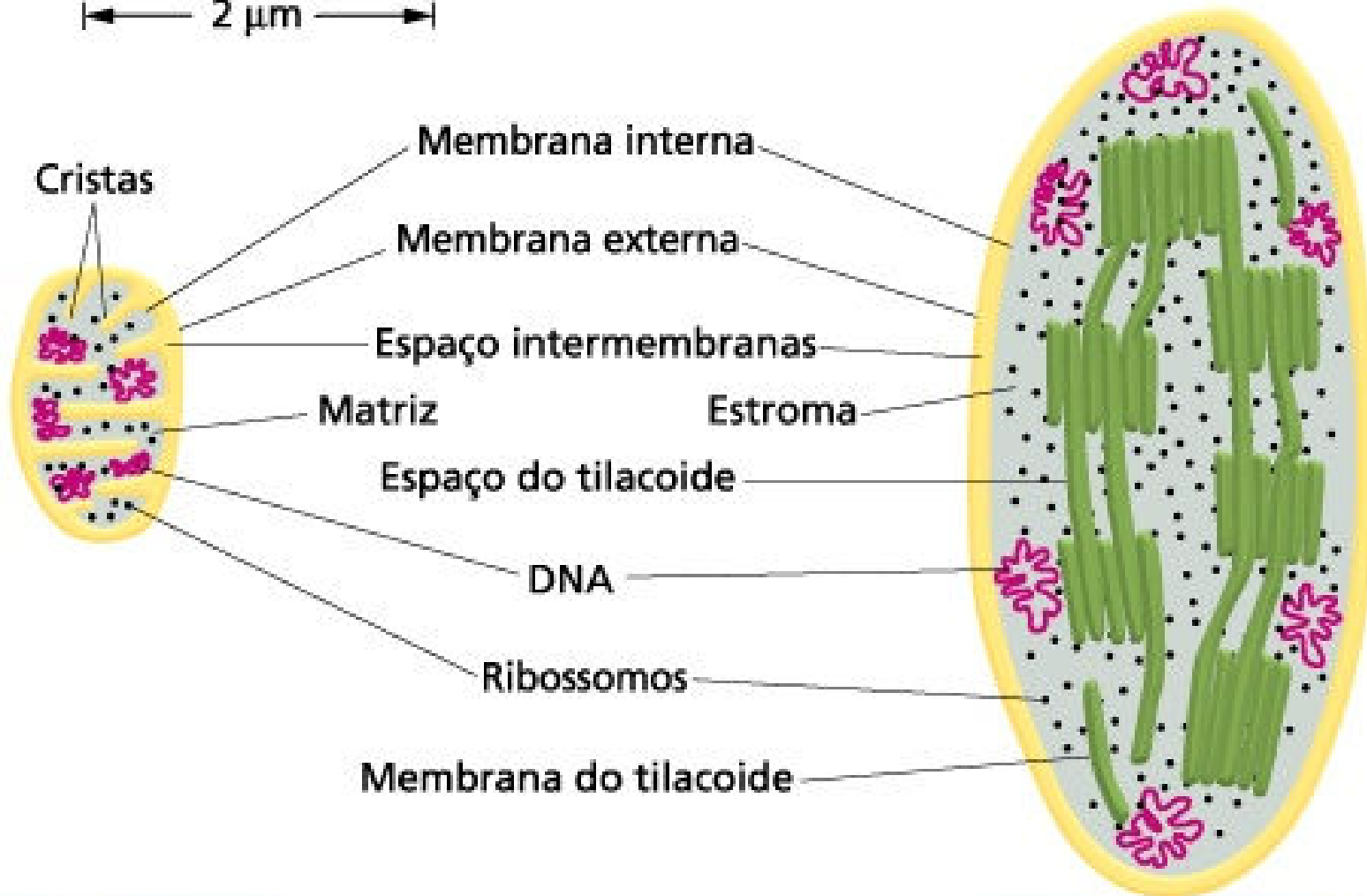
- Membrana lipoproteica;
- Altamente permeável;
- contém **Porinas**, canais permeáveis a moléculas inferiores a 13.000 dáltons;

- **Interna:**

- Menos permeável (impermeável a íons e metabólitos);
- Possui proteínas de membrana embebidas;
- Possui proteína transportadora do Fosfato inorgânico (Pi);
- Circunda o espaço interno determinado como **Estroma**;
- *Não possui cadeia transportadora de elétrons e não possui cristas;*

\* **Envelope do Cloroplasto:** espaço entre as membranas externa e interna;

2  $\mu\text{m}$



Mitocôndria

Cloroplasto

# Cloroplastos: Estrutura

## 2. *Estroma:*

- Correspondente a matriz mitocondrial;
- Possui enzimas metabólicas, grãos de amido, ribossomos e DNA circular;

## 3. *Tilacóide:*

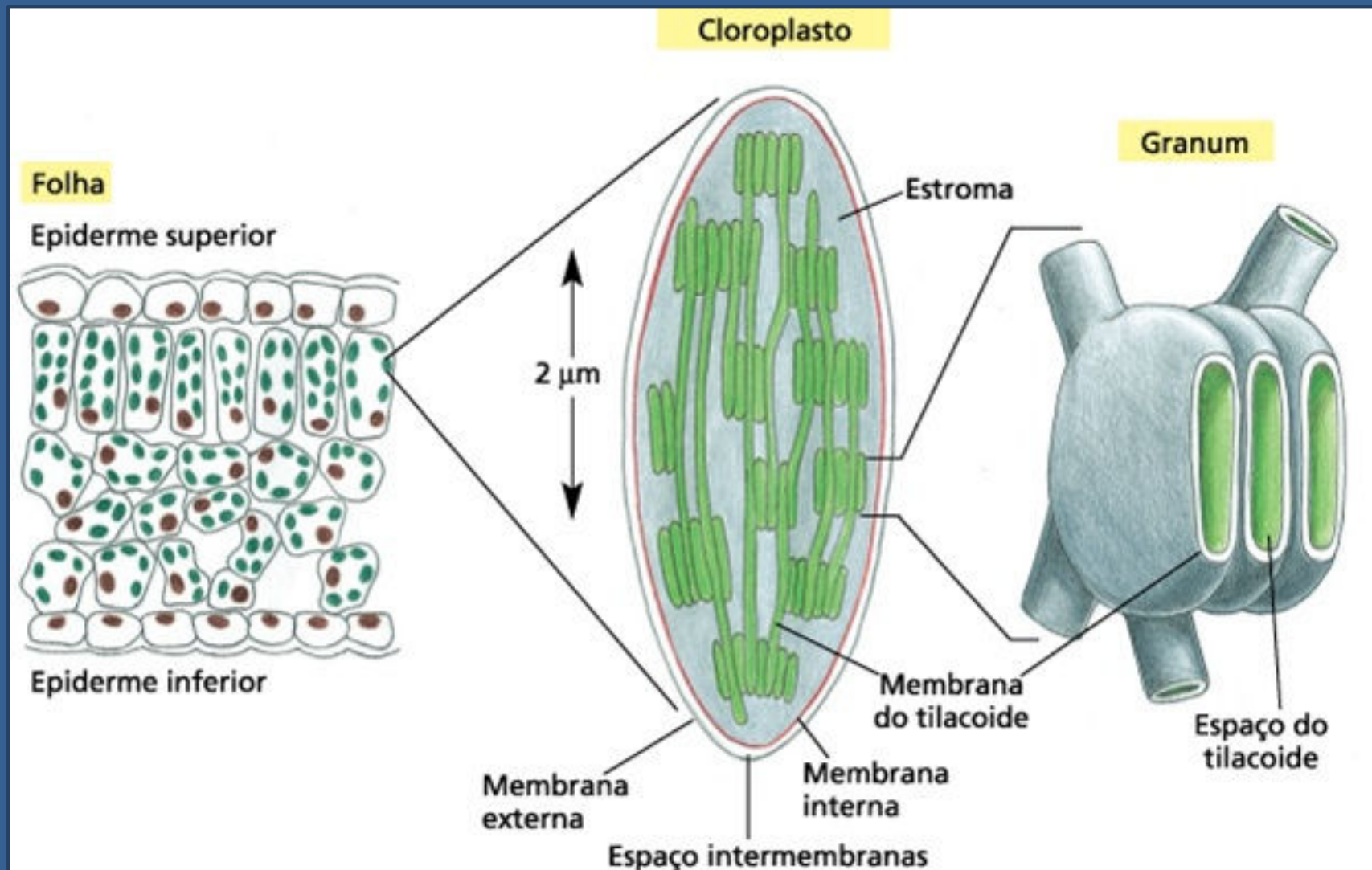
- sacos chatos em forma de disco;
- Os Tilacóide são envoltos por uma terceira membrana, ***Membrana do Tilacóide***;
- Tilacóides são arranjados em forma de pilhas, que são ***Grana*** ou Granum;
- O espaço interno de cada tilacóide é conectado, ***Lamelas***;

# Cloroplastos: Estrutura

## 4. Membrana do Tilacóide:

→ contém todos os sistemas geradores de energia

- **Sistemas captadores de luz (Fotossistemas)**
- **Cadeias Fotossintéticas Transportadoras de Elétrons**
- **Ribulose (Fixação dos Carbonos)**
- **ATP-sintetase;**
- **Fotossistemas: Complexo Proteínas-Clorofila** ligados na membrana do Tilacóide (*Fotossistema I e Fotossistema II*);
  - \* **3 membranas nos cloroplastos:**
    - Membrana Externa;
    - Membrana Interna;
    - Membrana do Tilacóide;
  - \* **3 compartimentos internos nos cloroplastos:**
    - Espaço Intermembranas (*envelope do cloroplasto*);
    - Estroma;
    - Espaço do Tilacóide (*Lúmen*);



# Cloroplastos: Estrutura

## 5. DNA:

→ DNA circular, com características muito semelhantes com das mitocôndrias e das bactérias.

- O DNA é em maior quantidade e mais complexo que em mitocôndria.
- Existem 30 a 200 cópias de DNA por organela contendo aproximadamente 120 genes.
- Genes codificam: 20 proteínas ribossômicas, 30 proteínas que funcionam na fotossíntese e algumas subunidades de RNA polimerase (proteínas envolvidas na expressão gênica);
- Mas mesmo sintetizando suas próprias proteínas, cerca de 90% das proteínas dos cloroplastos são codificadas pelos genes nucleares que são importadas do citosol para a organela;



# *Função dos Cloroplastos: Fotossíntese*

*\* Cloroplastos capturam a energia da luz solar e a utilizam para fixar carbono;*

*Conceito:* *Fotossíntese é um processo fisiológico realizado pelos vegetais clorofilados. Estes seres sintetizam dióxido de carbono e água, obtendo glicose, celulose e amido através de energia luminosa.*

*\* A fotossíntese ocorre em duas etapas separadas.*

# Fotossíntese

- **Estágio I: Reações na Luz**

- Produção de energia pelas reações fotossintéticas de transferência de elétrons → **Reações Luminosas**;
- Ocorrem inteiramente dentro da **membrana do tilacóide**;
- É dependente da luz;
- A energia da luz solar é capturada e transientemente armazenada em ligações de alta energia da **ATP** e da molécula carreadora ativada **NADPH**

\* **Energia da luz solar** energiza um **elétron da clorofila**, capacitando o elétron a mover-se pela **cadeia transportadora de elétrons** da membrana do tilacóide;

\* Durante o transporte de elétrons, o **H<sup>+</sup>** é bombeado pela membrana tilacóide, o **gradiente eletroquímico de prótons** promove a **síntese de ATP** no estroma;

\* Os elétrons de alta energia são movidos para o **NADP<sup>+</sup>**, convertendo-o em **NADPH**;

# Fotossíntese

→ *Luz do sol é absorvida pelas moléculas de clorofila;*

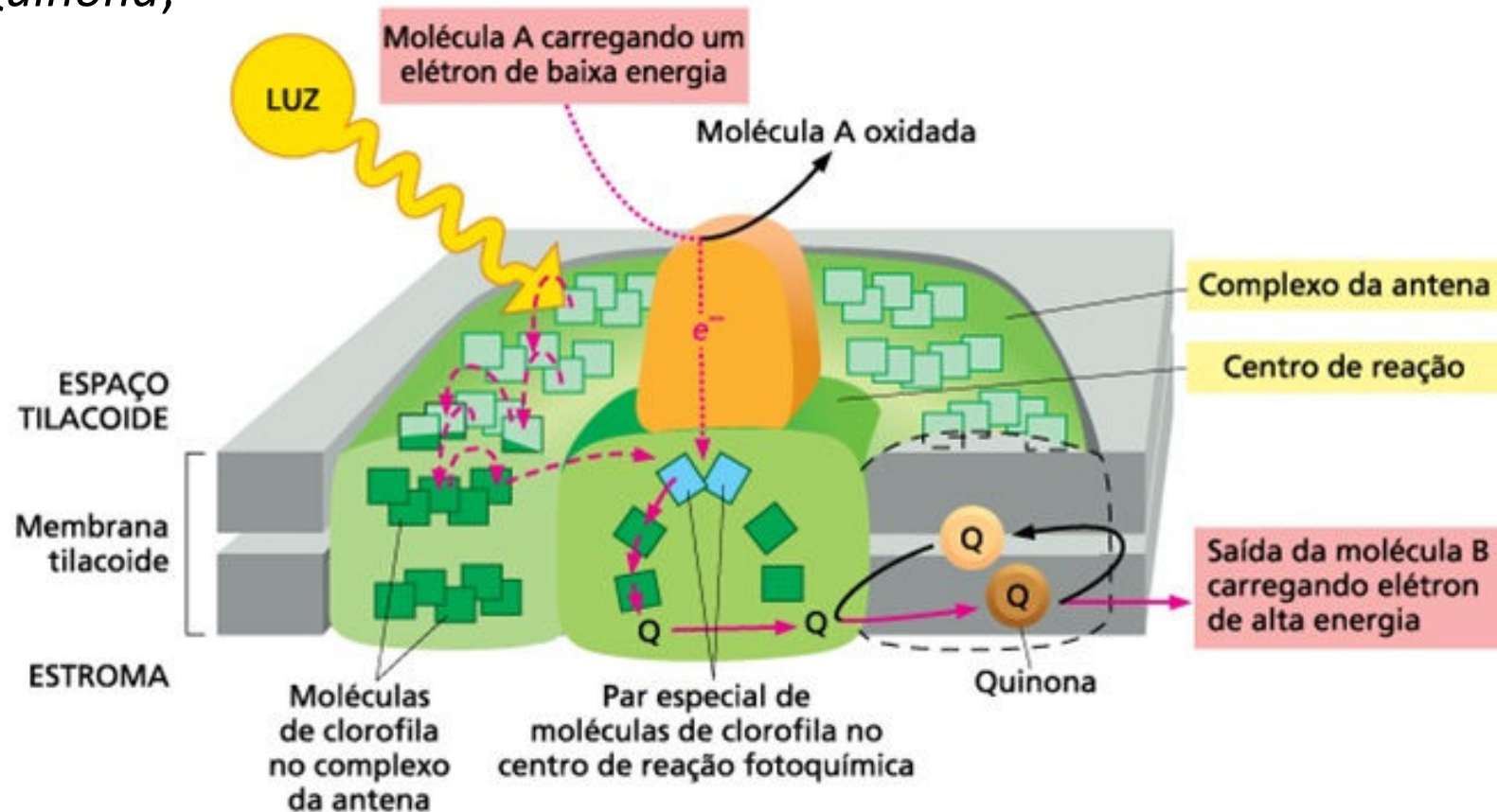
- Luz: forma de radiação eletromagnética, unidade: **fótons**;
- Quando a luz solar é absorvida por uma molécula do pigmento verde clorofila, os elétrons da clorofila interagem com os fótons da luz e são excitados a um **nível mais alto de energia**;

→ *As moléculas excitadas de clorofila direcionam a energia a um centro de reação;*

- Nas membranas tilacóides vegetais, as clorofilas capazes de absorver luz estão em *complexos multiproteicos*: **Fotossistemas**;
- **Fotossistemas** possuem: um **Complexo Antena** (*captura a energia luminosa*) e **Centro de Reação** (*converte energia luminosa em energia química*);

# Fotossistemas:

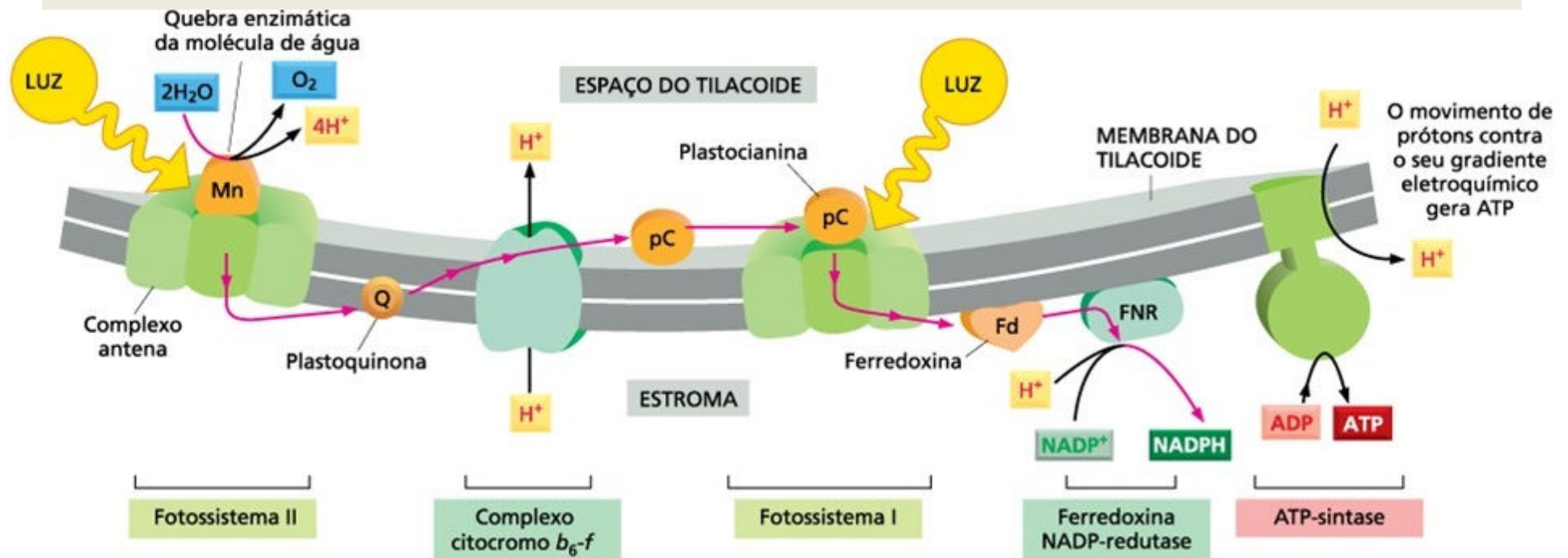
- ✓ **Antena (complexos antena) coleta energia de elétrons** que foram excitados pela luz e direciona para clorofila no centro de reação;
- ✓ **Centro de reação produz elétron de alta energia**, que é transferido para a cadeia transportadora de elétrons na membrana tilacóide, via *Quinona*;



# Cadeia Transportadora de Elétrons

→ gerar ATP e produzir molécula carreadora ativada NADPH é necessário a Cadeia transportadora de elétrons (semelhante a mitocôndria);

- 2 fótons precisam ser absorvidos no **Fotossistema II** (P680) e 2 fótons absorvidos pelo **Fotossistema I** (P700) para gerar uma molécula NADPH;
- Carreadores móveis: *Plastoquinona*, *Plastocianina* e *Ferredoxina*;
- *Fotofosforilação*: a cada 3 H<sup>+</sup> que retornam é produzido 1 ATP (*biossíntese de carboidratos*);

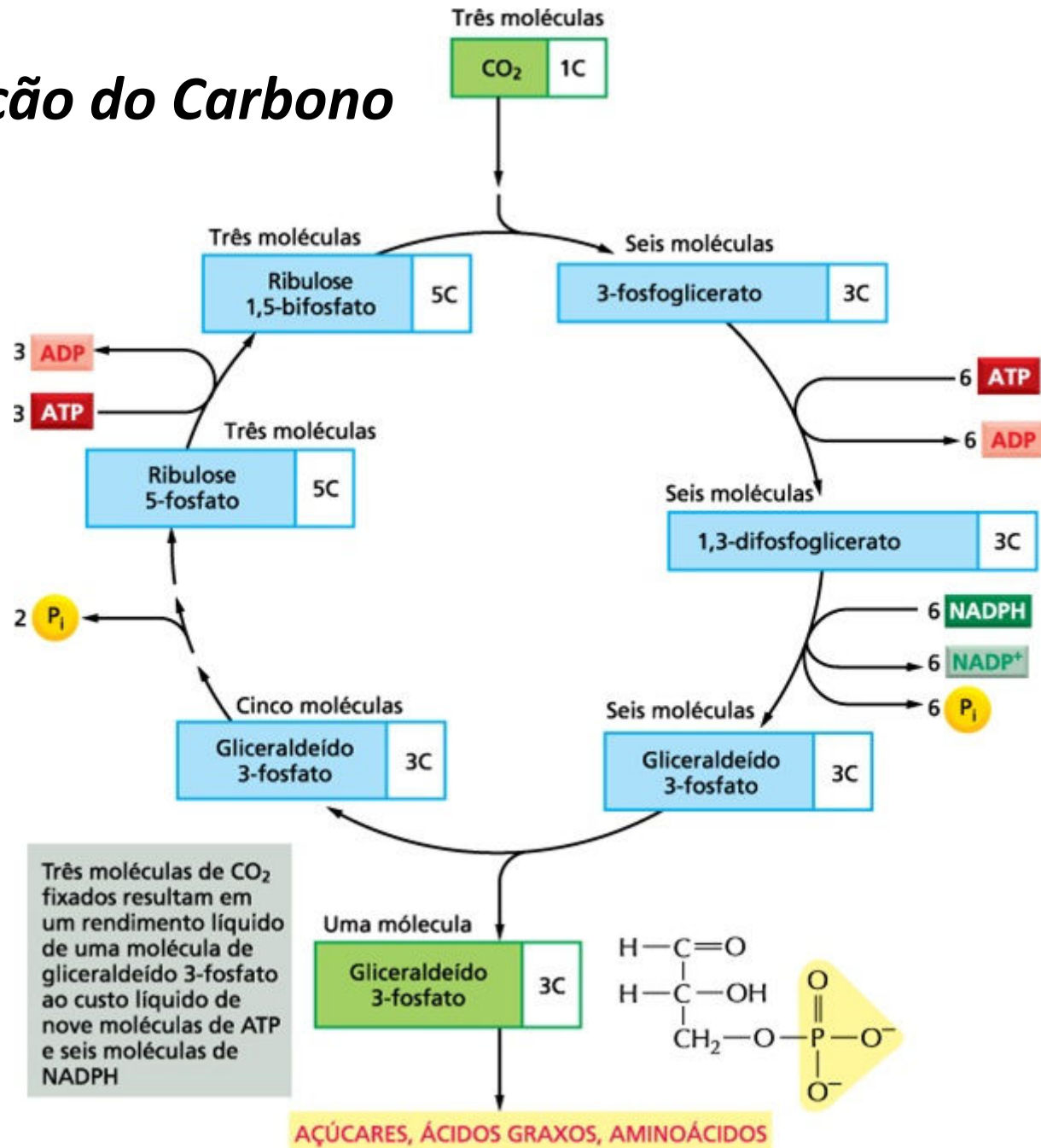


# Fotossíntese

- **Estágio II: Reações no Escuro**
  - Reações de fixação do carbono – ***Ciclo de Fixação do Carbono***;
  - ***Rubisco***: enzima que faz a **fixação de carbono nos cloroplastos**, 50% das proteínas do cloroplasto;
  - Estas reações correm no **estroma do cloroplasto** e continuam no citosol;
  - Independente de luz
  - *ATP e NADPH* produzidos pelas reações fotossintéticas de transferência de elétrons (estágio I) servem como fonte de energia e força redutora, *promovendo a conversão de CO<sub>2</sub> em carboidratos (Sacarose)*;
  - ***Sacarose*** é transportada para outros tecidos como *fonte de moléculas orgânicas e energia para o crescimento*;

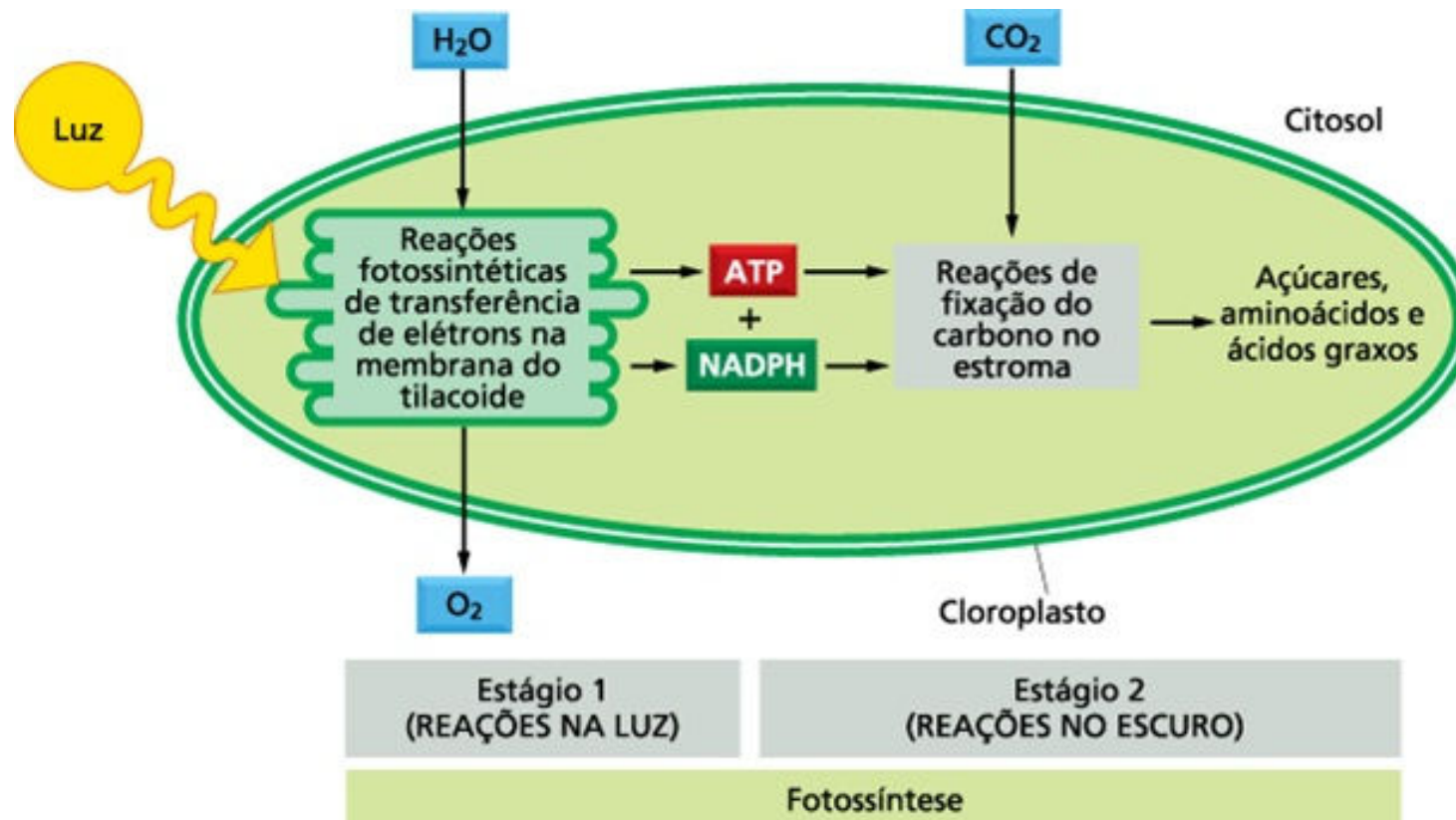


# Ciclo de Fixação do Carbono



# Fases da Fotossíntese

- ✓ Estágio 1: água é oxidada e o oxigênio é liberado nas reações fotossintéticas de transferência de elétrons que produz ATP e NADPH;
- ✓ Estágio 2: dióxido de carbono é assimilado para produzir açúcares e outras moléculas orgânicas nas reações de fixação do carbono. Inicia no estroma do cloroplasto e segue no citosol;



→ Nos vegetais os cloroplastos e mitocôndrias colaboram para suprir as células com metabólitos e ATP;

- ATP e NADPH são produzidos durante reações luminosas da fotossíntese (Estágio I da Fotossíntese);
- ATP e NADPH são direcionadas para o Ciclo de Fixação do Carbono, produzindo açúcares (Estágio II da Fotossíntese);
- Açúcares são armazenados no cloroplasto na forma de Amido (Leucoplastos);
- Açúcares entram na produção de energia que termina na produção de ATP pela mitocôndria;

