

# Metabolismo Celular Bioenergia



Profº André Montillo  
[www.montillo.com.br](http://www.montillo.com.br)

# Metabolismo Celular

## ❖ Definição:

É a soma de todas as reações químicas envolvidas na manutenção do estado dinâmico das células, onde milhares de reações ocorrem ao mesmo tempo, determinando uma constante síntese e fragmentação, em moléculas menores, das substâncias.

# Metabolismo Celular

## ❖ Classificação:

- Anabolismo (Vias Biossintéticas)
- Catabolismo

# Metabolismo Celular

## ❖ Classificação:

- **Anabolismo:** são as reações químicas (Vias Biossintéticas) que sintetizam os compostos simples e complexos necessários para as células:
  - Síntese de Carboidratos:
    - ✓ Fotossíntese nas plantas
    - ✓ Síntese em animais e humanos
    - ✓ Conversão da glicose em outras moléculas de carboidratos nos animais e humanos
  - Síntese de Lipídeos
  - Síntese de Proteínas

# Metabolismo Celular

## ❖ Classificação:

- **Catabolismo:** são as reações químicas que quebram as moléculas para fornecer energia para as células. Se classifica em 2 grandes grupos:

- **Anaeróbico:** são as reações que ocorrem na ausência de oxigênio:

- ✓ **Carboidratos: Glicólise**

- ✓ **Lipídeos:**

- **Glicerol: Glicólise**

- **Ácidos Graxos:  $\beta$ -oxigenação**

- ✓ **Proteínas: Proteólise**

- **Aeróbico:** são as reações que ocorrem na presença de oxigênio:

- ✓ **Ciclo do Ácido Cítrico - Ciclo de Krebs**

- ✓ **Cadeia Respiratória:**

- **Cadeia de Transporte de elétrons**

- **Fosforilação Oxidativa**

Via  
Metabólica  
Comum

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

• **Respiração Celular:** é um complexo de reações químicas com as quais as células extraem os átomos de Hidrogênio e os elétrons ricos em energia ( $\epsilon$ ) da matéria orgânica provenientes dos alimentos de nutrição, *através da Oxidação desses compostos*, para a produção de energia necessária para suas funções. Neste processo a energia elétrica dos elétrons ricos em energia ( $\epsilon$ ) é convertida em energia química das moléculas de *ATP*, que representa o “moeda” *bioquímica energética universal*.

✓ *Glicólise*

✓ *Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)*

✓ *Cadeia Respiratória:*

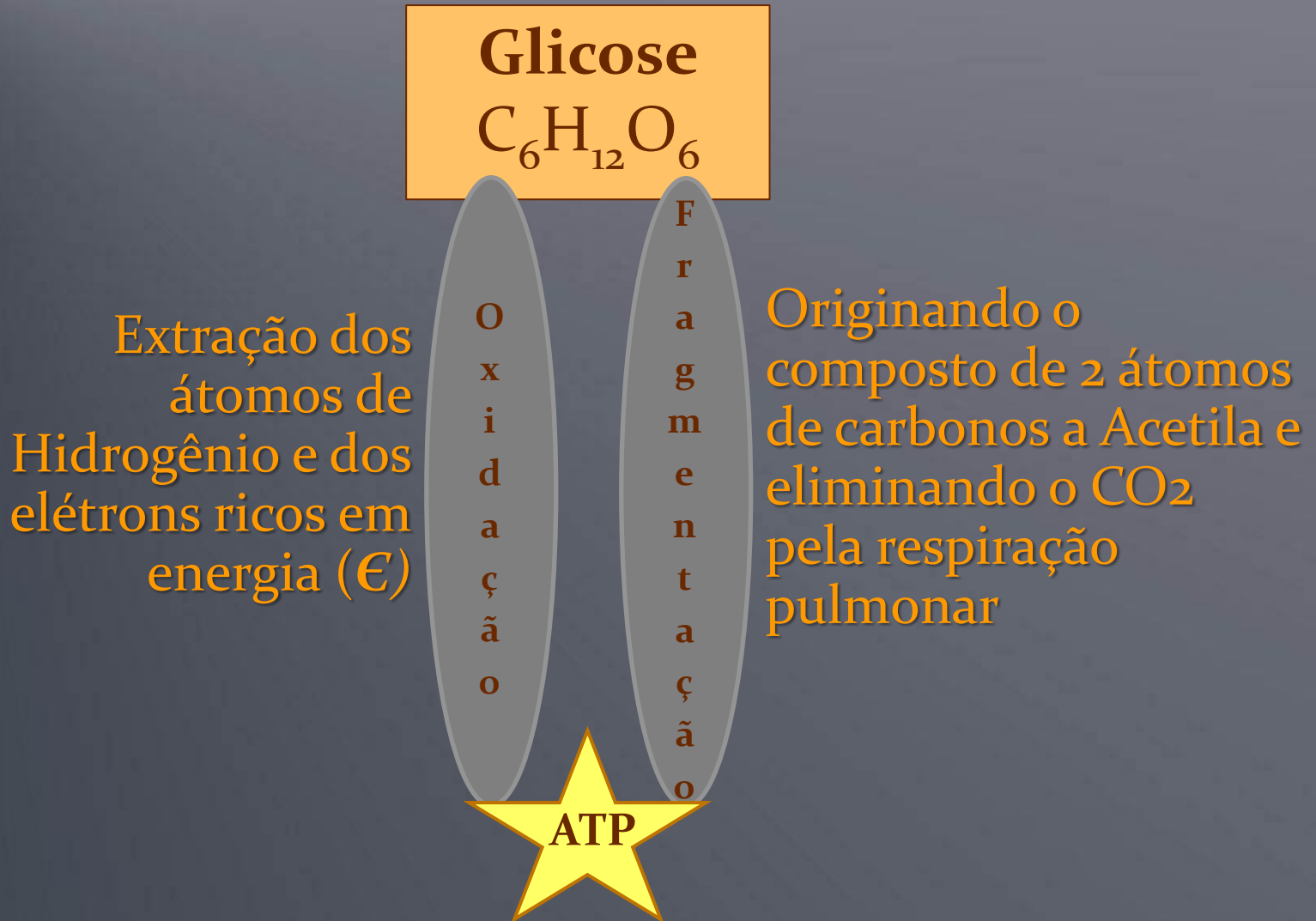
○ *Cadeia de transferência de elétrons ( $\epsilon$ )*

○ *Fosforilação Oxidativa*

# Metabolismo Celular

❖ Bioenergia:

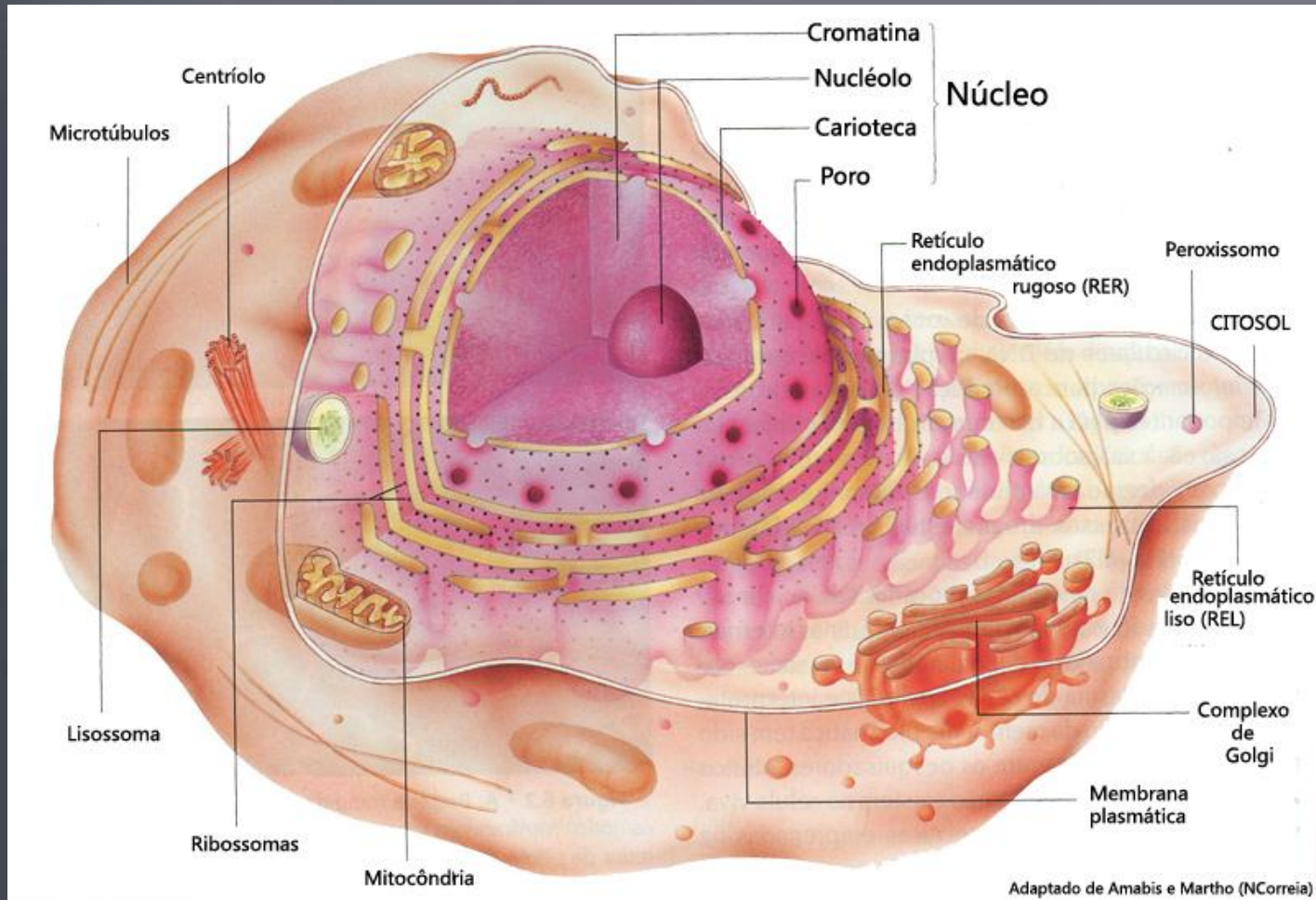
• Respiração Celular:



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

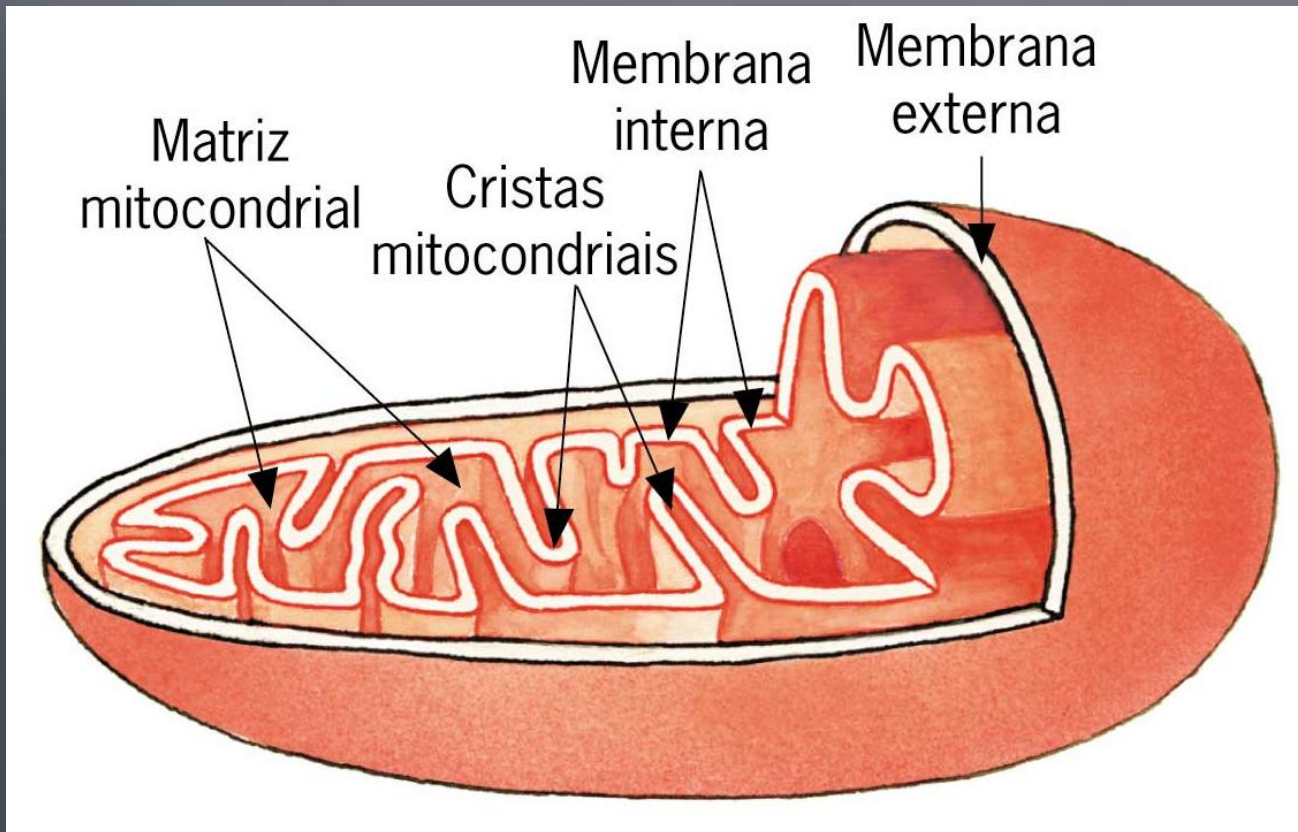
- **Catabolismo Anaeróbico:** citosol da célula



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

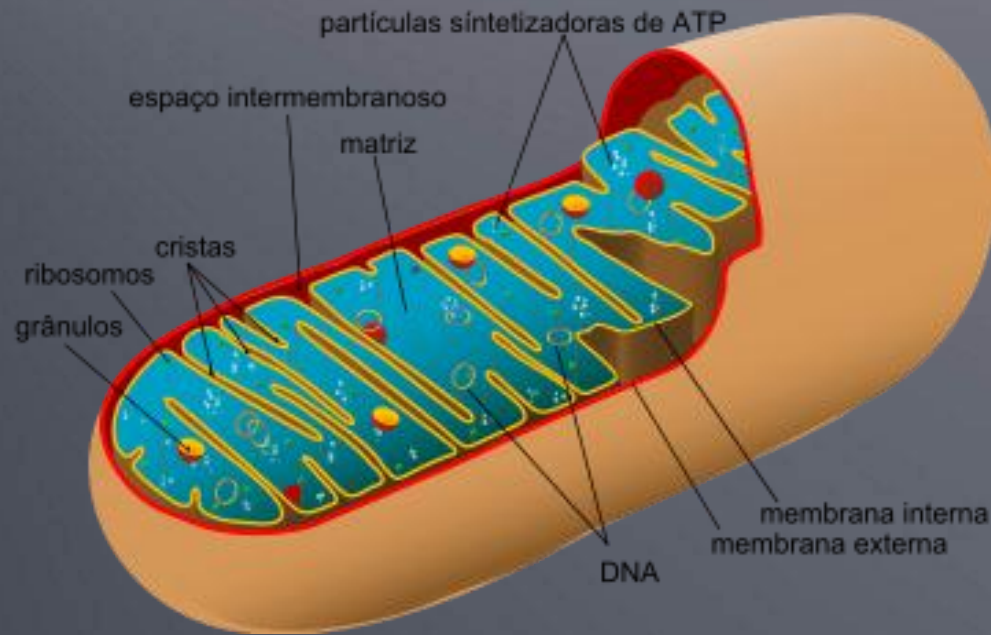
- Catabolismo Aeróbico: mitocôndria



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

- **Catabolismo Aeróbico:** mitocôndria
  - ✓ **Ciclo de Krebs:** matriz mitocondrial
  - ✓ **Cadeia Respiratória:** na crista mitocondrial (membrana interna)



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

- Moléculas Energéticas e transferência de fosfato:
  - ✓ AMP: adenosina mono-fosfato: ligação fosfato = 3,4 Kcal/mol
  - ✓ ADP: adenosina di-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol
  - ✓ ATP: adenosina tri-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol
- Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:
  - ✓  $\text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$  (forma reduzida) + 2e
  - ✓  $\text{FAD} \rightarrow \text{FADH}_2 + \text{H}^+$  (forma reduzida) + 2e
- Molécula transportadora de grupos acetila (radical de 2 carbonos)
  - ✓ Coenzima A (CoA): Acetila (c2) + CoA  $\rightarrow$  AcetilCoA

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

### • Moléculas Energéticas e transferência de fosfato:

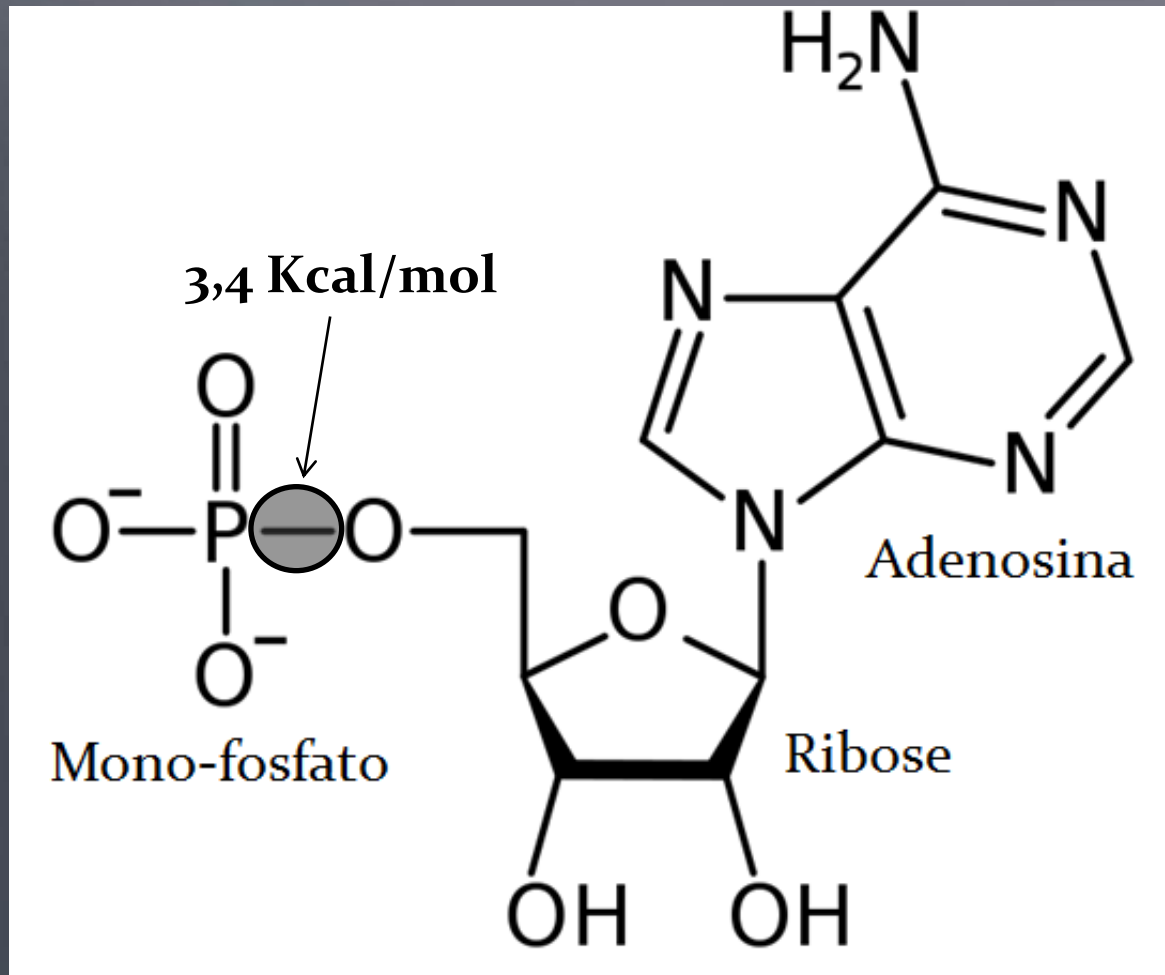
- ✓ AMP: adenosina mono-fosfato: ligação fosfato = 3,4 Kcal/mol
- ✓ ADP: adenosina di-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol
- ✓ ATP: adenosina tri-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

### • Moléculas Energéticas e transferência de fosfato:

- ✓ AMP: adenosina mono-fosfato: ligação fosfato = 3,4 Kcal/mol

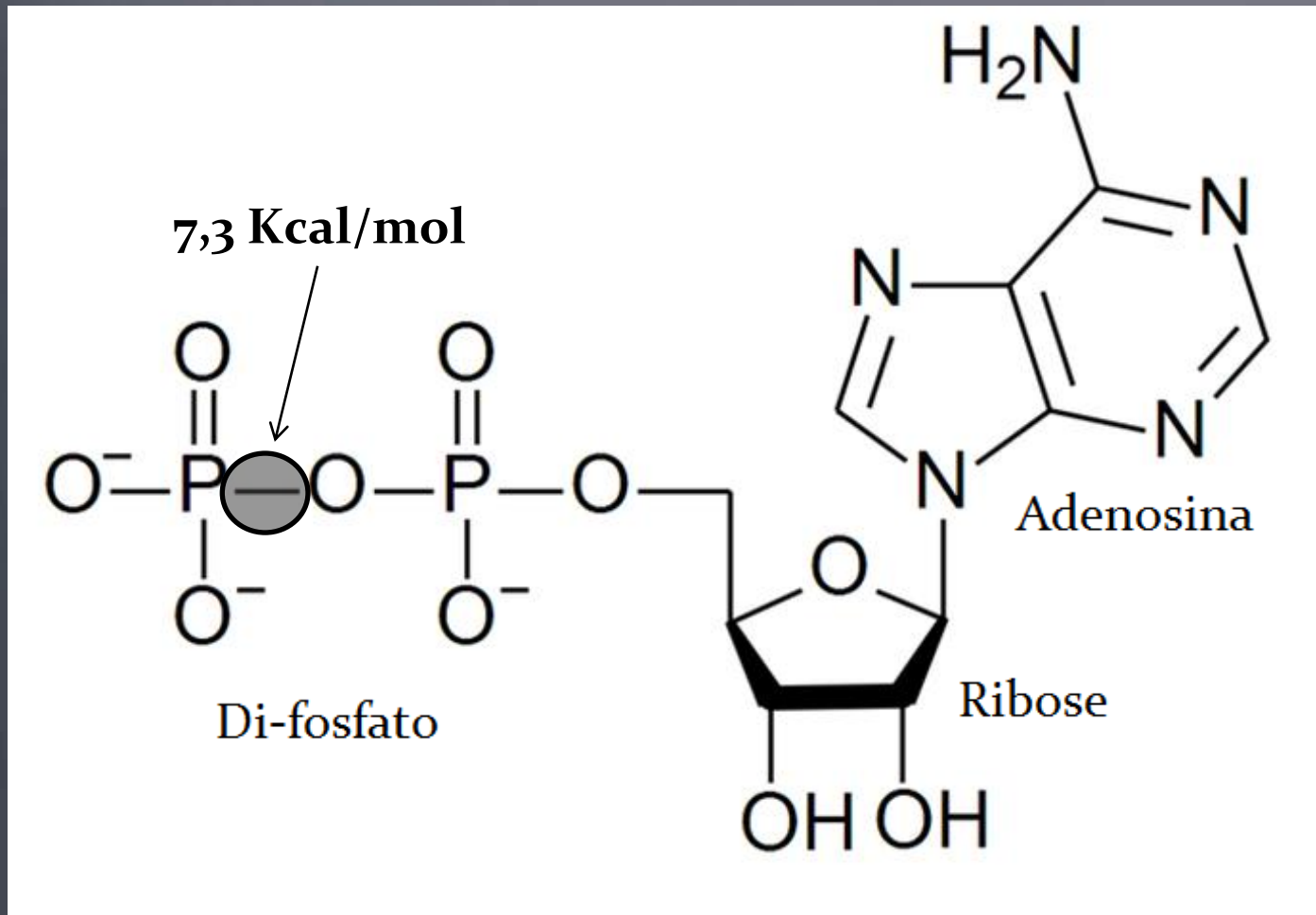


# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

### • Moléculas Energéticas e transferência de fosfato:

- ✓ **ADP**: adenosina di-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol

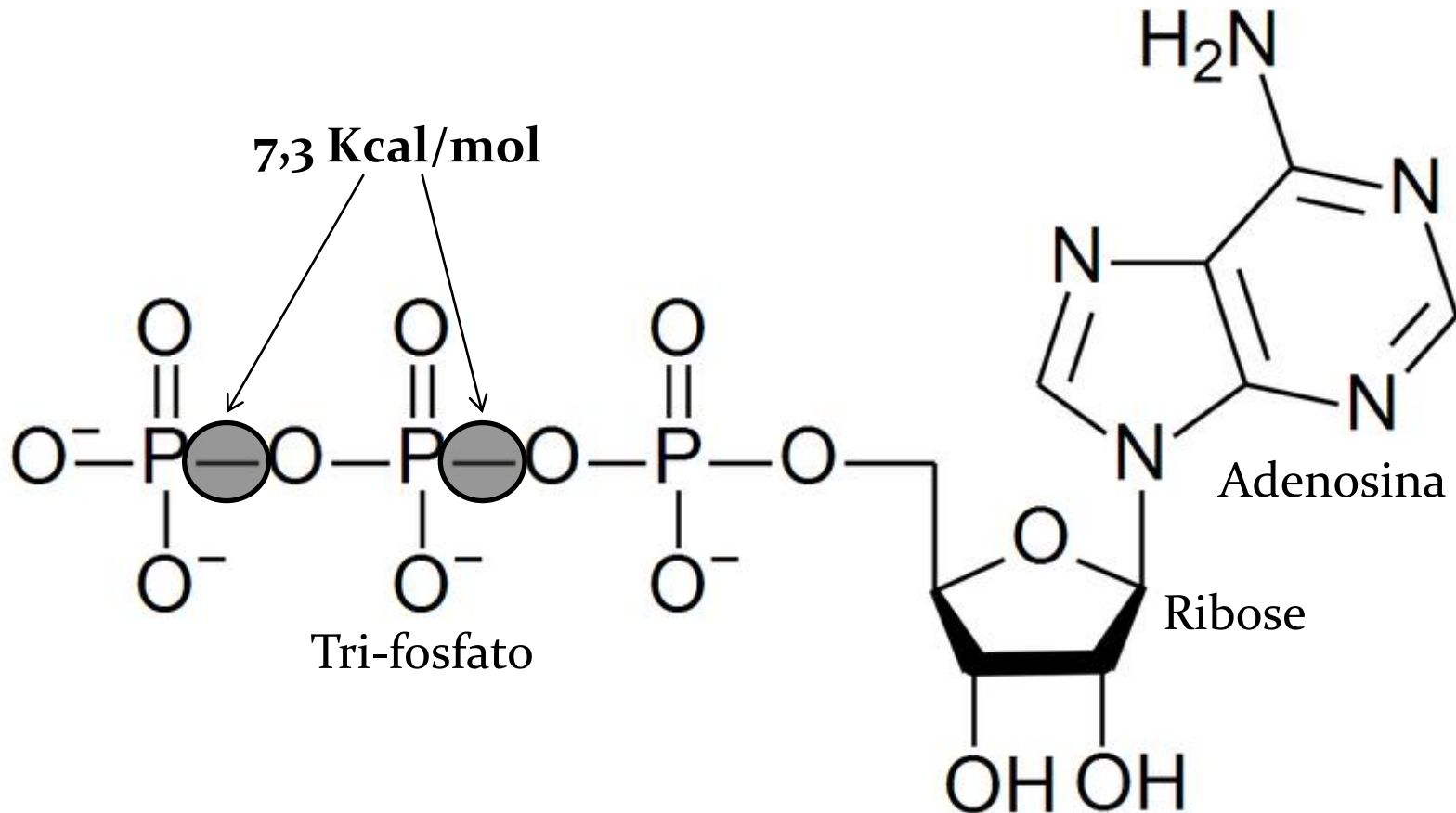


# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

### • Moléculas Energéticas e transferência de fosfato:

✓ ATP: adenosina tri-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol



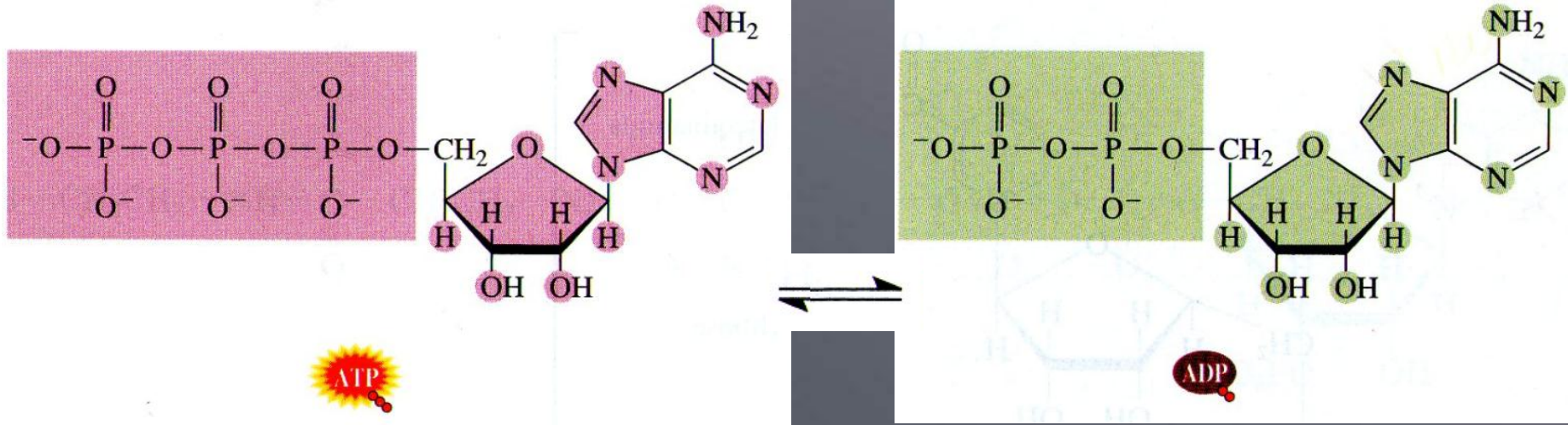
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

### • Moléculas Energéticas e transferência de fosfato:

✓ **ADP**: adenosina di-fosfato: ligação fosfato = 7,3 Kcal/mol

✓ **ATP**: adenosina tri-fosfato: ligação fosfato = 3,4 Kcal/mol



libera a energia da ligação do fosfato  
para as funções celulares

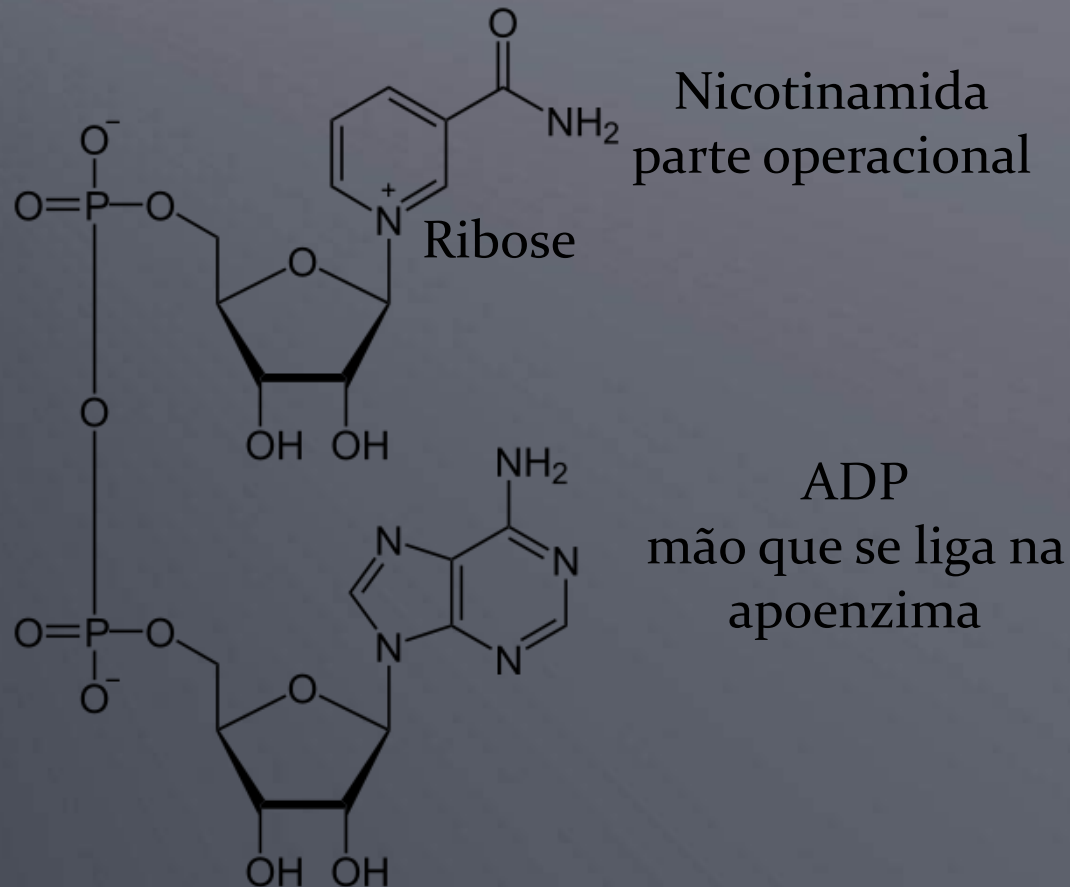
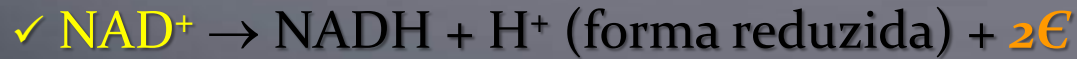
# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:
  - Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:
    - ✓  $\text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+$  (forma reduzida) +  $2\text{e}^-$
    - ✓  $\text{FAD} \rightarrow \text{FADH}_2 + \text{H}^+$  (forma reduzida) +  $2\text{e}^-$

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

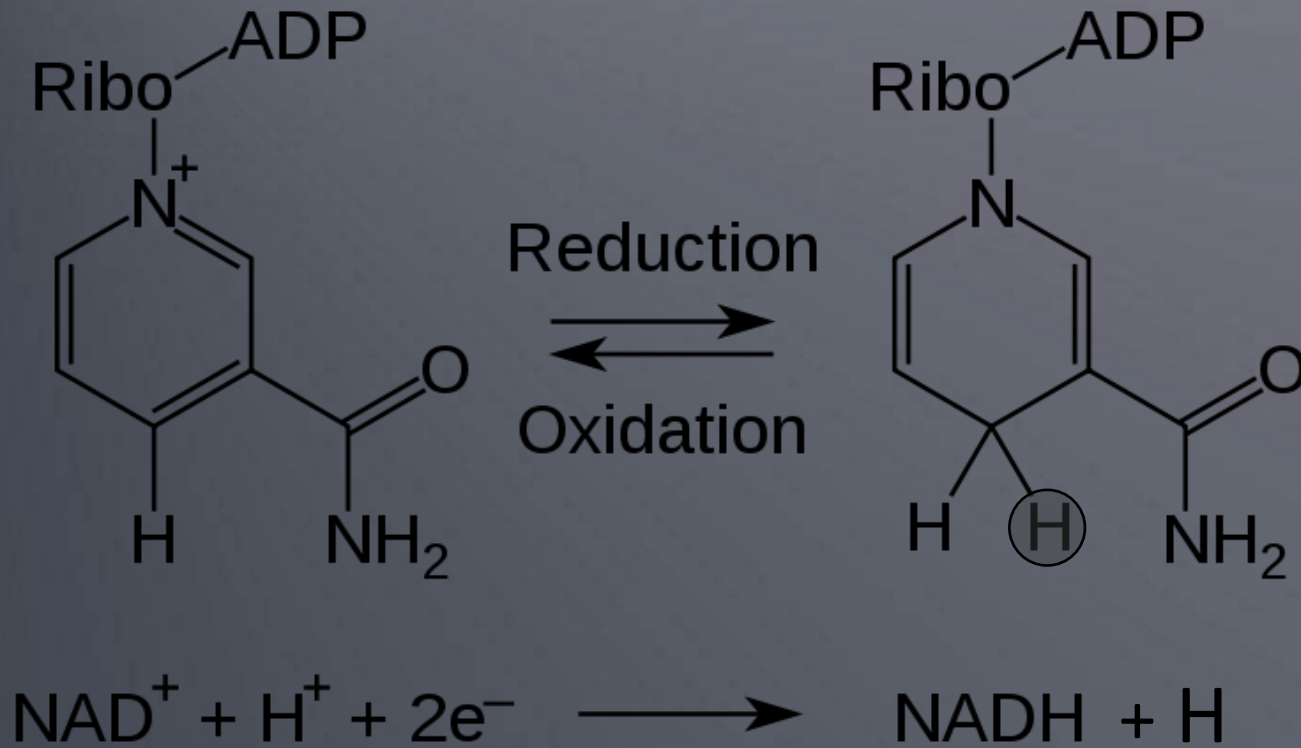
- Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

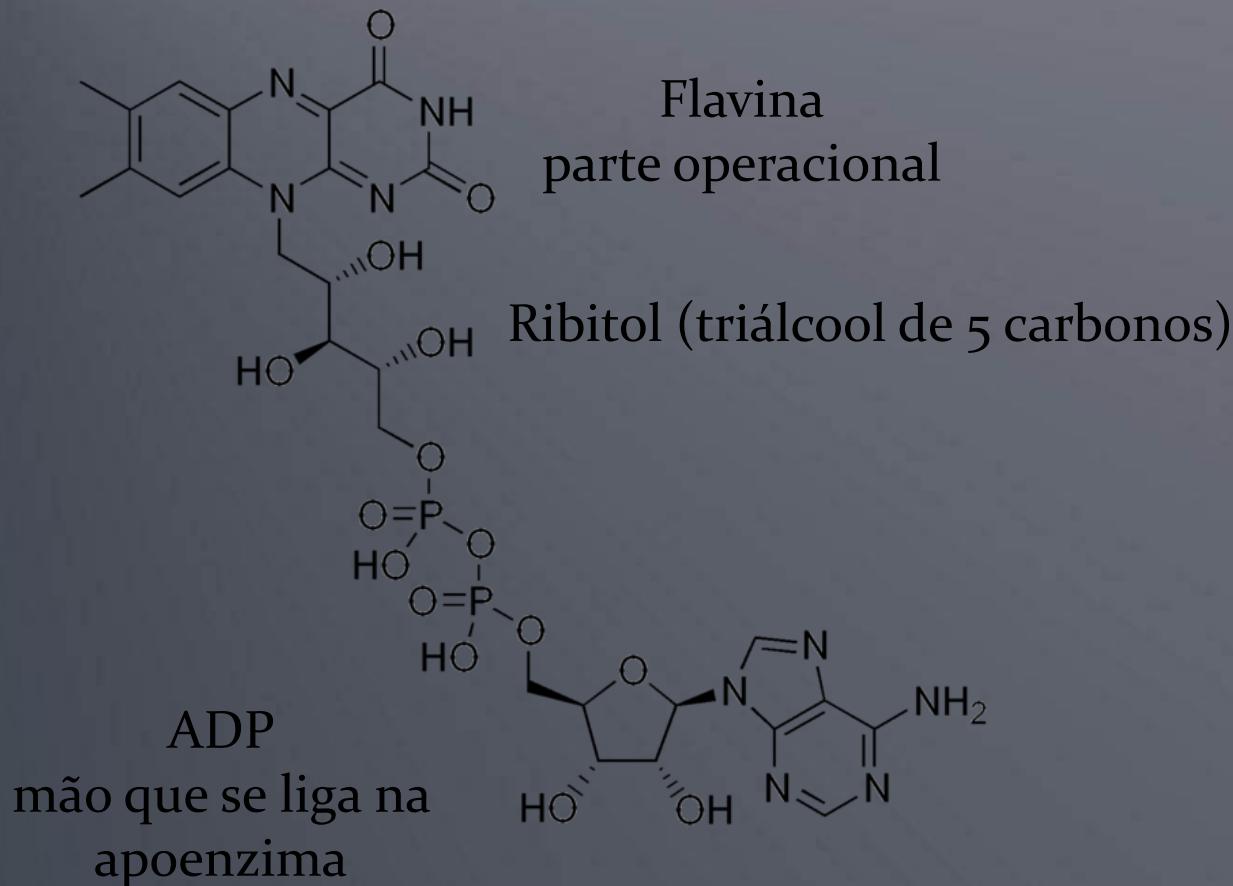
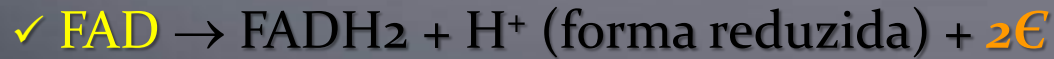
- Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

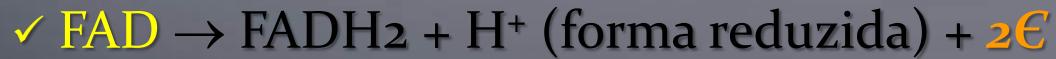
- Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:



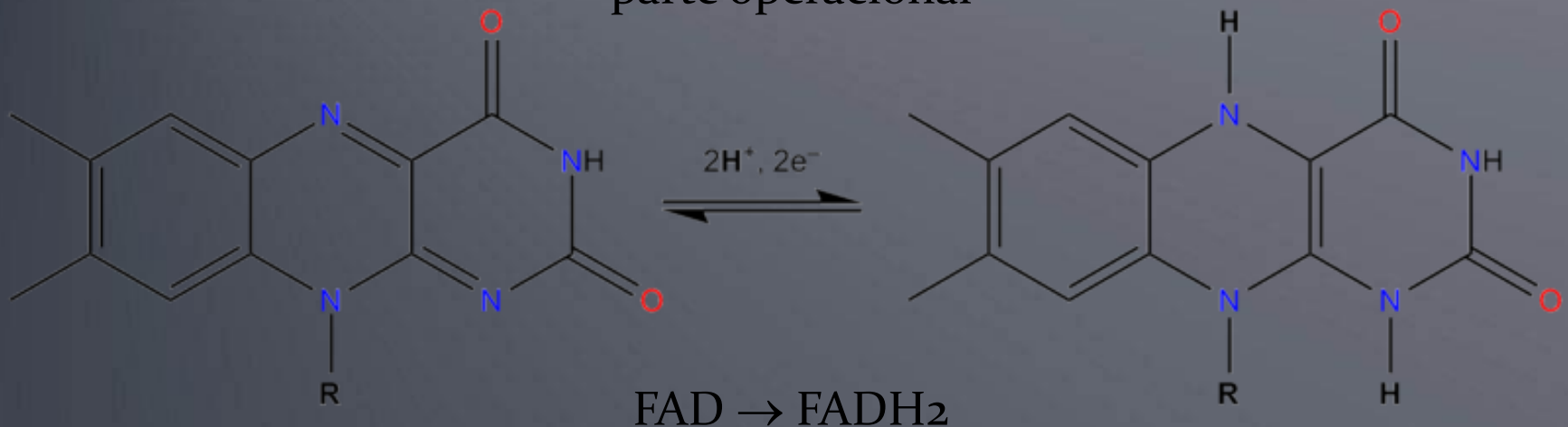
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

- Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:



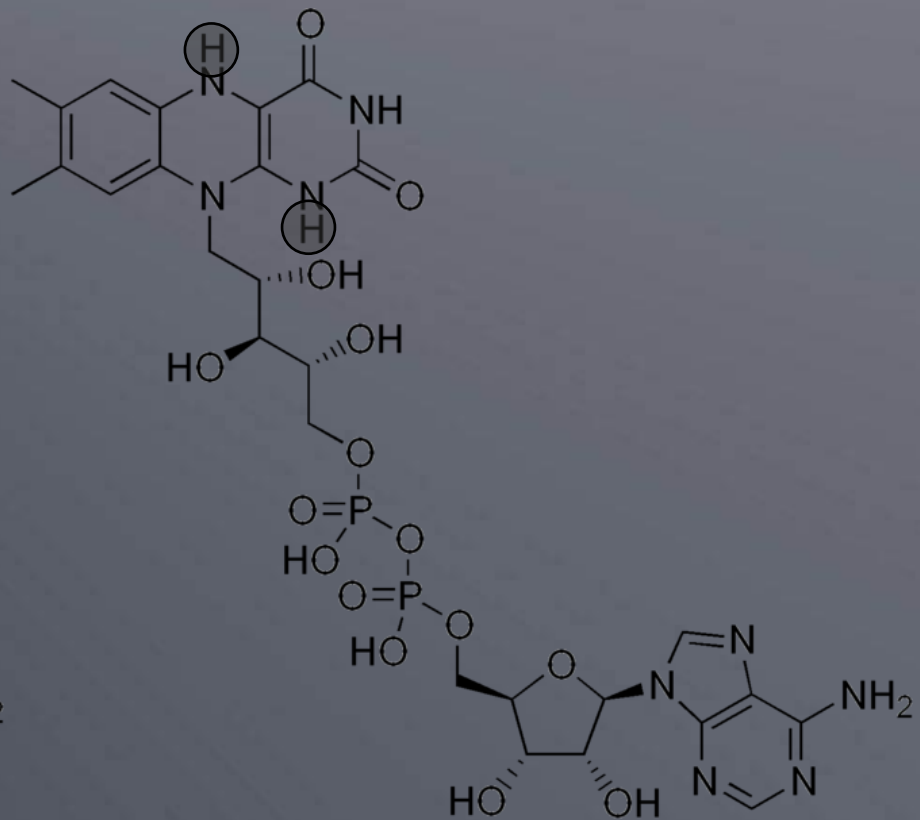
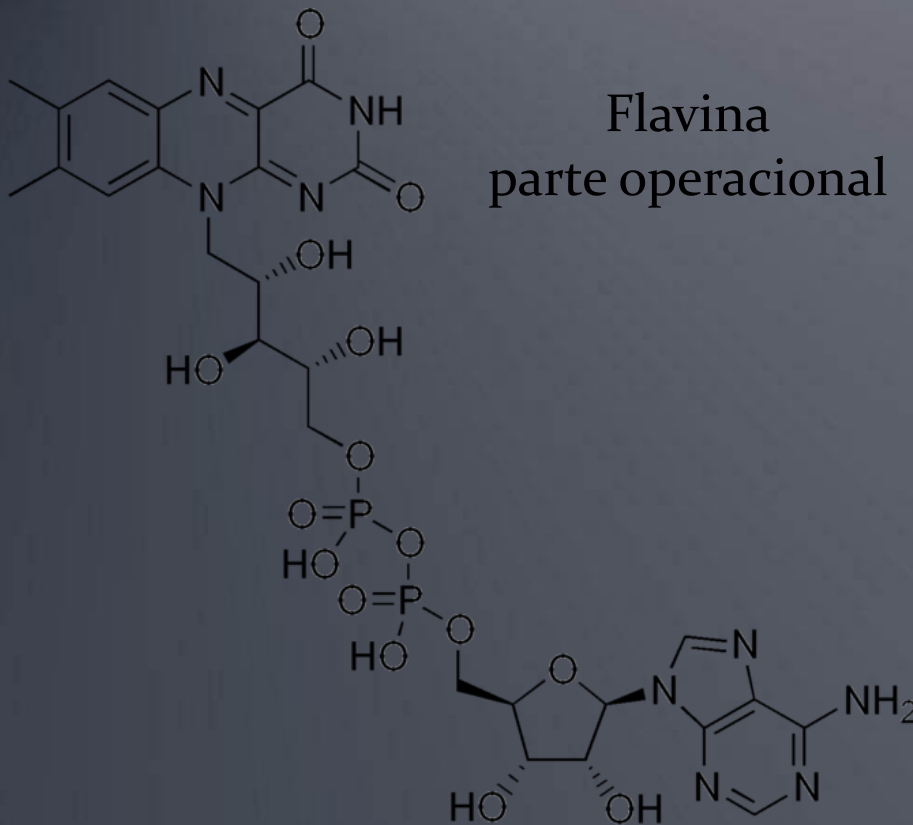
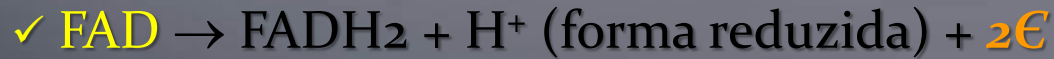
Flavina  
parte operacional



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:

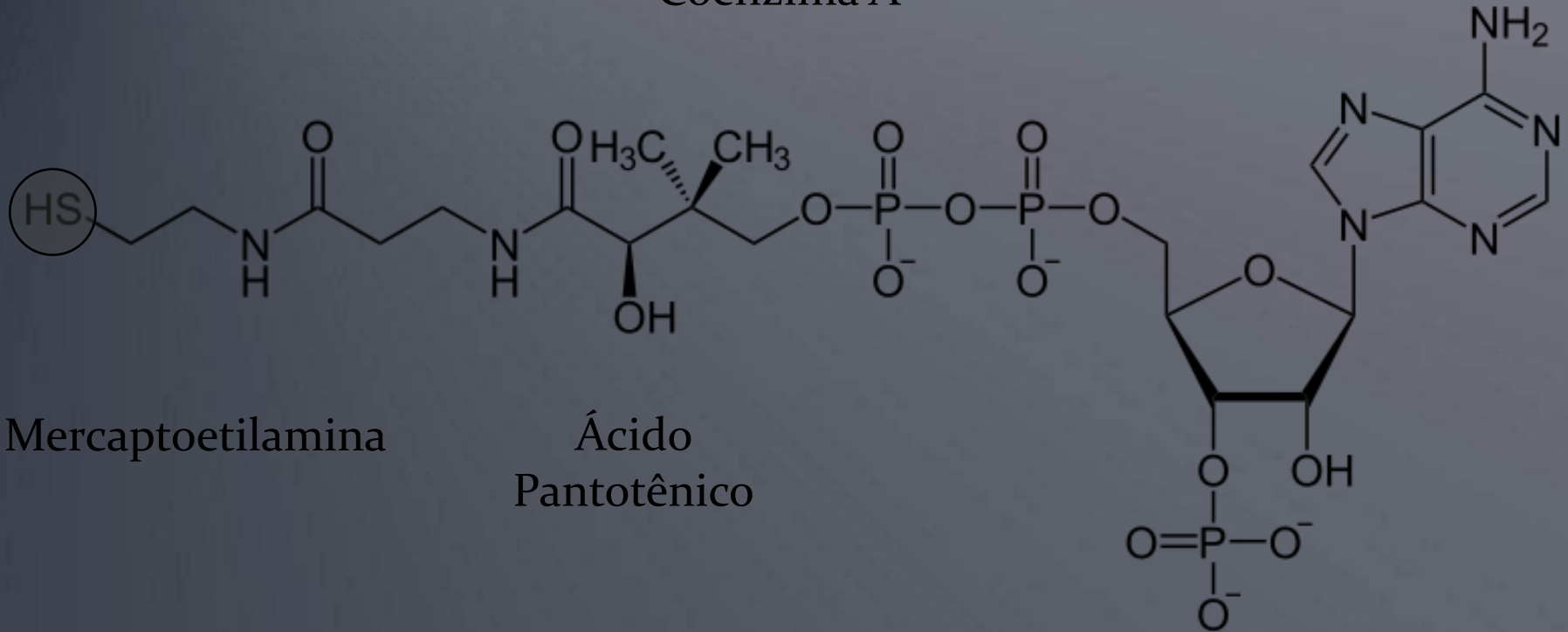
- Moléculas Transportadoras de Elétrons Energizados e de reação de oxido-redução:



# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:
  - Molécula transportadora de grupos acetila (radical de 2 carbonos)
    - ✓ Conzima A (CoA)

Coenzima A



Mercaptoetilamina

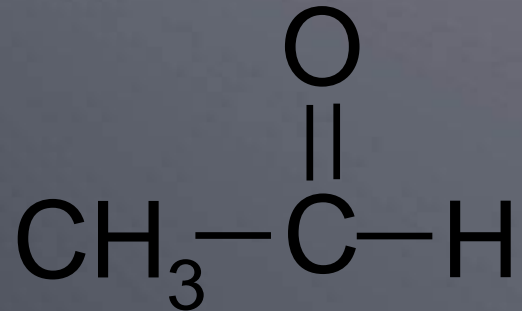
Ácido  
Pantotênico

ADP fosforilada

# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:
  - Molécula transportadora de grupos acetila (radical de 2 carbonos)
    - ✓ Conzima A (CoA)

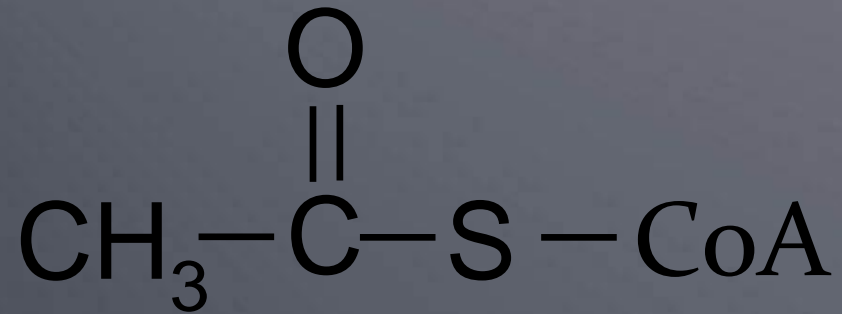
Acetila



# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Moléculas Fundamentais:
  - Molécula transportadora de grupos acetila (radical de 2 carbonos)
    - ✓ Conzima A (CoA) + Acetila

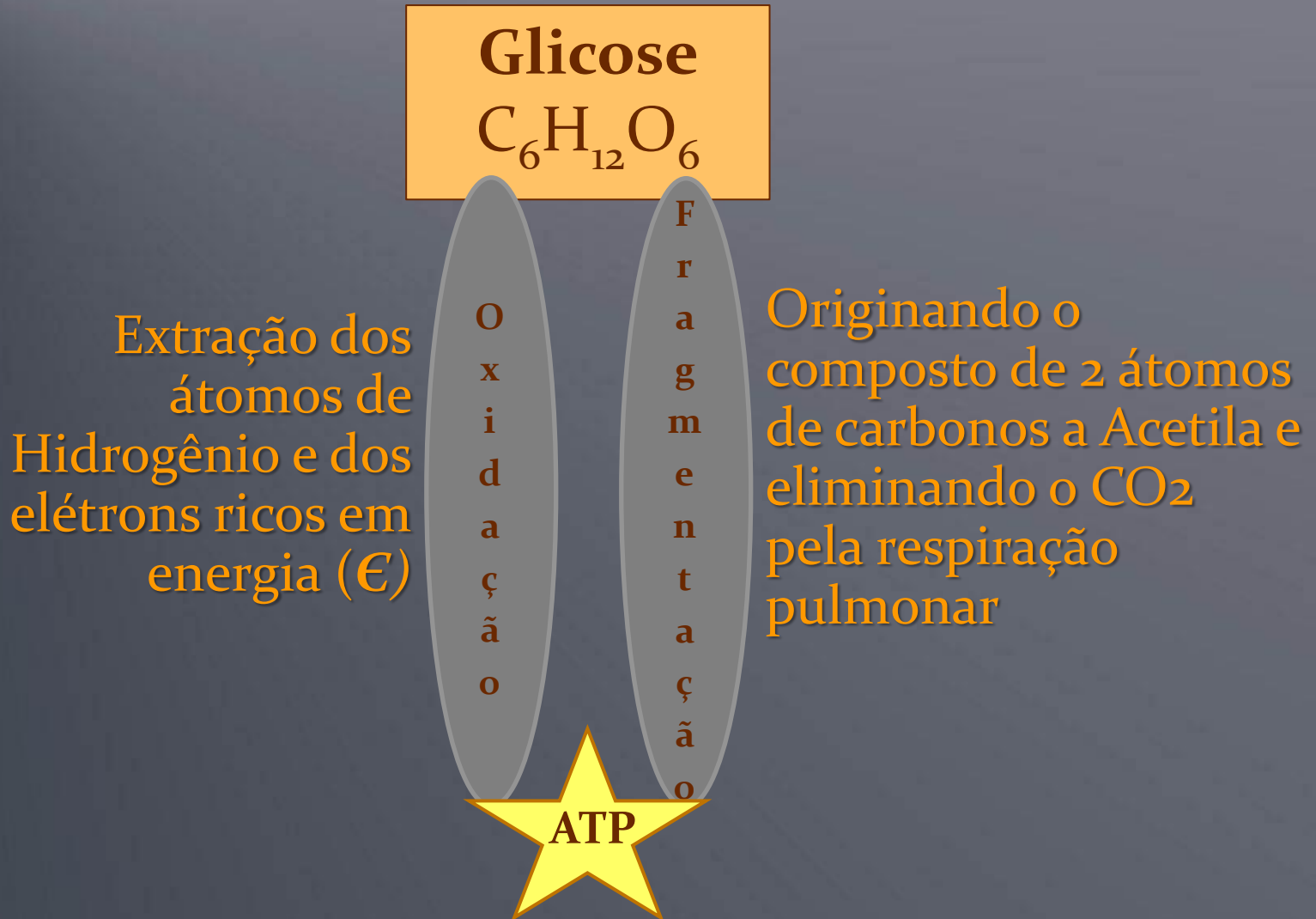
Acetil-CoA



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

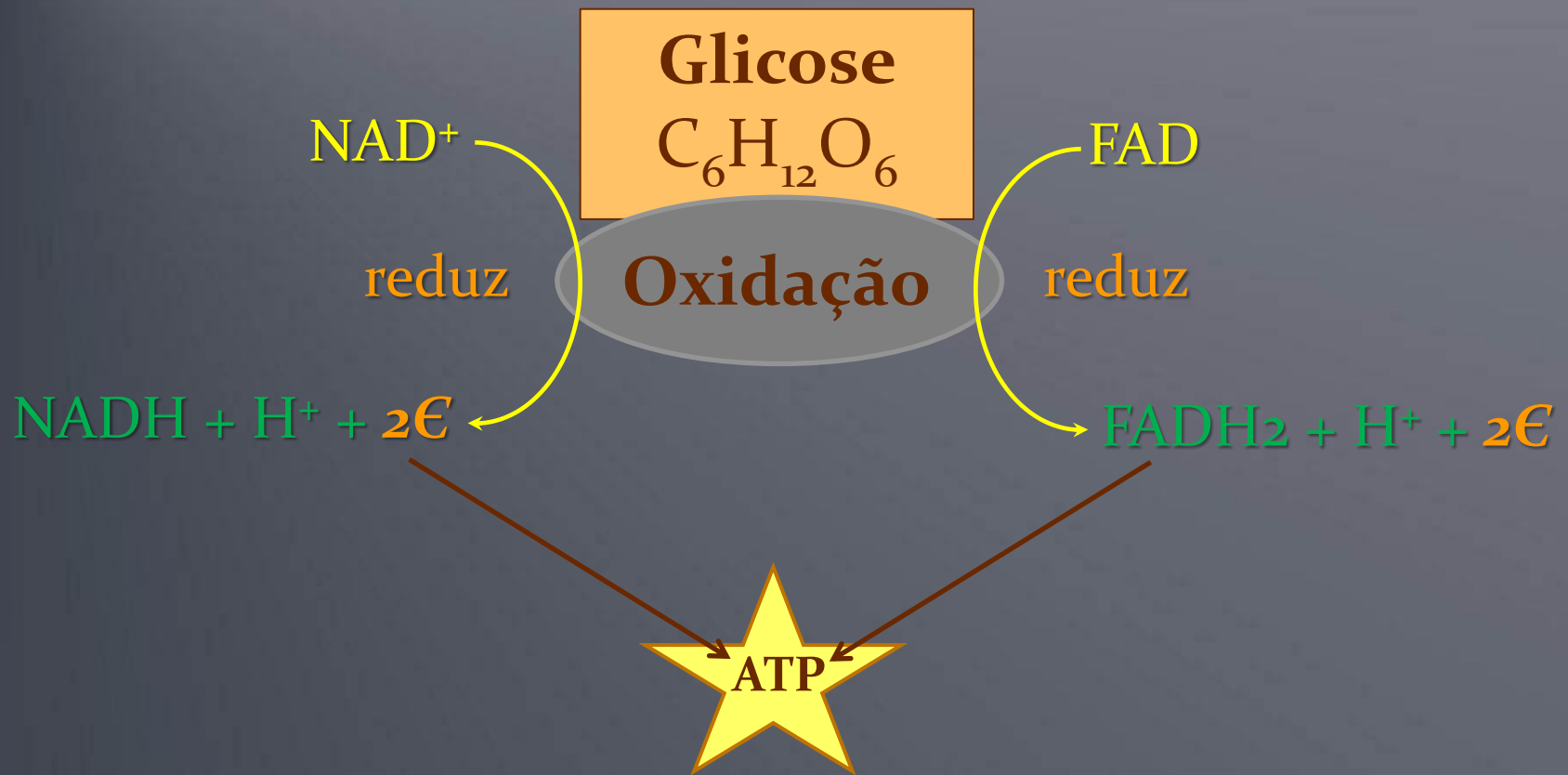
### • Respiração Celular:



# Metabolismo Celular

❖ Bioenergia:

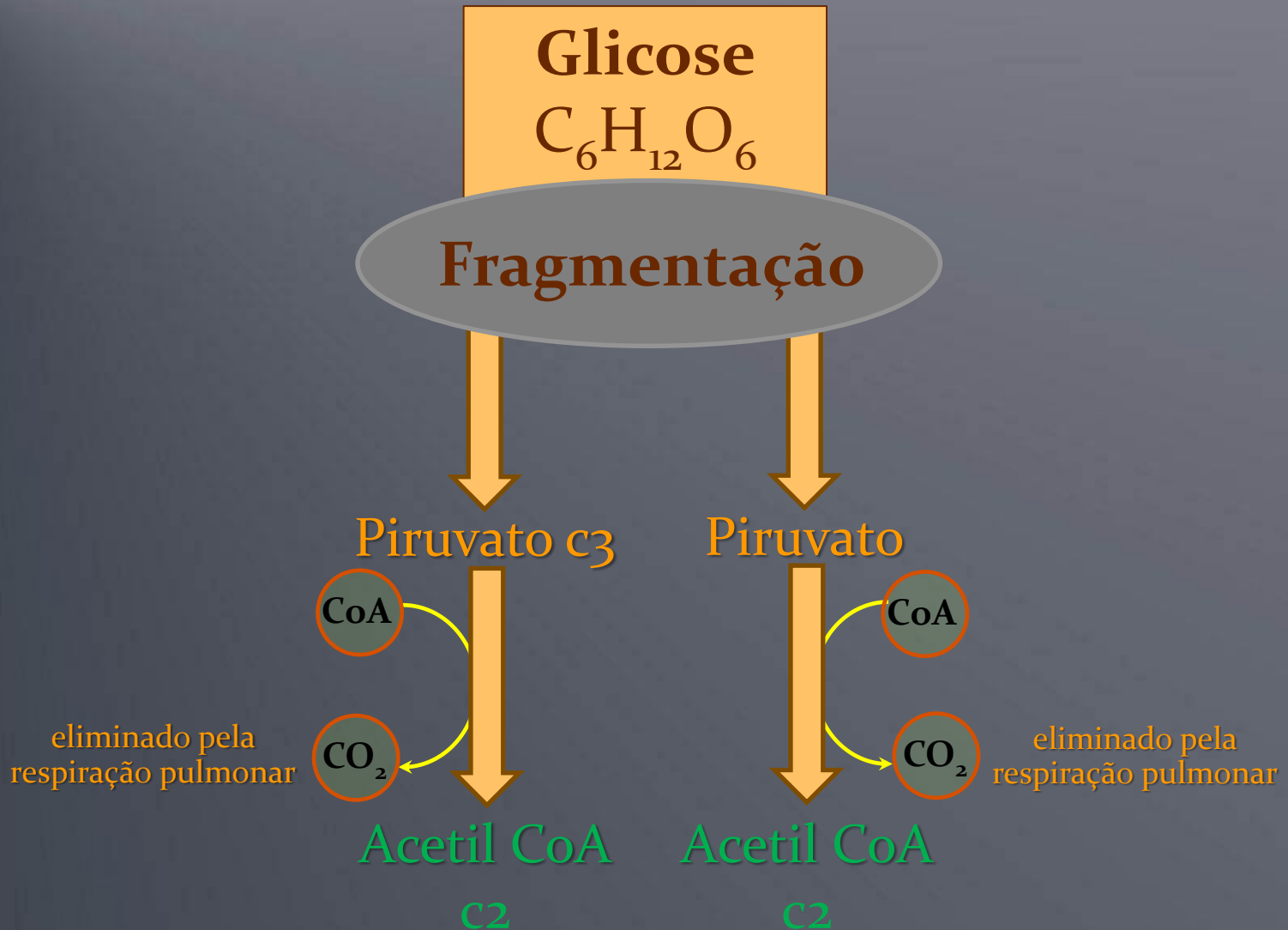
• Respiração Celular:



# Metabolismo Celular

❖ Bioenergia:

• Respiração Celular:



# Metabolismo Celular

❖ Bioenergia:

• **Respiração Celular:**

**Glicose**



**Oxidação**

**Fragmentação**

- ✓ *Glicólise*
- ✓ *Ciclo de Krebs*
- ✓ *Cadeia Respiratória*

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

- **Catabolismo:** são as reações químicas que quebram as moléculas para fornecer energia para as células. Se classifica em 2 grandes grupos:

- **Anaeróbico:** são as reações que ocorrem na ausência de oxigênio:

- ✓ **Carboidratos:** Glicólise

- ✓ **Lipídeos:** ativação da Lipólise e  $\beta$ -oxigenação

- ✓ **Proteínas:** Proteólise

- **Aeróbico:** são as reações que ocorrem na presença de oxigênio:

- ✓ **Ciclo do Ácido Cítrico - Ciclo de Krebs**

- ✓ **Cadeia Respiratória:**

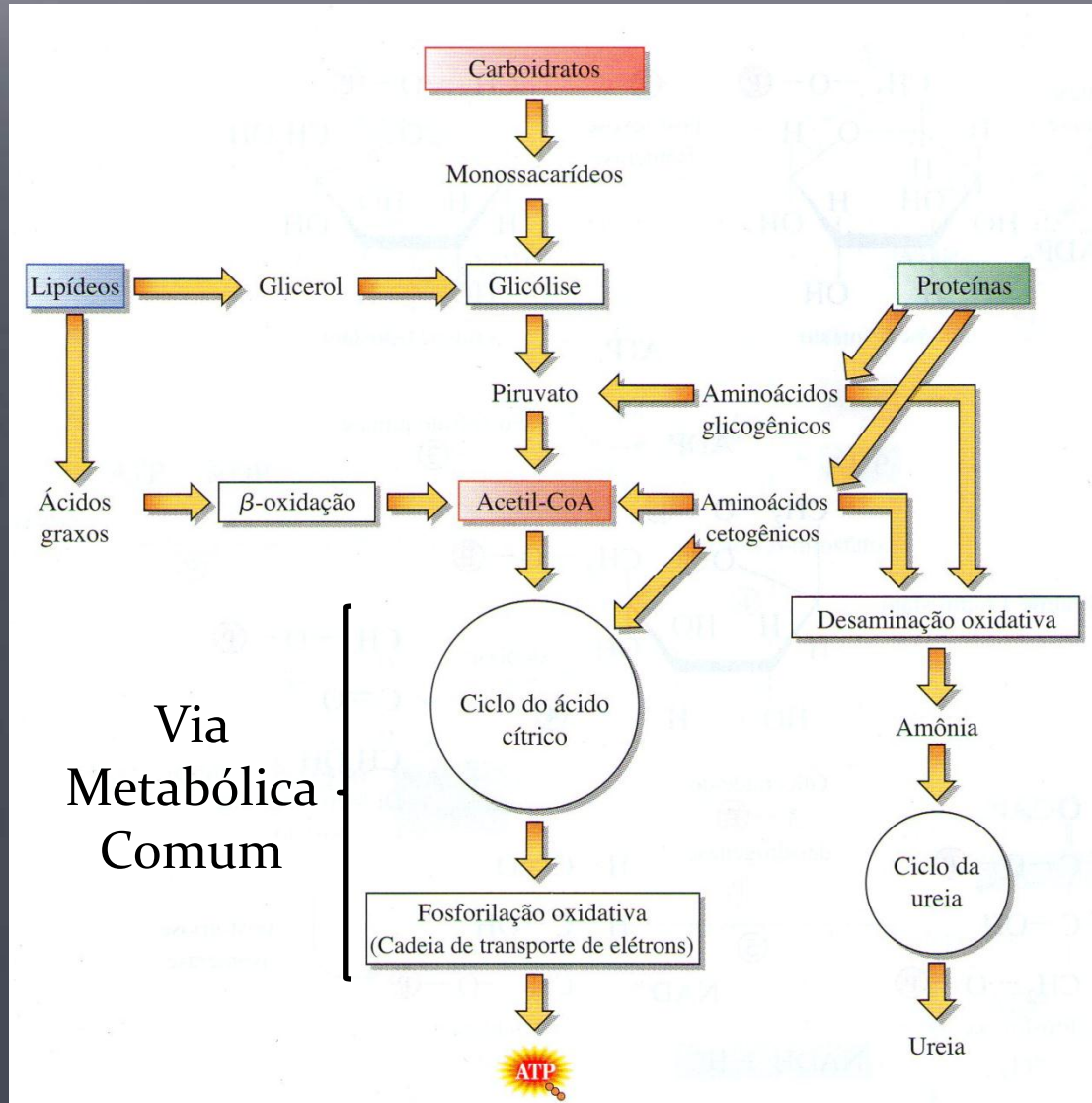
- Cadeia de Transporte de elétrons

- Fosforilação Oxidativa

Via  
Metabólica  
Comum

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Anaeróbico → Aeróbico



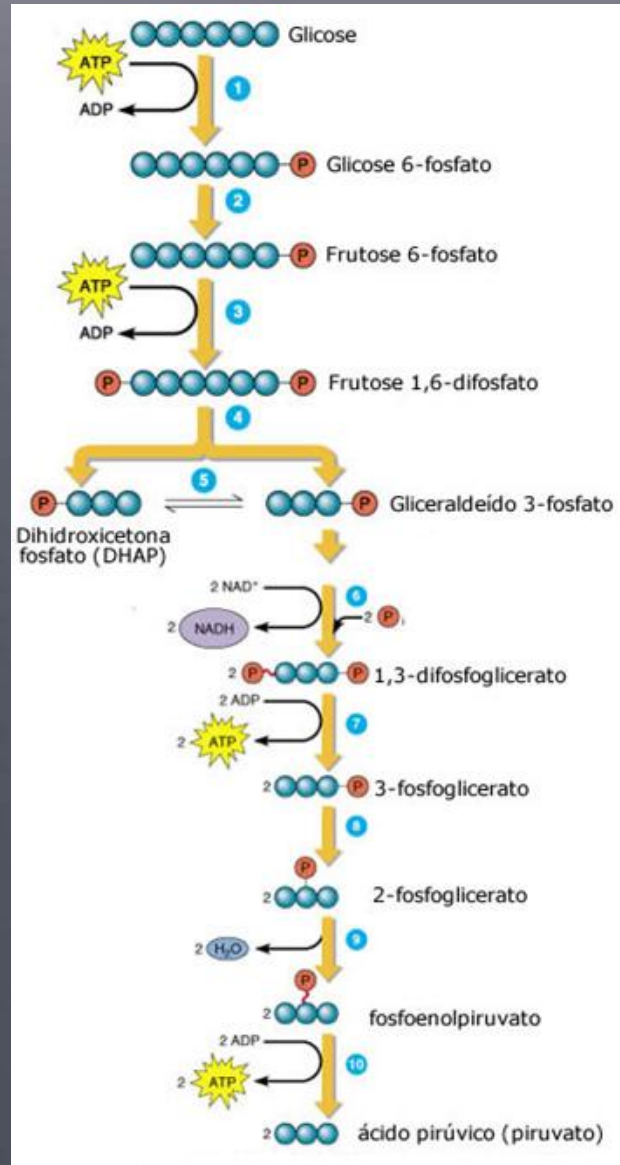
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise

- Principal via de obtenção de energia pela célula
- Ocorre no citosol

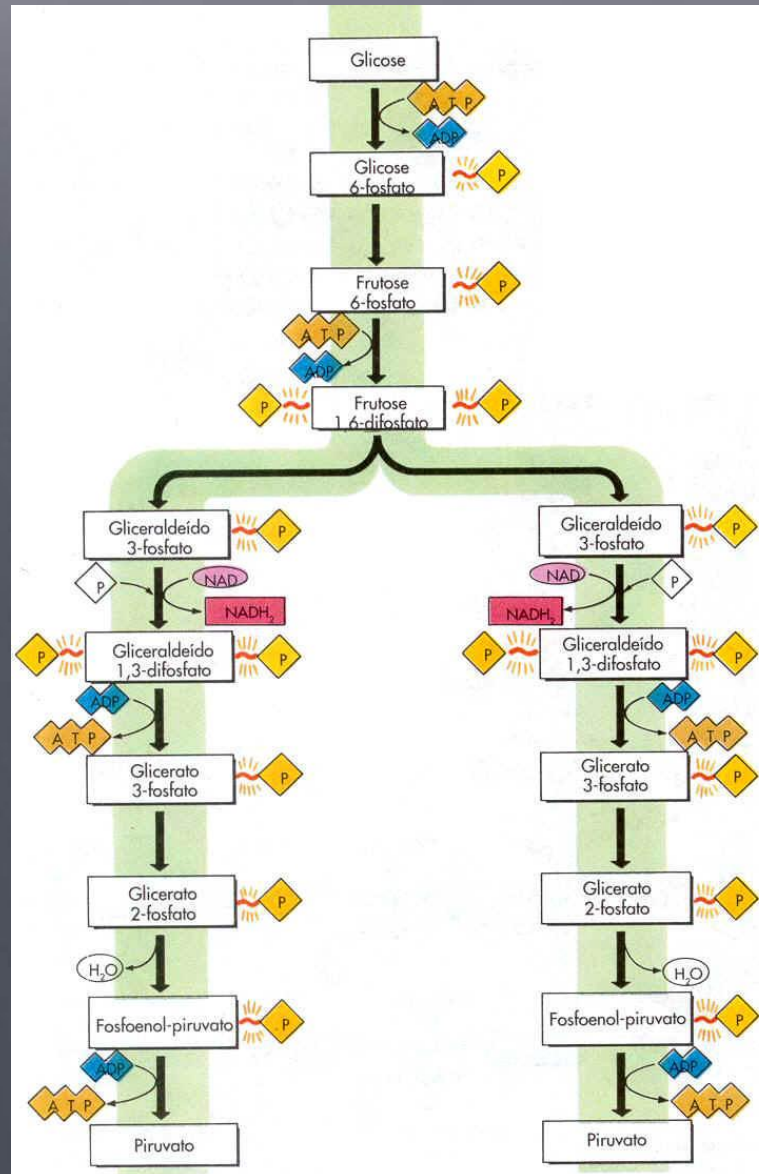
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise



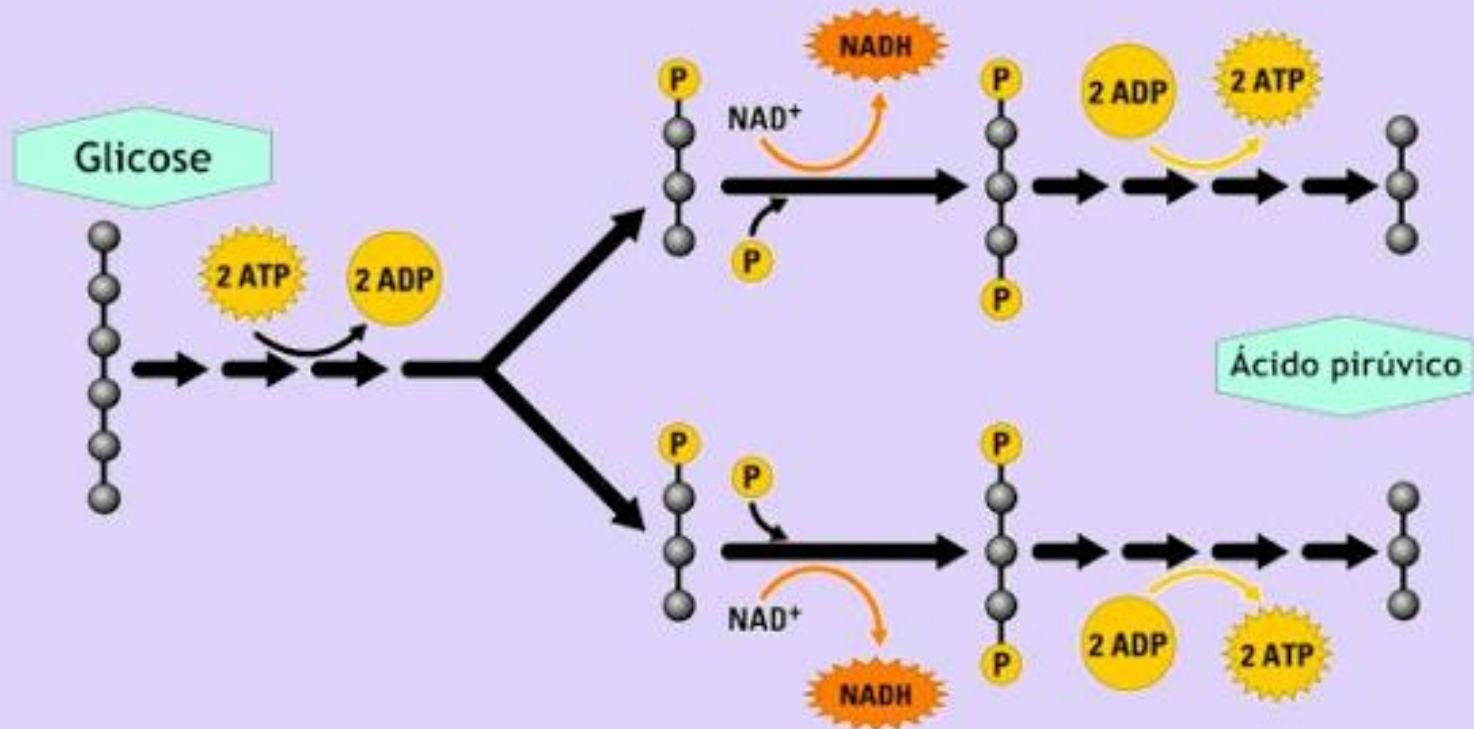
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise



# Metabolismo Celular

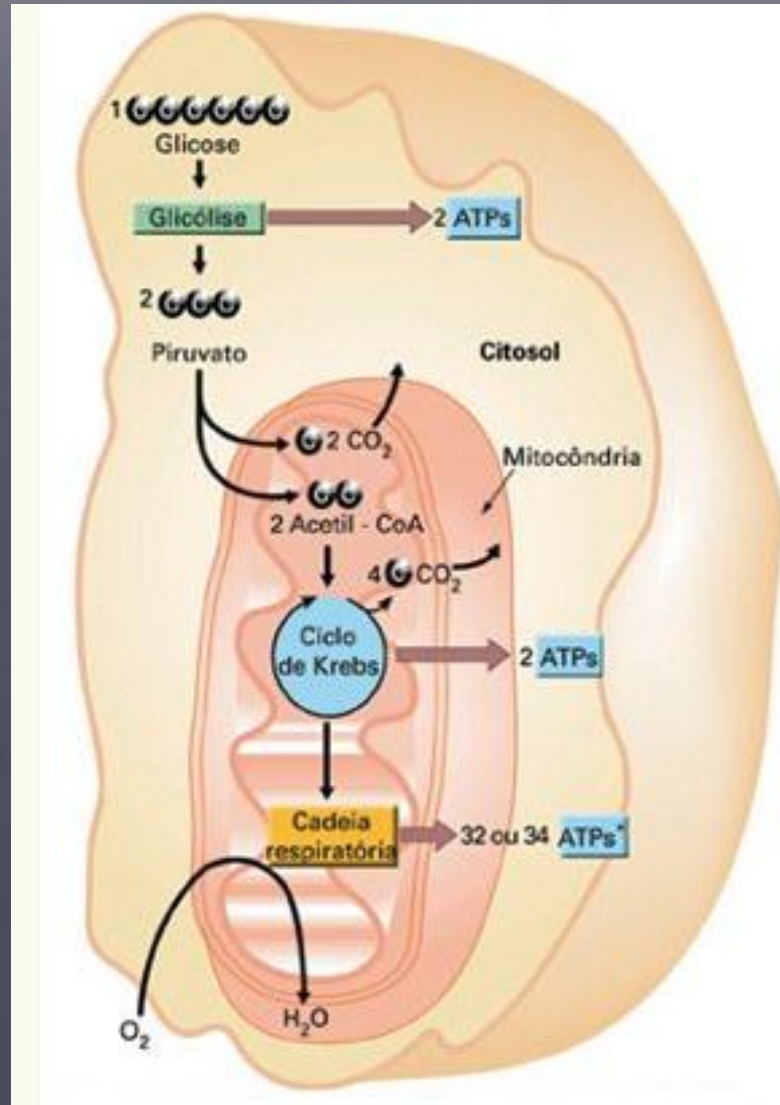
## ❖ Bioenergia: Glicólise

- Principal via de obtenção de energia pela célula
- Ocorre no citosol
- 1º Estágio: Etapa de Ativação: São consumidas 2 moléculas de ATP
- São produzidas 4 moléculas de ATP
- São produzidas 2 moléculas de NADH
- Última etapa: 2 moléculas de Piruvato (piruvato quinase)
- O Piruvato não se acumula no organismo:
- A piruvato quinase é estimulada pelo AMP
- A piruvato quinase é inibida pelo ATP

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise

- Piruvato: descarboxilação oxidativa (mitocôndria)



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise

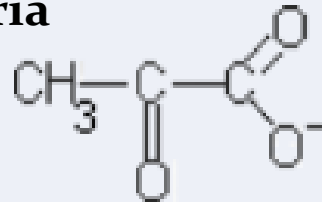
- Transferência das Moléculas de Piruvato para a mitocôndria
- Na membrana interna da mitocôndria, na matriz mitocondrial.
- O Piruvato é transferido para o interior da mitocôndria onde sofre uma descarboxilação oxidativa na presença da Coenzima A para produzir a Acetil-CoA, com liberação de 1 molécula de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e é produzida 1 molécula de NADH a partir da redução da  $\text{NAD}^+$  que entrará no Ciclo de Krebs

# Metabolismo Celular

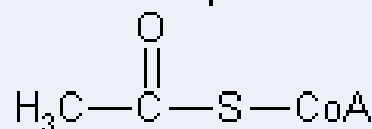
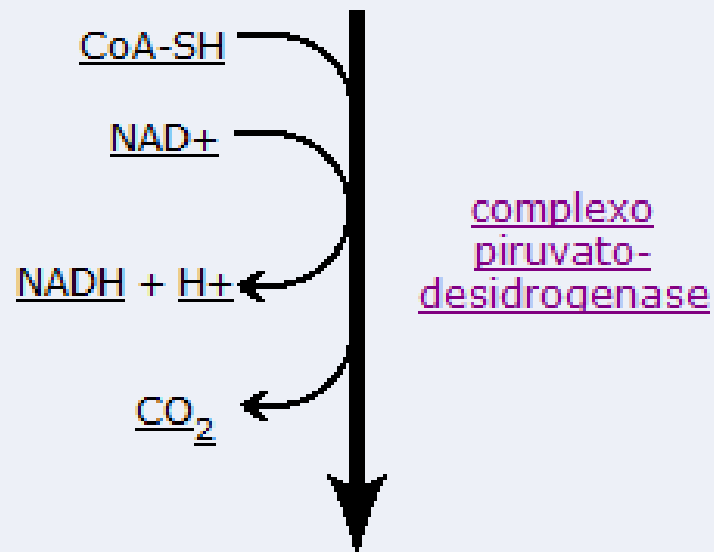
## ❖ Bioenergia: Glicólise

- Piruvato: descarboxilação oxidativa (mitocôndria)

mitocôndria



Piruvato



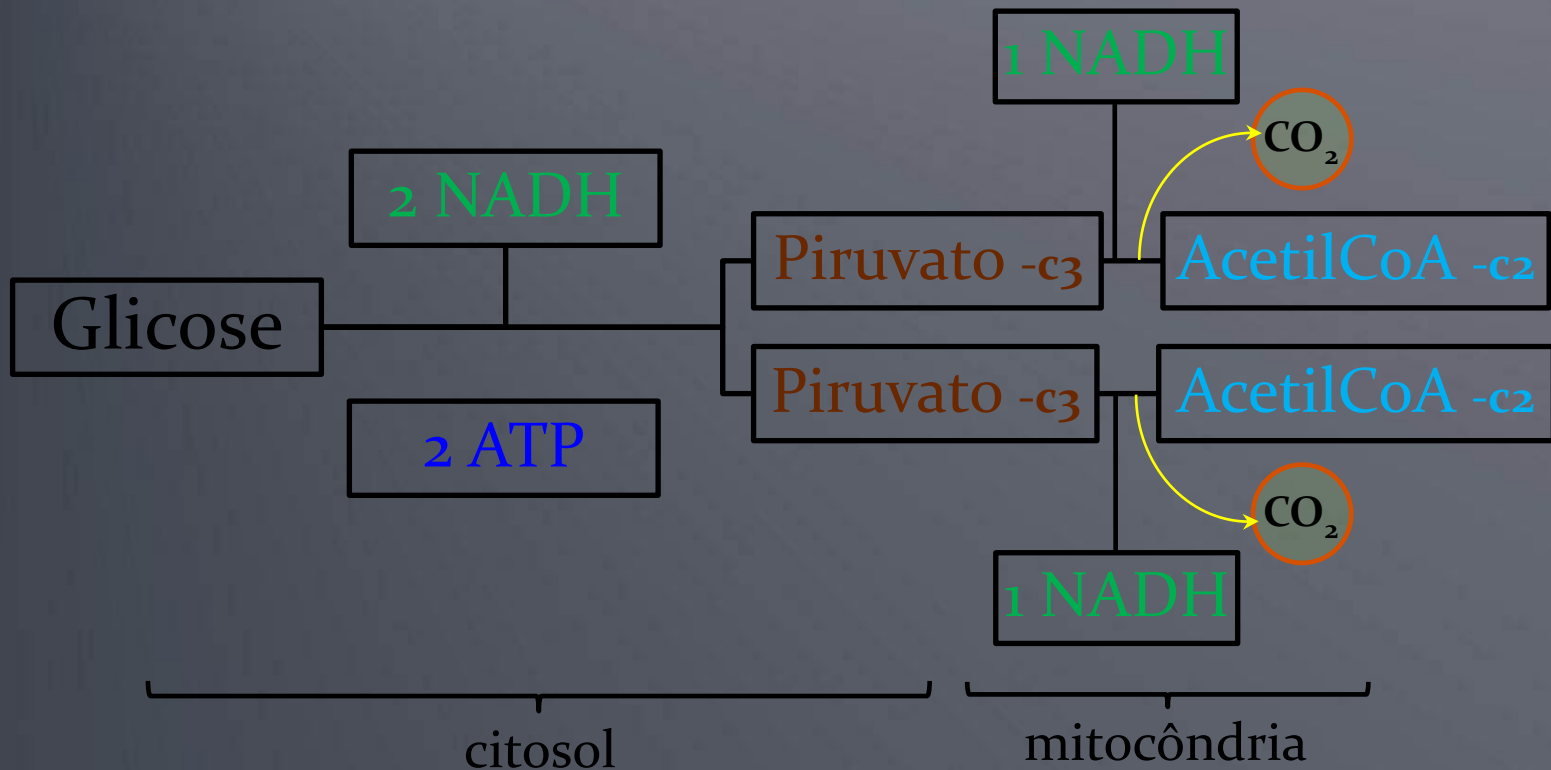
Acetil-CoA

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise

### • Rendimento:

- ✓ Gasta 2 ATP e Produz 4 ATP → Saldo: 2 ATP
- ✓ 4 moléculas NADH (2 no citosol e 2 na mitocôndria)
- ✓ 2 moléculas de Piruvato

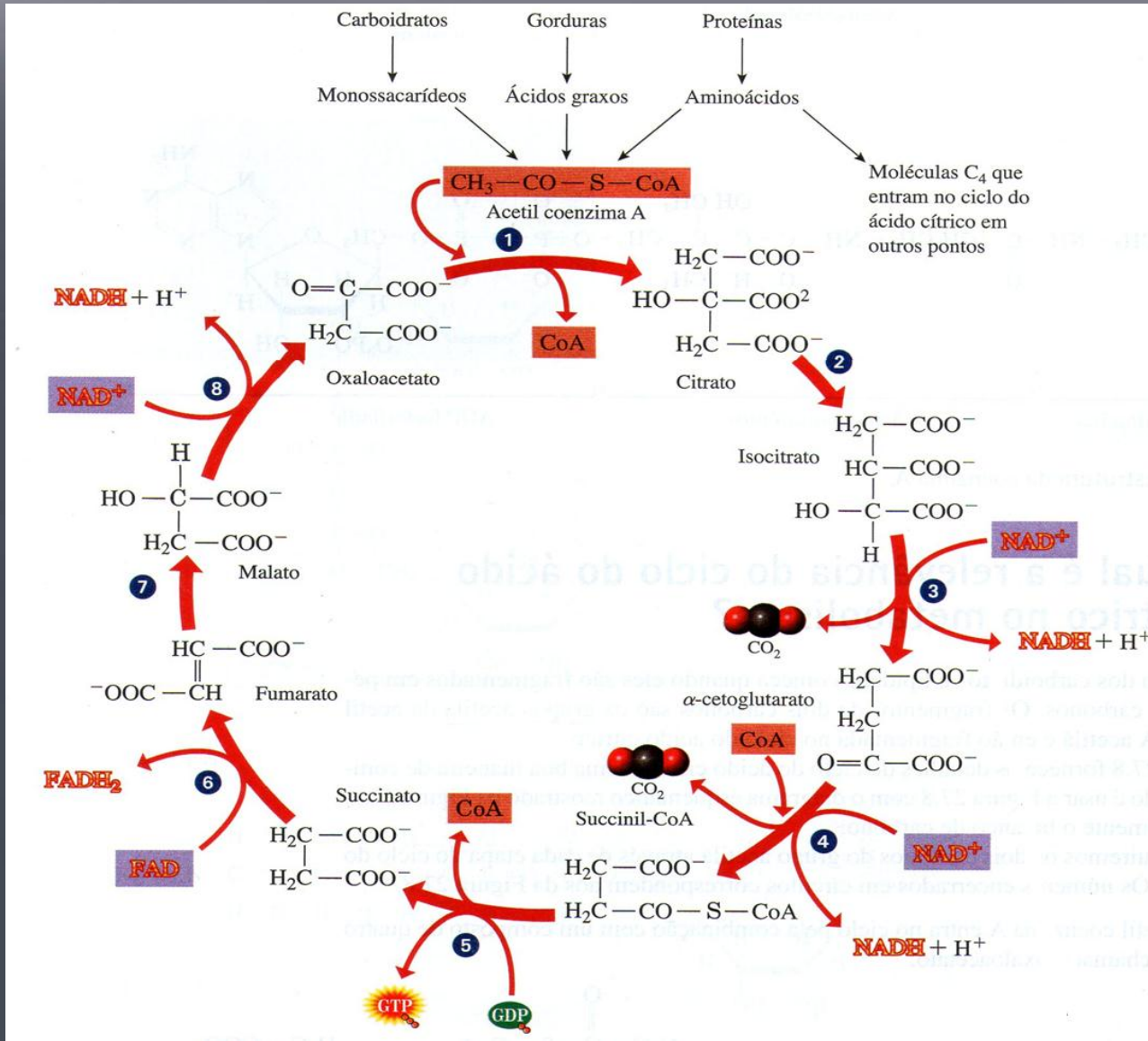


# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)
  - Ocorre na matriz da mitocôndria
  - É um processo que se caracteriza por várias reações químicas de degradação e oxidação dos compostos carbonados
  - Fonte importante de energia dos compostos orgânicos

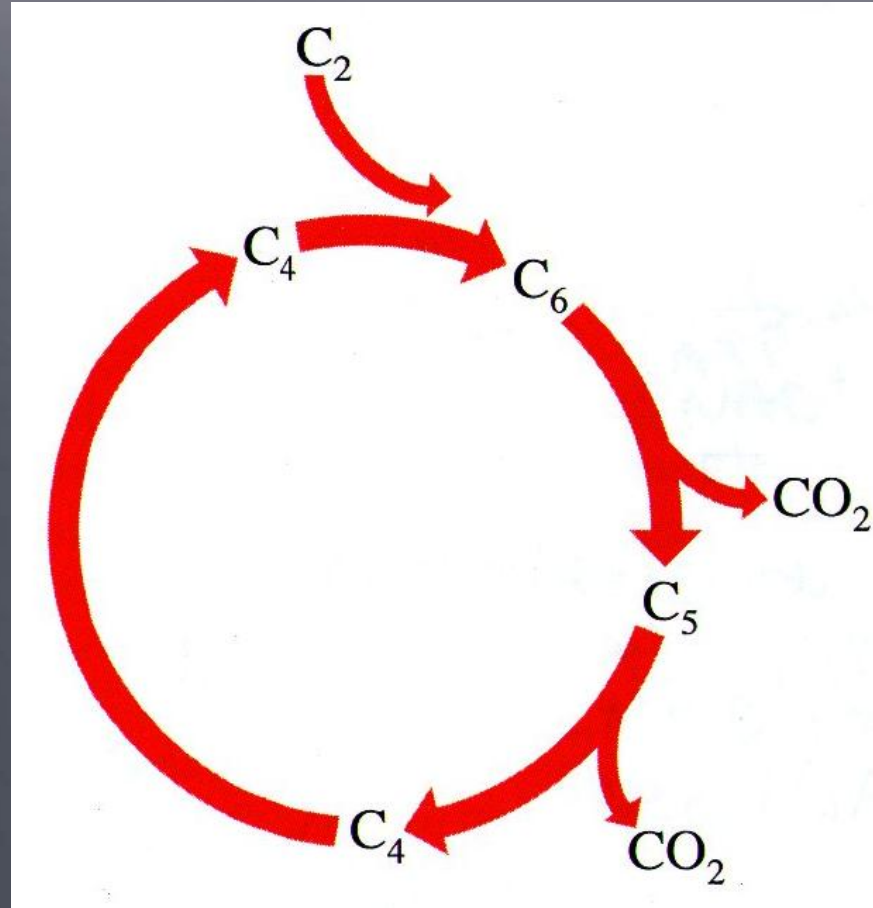
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)



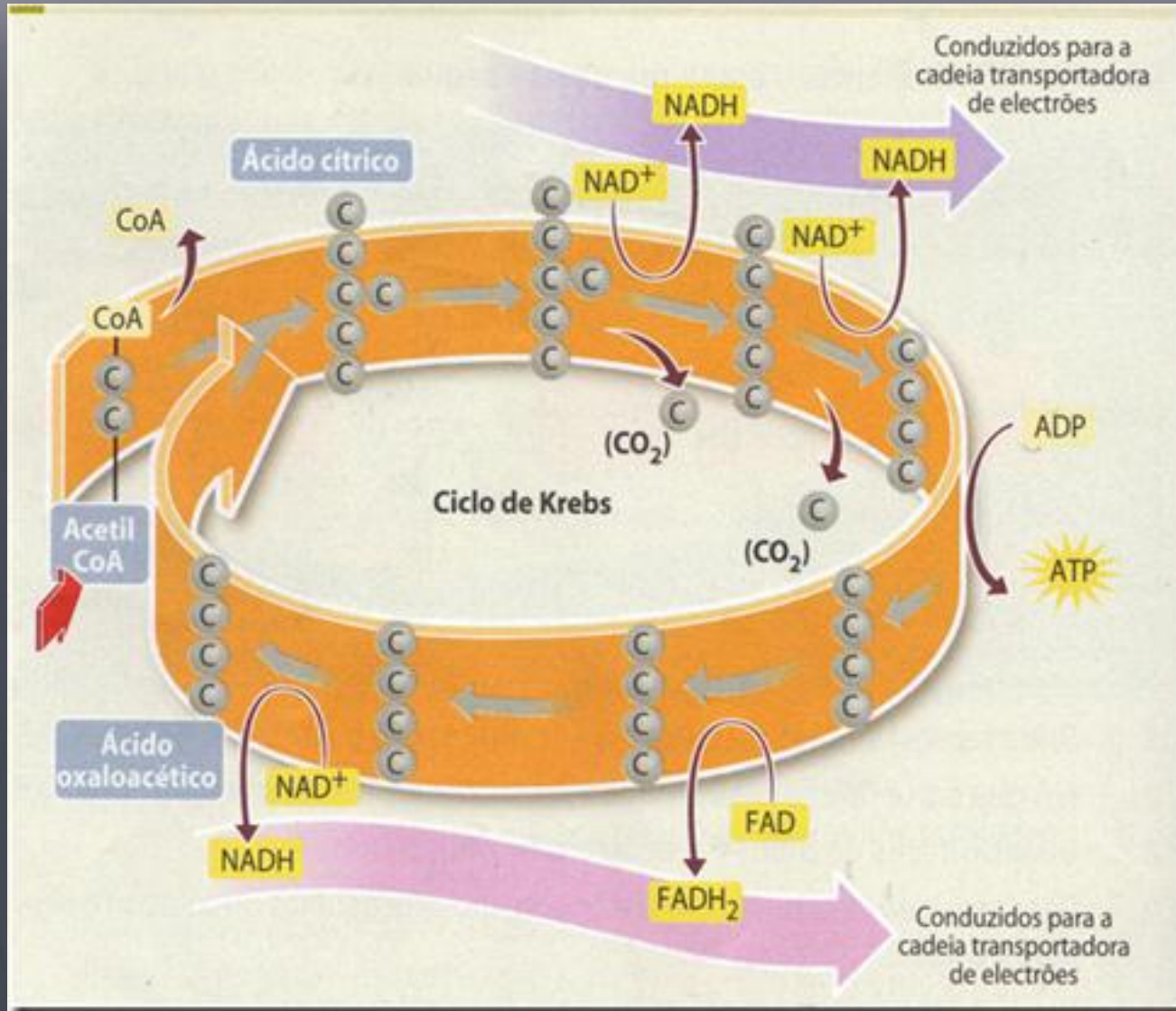
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)



# Metabolismo Celular

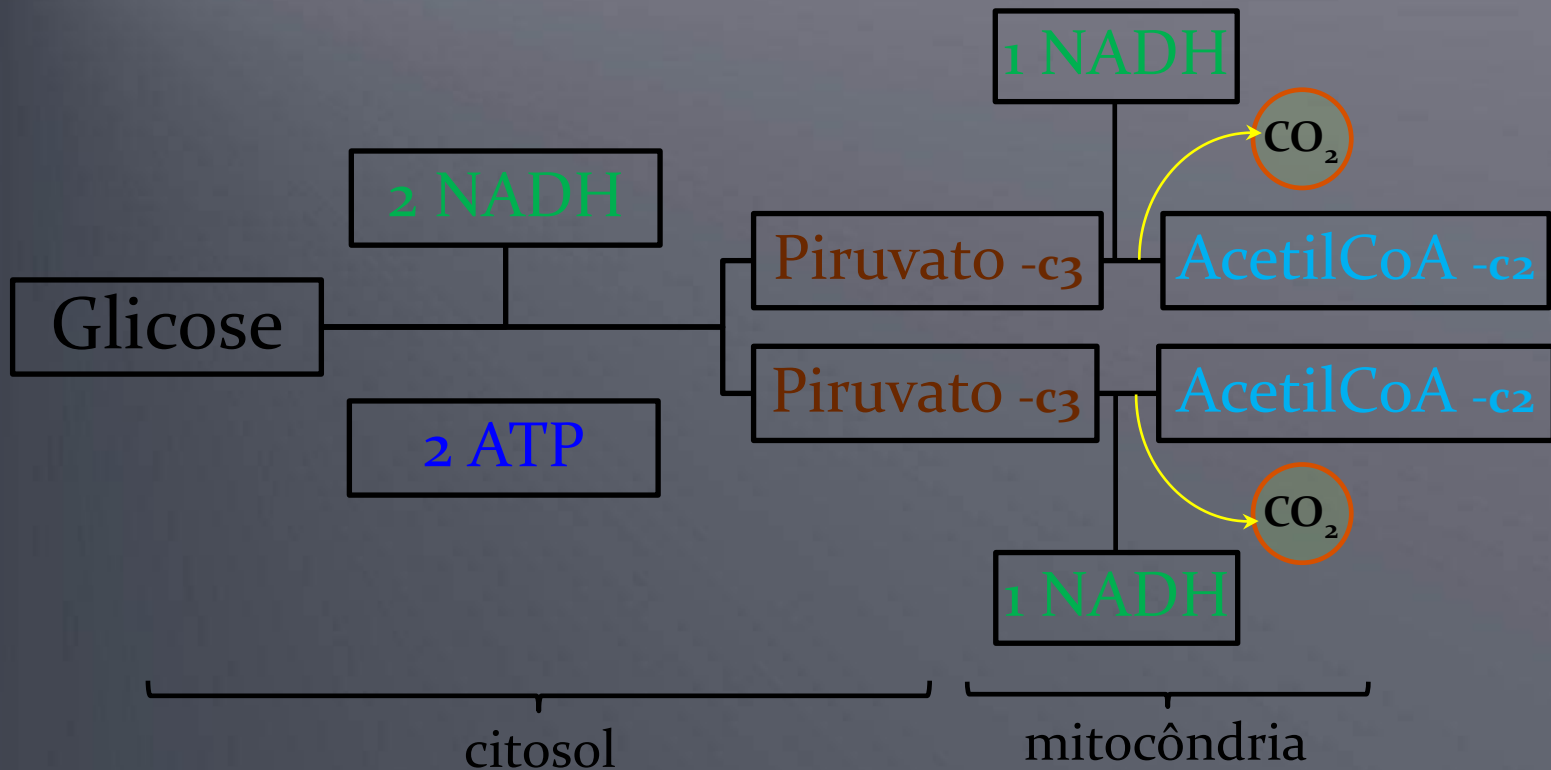
- ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)
  - Não há queima dos compostos orgânicos
  - A energia é produzida em pacotes de elétrons energizados na forma de NADH e FADH<sub>2</sub>
  - Maximizar a produção de energia
  - Fornece matéria prima para a síntese de aminoácidos com por exemplo: o ácido  $\alpha$ -cetoglutárico é usado na síntese do ácido glutâmico

# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs (Ciclo do Ácido Cítrico)
  - Por ser um ciclo fornece um método excelente para regulação das velocidades das reações catabólicas
  - É controlado por um mecanismo de retroalimentação, ou seja, quando os produtos essenciais do ciclo: NADH e  $FADH_2$  e o produto final do ciclo, o ATP, se acumulam o ciclo de Krebs é inibido por ação sobre as enzimas catalizadoras
  - O acúmulo da Acetil-CoA acelera o ciclo de Krebs

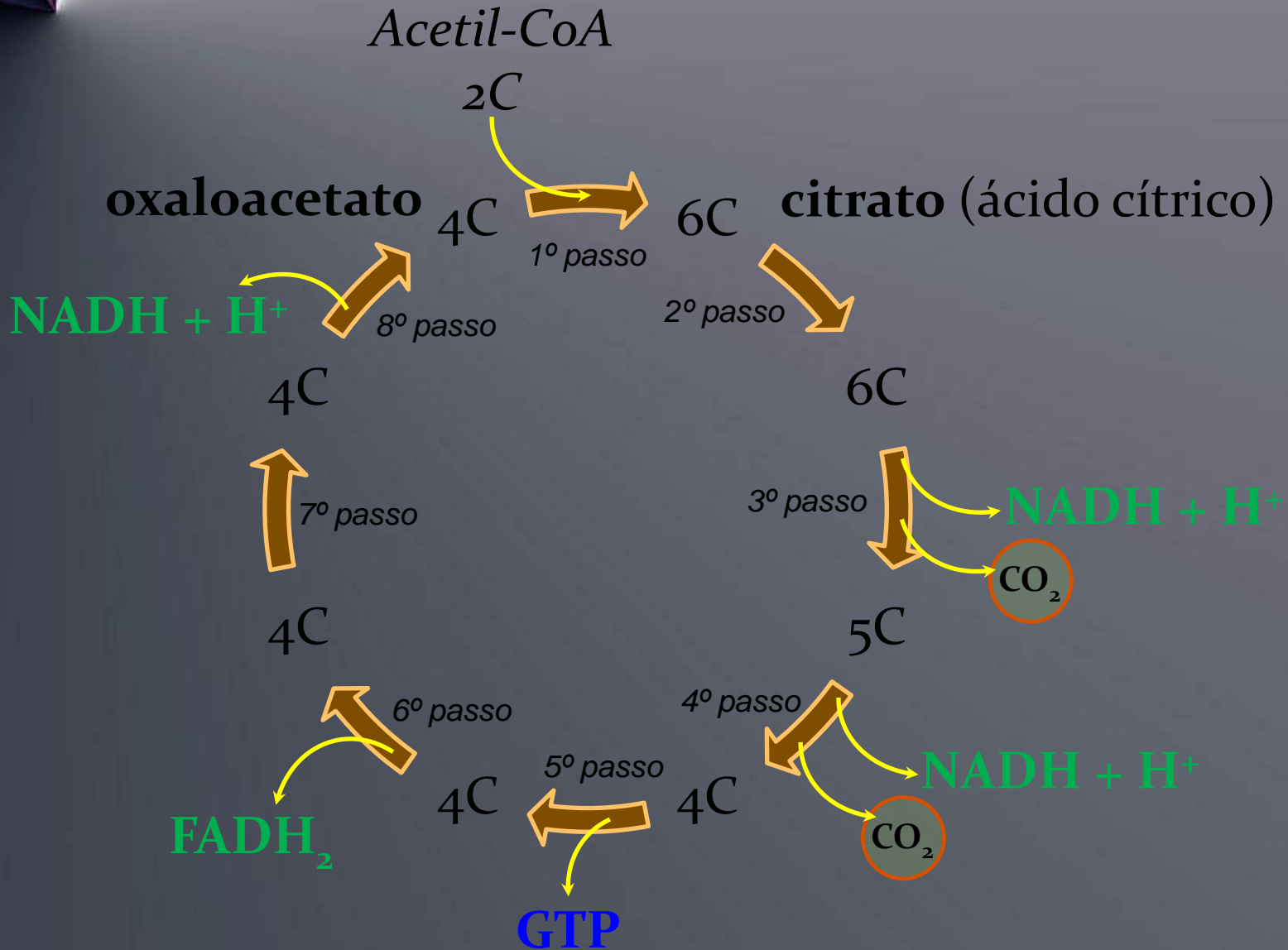
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Glicólise



# Metabolismo Celular

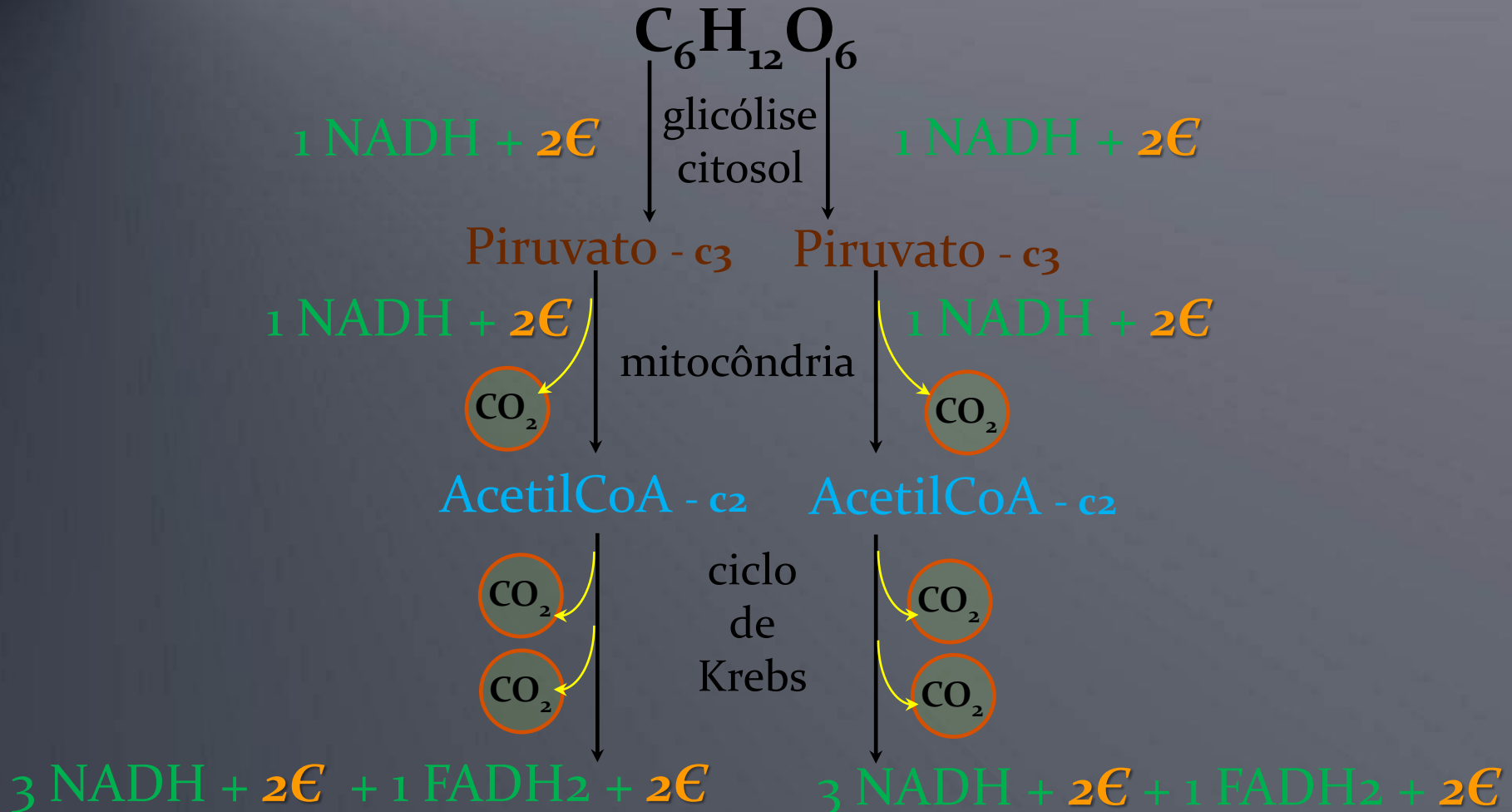
## ❖ Bioenergia: Ciclo de Krebs



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

Fragmentação Oxidativa da molécula de glicose com liberação de gás carbônico pela respiração pulmonar e transferência de íons de hidrogênio com elétrons ricos em energia (NADH e FADH<sub>2</sub>) para a cadeia respiratória e produção de ATP.



# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória
  - Cadeia de Transporte de elétrons
  - Fosforilação Oxidativa

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória

- Ocorre na membrana interna na crista mitocondrial
- Maior produção de ATP
- Processo no qual haverá a utilização da energia transferida por elétrons ricamente energizados, que foram extraídos dos nutrientes, conduzidos pelas moléculas de NADH e FADH<sub>2</sub> para fosforilação de moléculas de ADP gerando as moléculas de ATP.

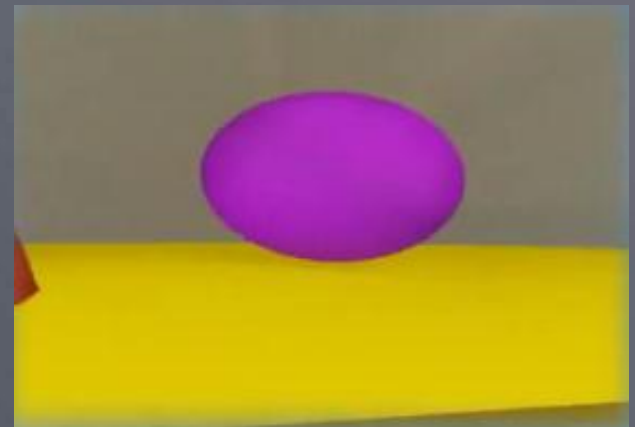
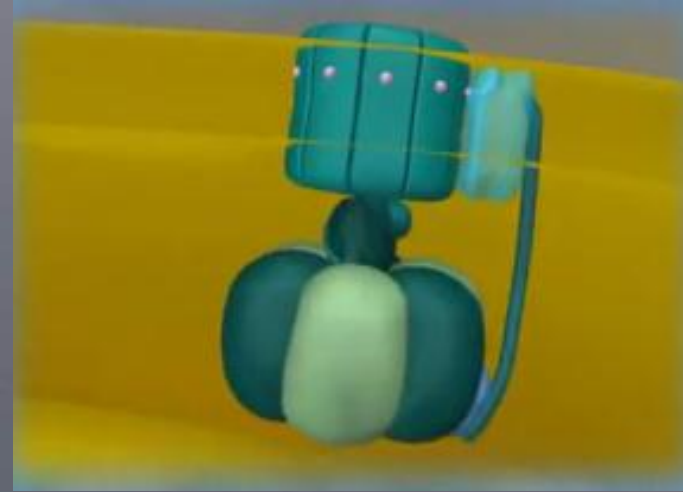
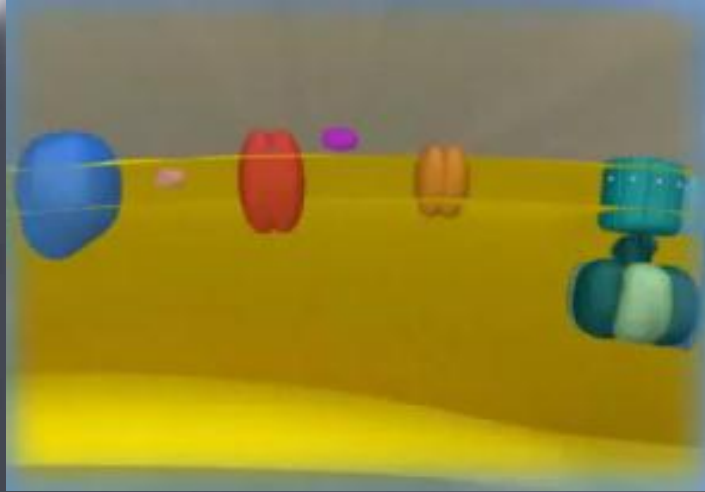
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória

- Complexo proteico situado na membrana interna da crista mitocondrial, que separa a matriz mitocondrial do meio intermembranar (entre as membranas interna e externa)
- 3 Proteína: bombeadoras de prótons (íons hidrogênio)
  - ✓ NADH desidrogenase
  - ✓ Citocromo b-c<sub>1</sub>
  - ✓ Citocromo oxidase
- 2 Proteínas, lipossolúveis, que transportam os elétrons entre as proteínas bombeadoras de prótons, através da membrana interna
  - ✓ Ubiquinona
  - ✓ Citocromo c
- 1 Proteína extremamente complexa, que é uma enzima denominada da ATPase translocadora de prótons ou também denominada *ATP sintetase*

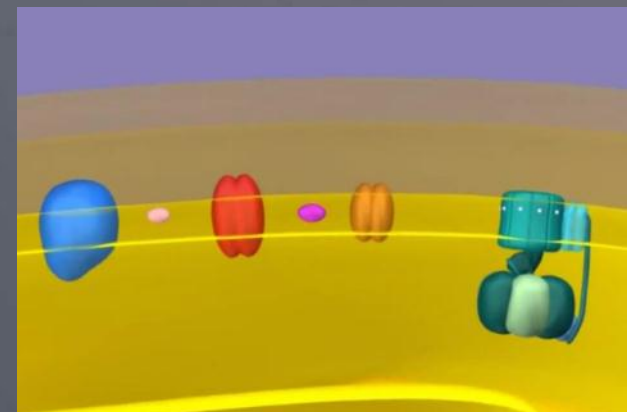
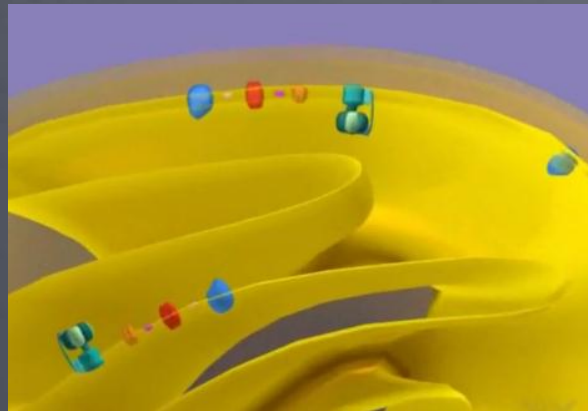
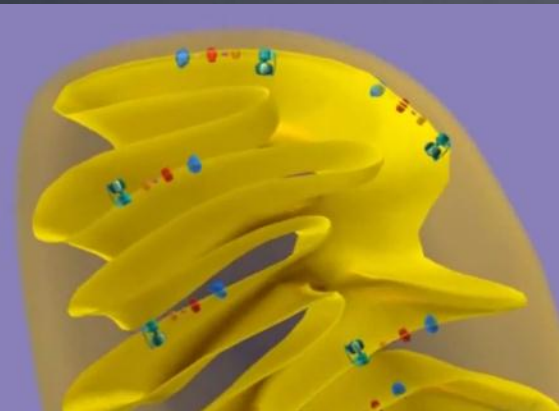
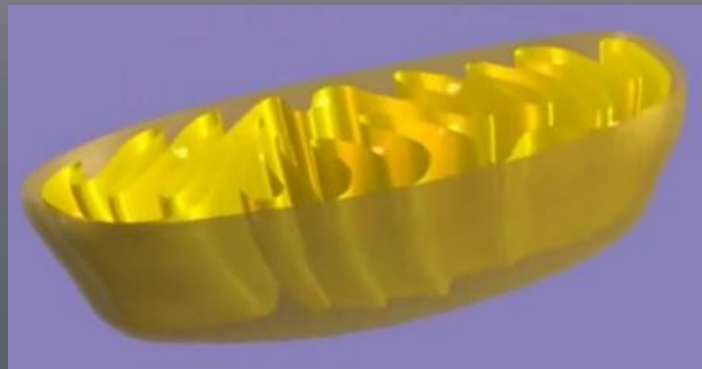
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória



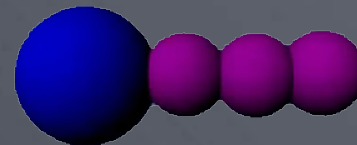
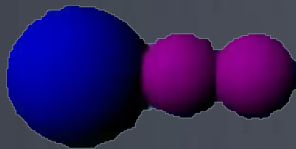
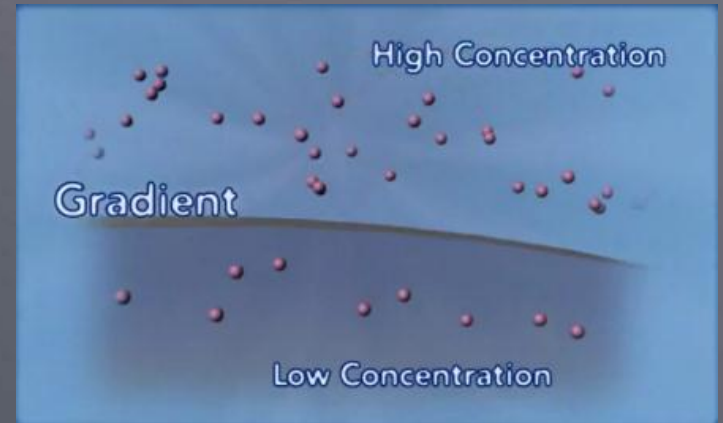
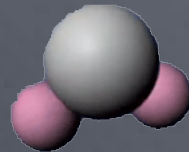
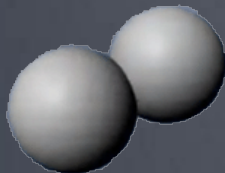
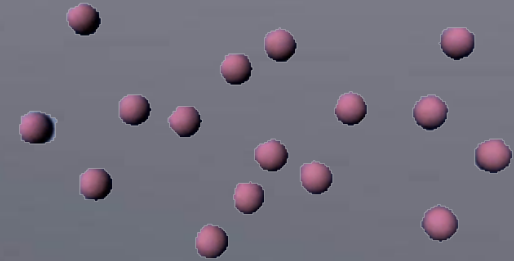
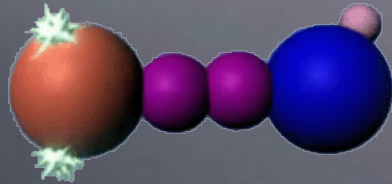
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória



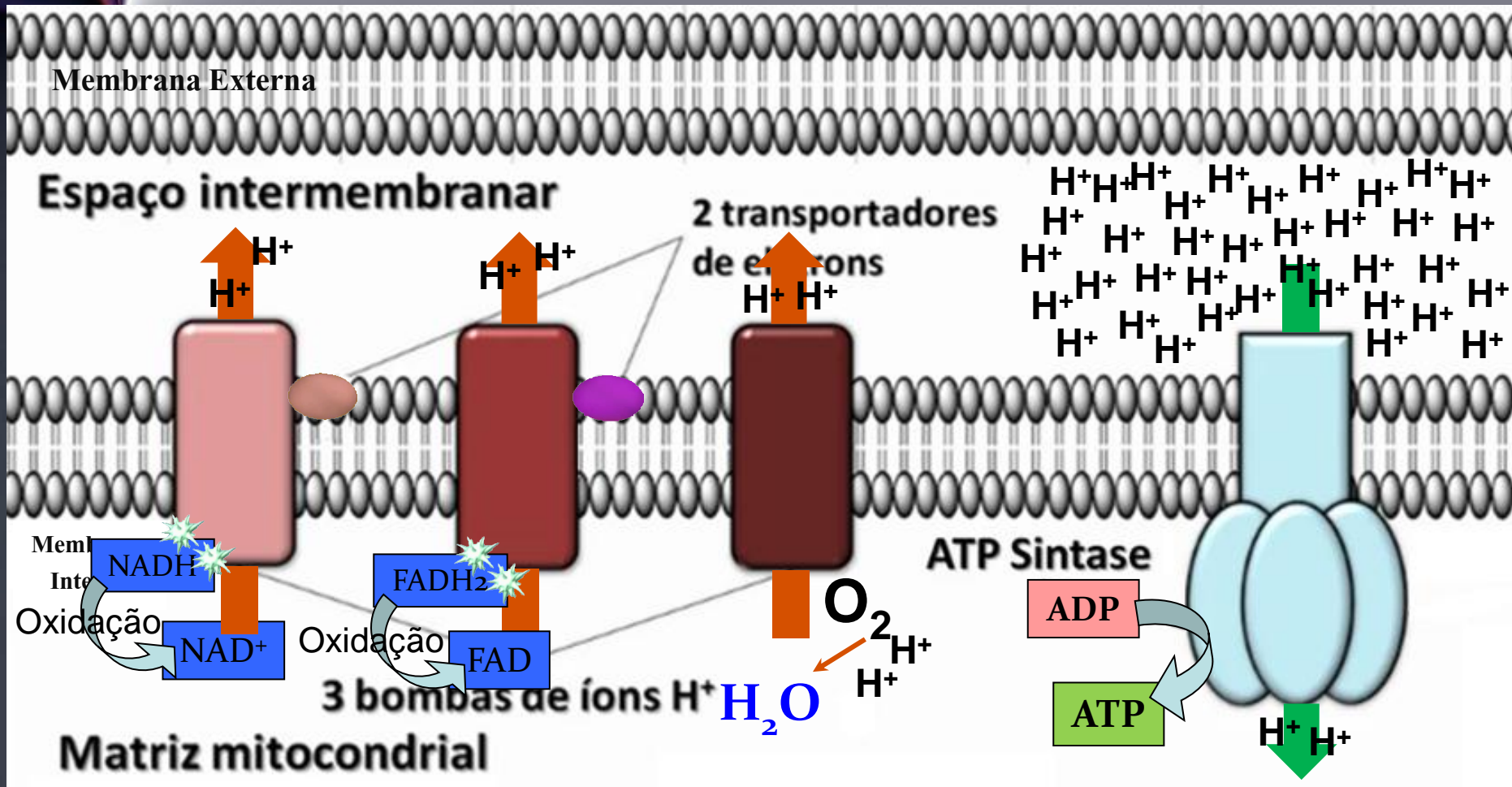
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória

- Processo no qual NADH e FADH<sub>2</sub> irão transferir seus elétrons energizados, adquiridos ao longo do processo, para uma série de proteínas bombeadoras de íons H<sup>+</sup> dispostas ao longo da membrana interna da mitocôndria
- Os elétrons transferidos pelo NADH e FADH<sub>2</sub> libera a energia necessária para que haja o bombeamento de íons H<sup>+</sup> da matriz mitocondrial para o espaço intermembranar
- As proteínas transportadoras, lipossolúveis, transferem os elétrons pelas 3 proteínas bombeadoras de prótons até ao final desta cadeia quando então o Oxigênio, atua como o receptor final, recebe os elétrons, que quebra a molécula de Oxigênio, gerando 2 ânions O<sup>2-</sup> que reagem com os íons H<sup>+</sup> para formar água

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória

- Este transporte de  $H^+$  gera um gradiente de concentração entre a matriz e o espaço intermembranar, sendo que este irá apresentar a maior concentração de íons  $H^+$
- Este gradiente determina os íons de  $H^+$  sejam transferidos através da enzima *ATP sintetase*, que gira um “rotor” proteico, transformando a energia mecânica em energia química pela fosforilação da *ADP* em *ATP*.

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória

- É um processo oxidativo: ocorre na presença de Oxigênio com oxidação das moléculas NADH e FADH<sub>2</sub>

- **Funções do Oxigênio:**

- ✓ Atraem os elétrons estes através das proteínas transportadoras e captam estes elétrons ao término do transporte pela membrana interna
- ✓ Reagem com os íons de Hidrogênio formando água
- ✓ Promovem a oxidação do NADH e FADH<sub>2</sub>
- ✓ Promovem a entrada dos íons de Hidrogênio na mitocôndria, porque a concentração de hidrogênio diminui quando forma água

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Cadeia Respiratória

- Cada par de prótons ( $H^+$ ) que entra no transporte de elétrons produz 1 molécula de ATP
- Cada NADH transfere 3 pares de prótons para o transporte de elétrons
- Cada  $FADH_2$  transfere 2 pares de prótons para o transporte de elétrons
- Cada molécula de NADH produz 3 moléculas de ATP
- Cada molécula de  $FADH_2$  produz 2 moléculas de ATP
- ***Oxidação do NADH e  $FADH_2$  para retornar para o início do ciclo e manter a respiração celular***

# Metabolismo Celular

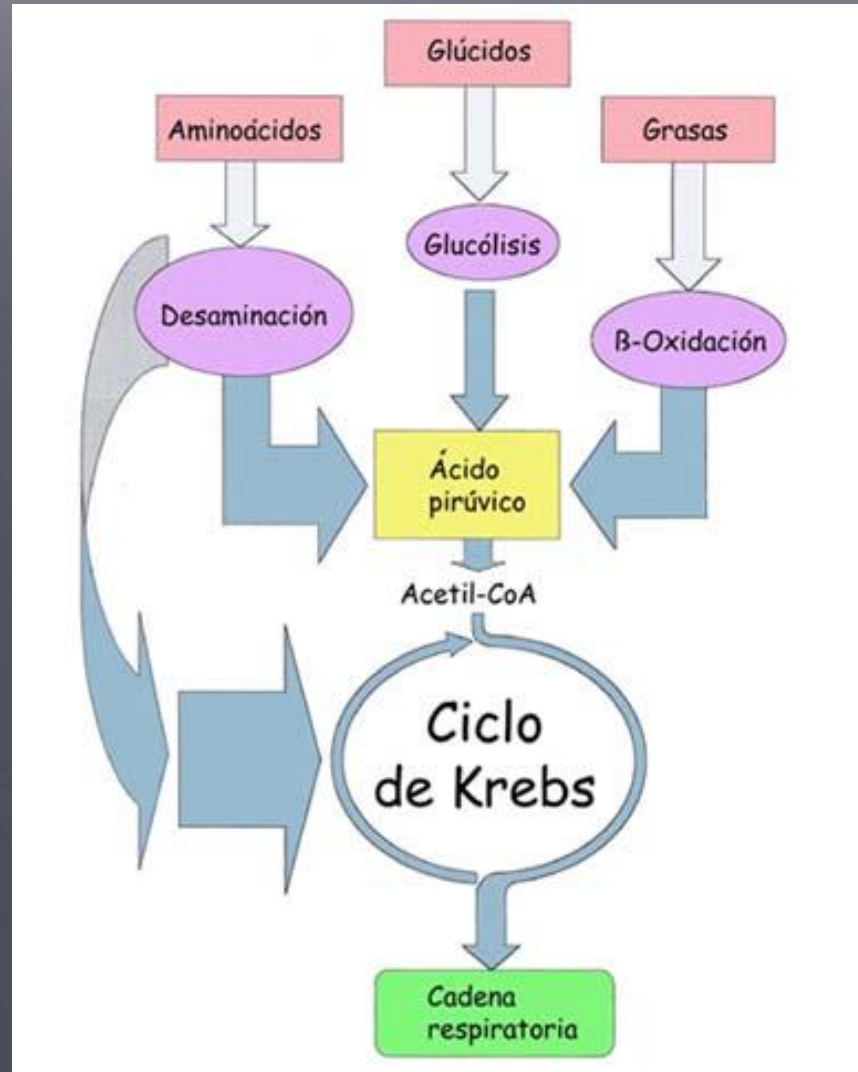
## ❖ Bioenergia: Respiração Celular

### • Rendimento Energético de 1 molécula de Glicose

- ✓ **2 moléculas de ATP (glicólise)**
  - ✓ **2 molécula de NADH (glicólise: citosol)**
  - ✓ **2 molécula de NADH (glicólise: mitocôndria)**
  - ✓ **6 moléculas de NADH (Ciclo de Krebs)**
  - ✓ **2 moléculas de FADH<sub>2</sub> (ciclo de Krebs)**
  - ✓ **2 molécula de GTP (ciclo de Krebs): 2 moléculas de ATP**
  - ✓ **Cadeia Respiratória:**
    - **2 NADH (glicólise/citosol): 4 moléculas de ATP**
    - **2 NADH (glicólise/mitocôndria): 6 moléculas de ATP**
    - **6 NADH (ciclo de Krebs): 18 moléculas de ATP**
    - **2 FADH<sub>2</sub> (ciclo de Krebs): 4 moléculas de ATP**
- Total: 36 moléculas de ATP**

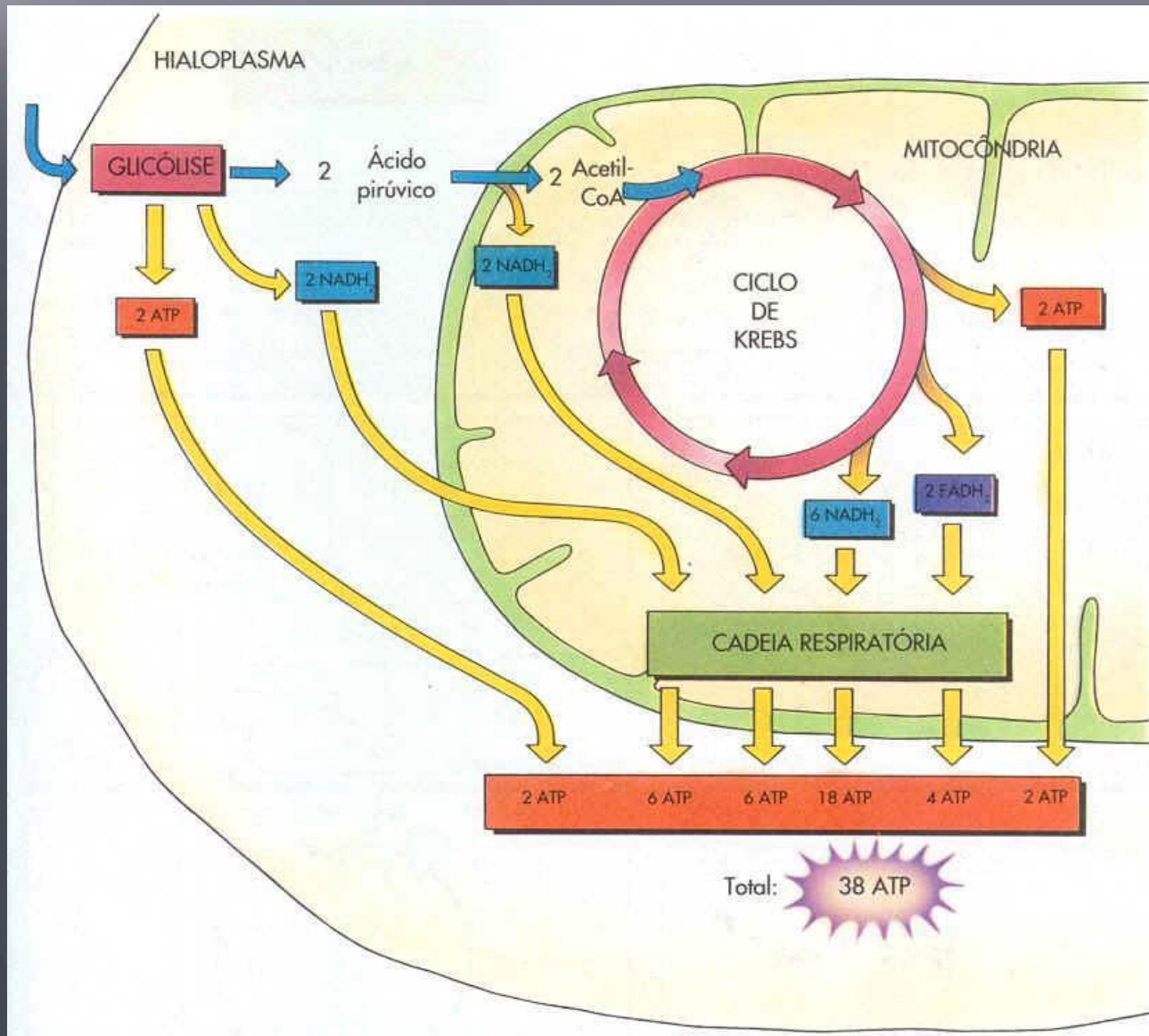
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergía: Respiración Celular



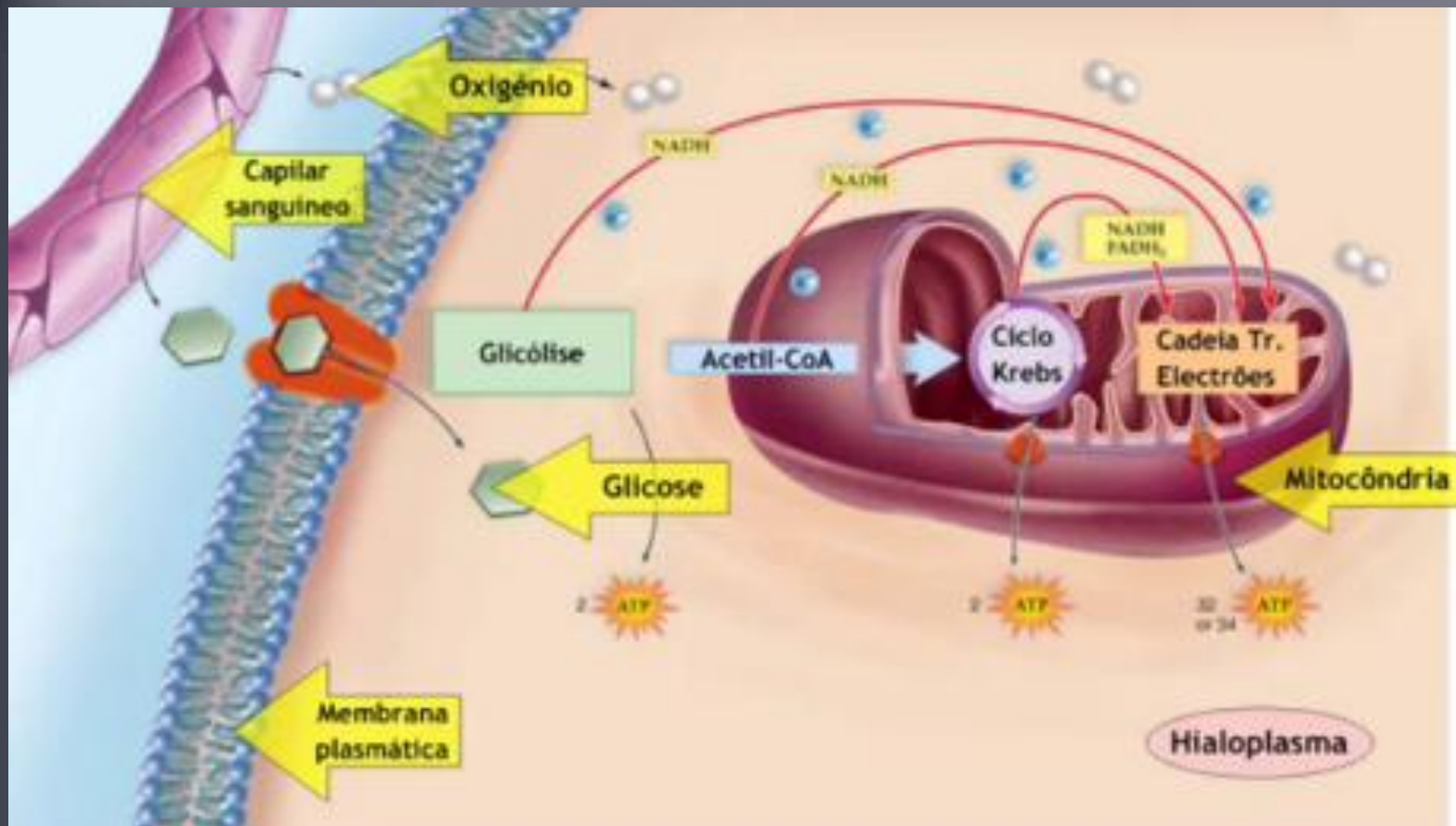
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Respiração Celular



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: Respiração Celular



# Metabolismo Celular

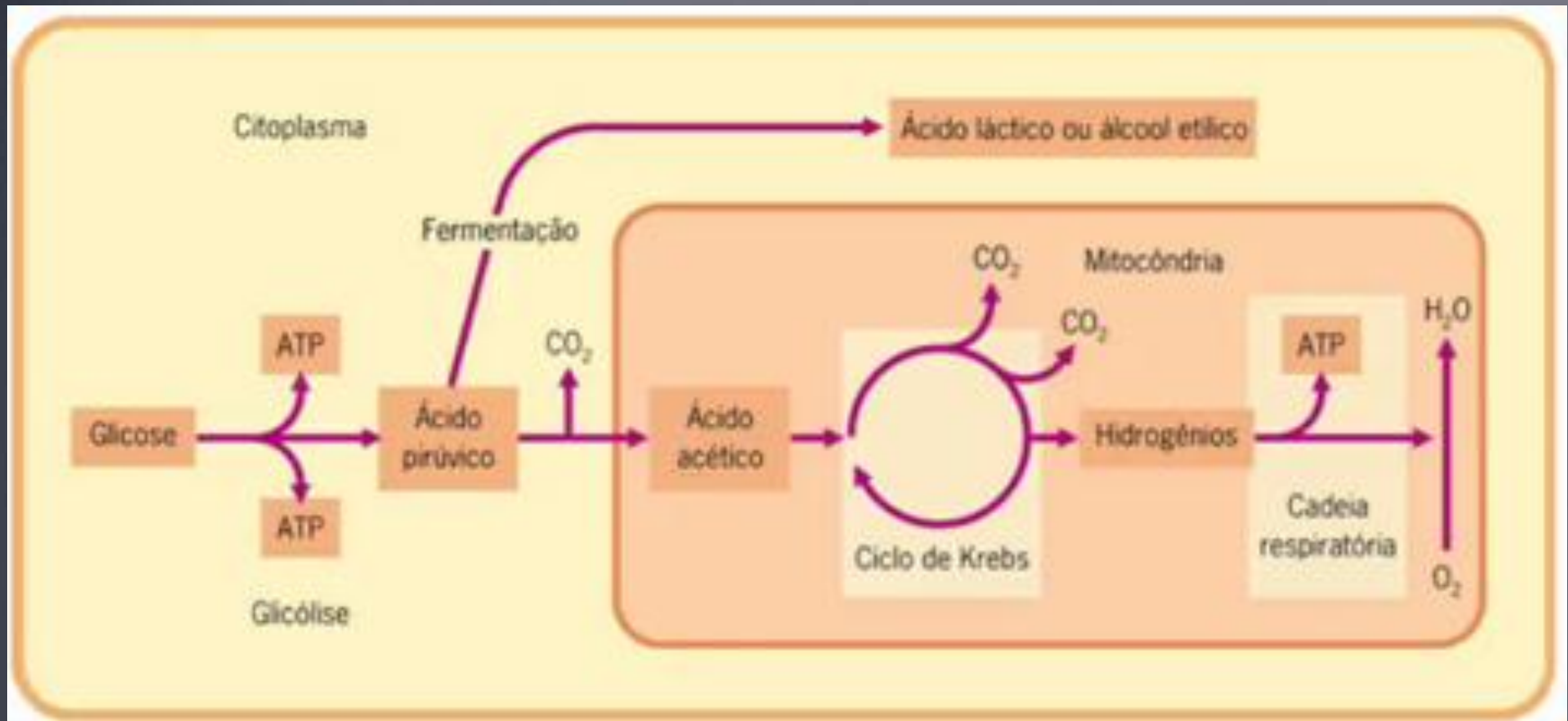
## ❖ Bioenergia: na *Ausência de Oxigênio*:

- Não há captação dos elétrons da cadeia de transporte de elétrons, não liberando as proteínas das membranas
- Não há a oxidação do NADH em NAD<sup>+</sup> e FADH<sub>2</sub> em FAD
- Não há o retorno de NAD<sup>+</sup> e FAD para o início do processo
- Não há bombeamento de prótons para o espaço intermembranar, logo não é criado um gradiente de concentração de íons H<sup>+</sup> entre a matriz mitocondrial e o espaço intermembranar
- O transporte de elétrons e a fosforilação oxidativas são interrompidas e não ocorrendo a produção de ATP
- A glicólise permanece, porque o Piruvato não pode ficar acumulado
- Ocorrendo a oxidação do NADH e FADH<sub>2</sub> resultando em poucas moléculas de ATP: *Processos Anaeróbicos*

# Metabolismo Celular

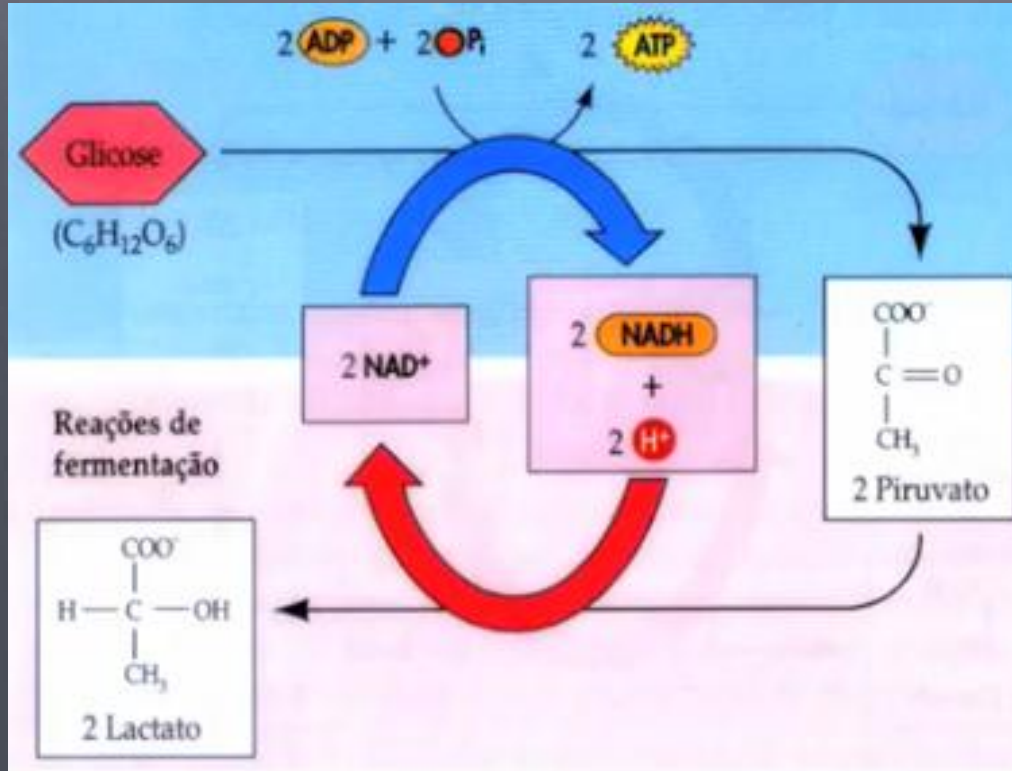
## ❖ Bioenergia: na *Ausência de Oxigênio*:

- Fermentação Láctica
- Fermentação Alcoólica



# Metabolismo Celular

- ❖ Bioenergia: na *Ausência de Oxigênio*:
  - Fermentação Láctica

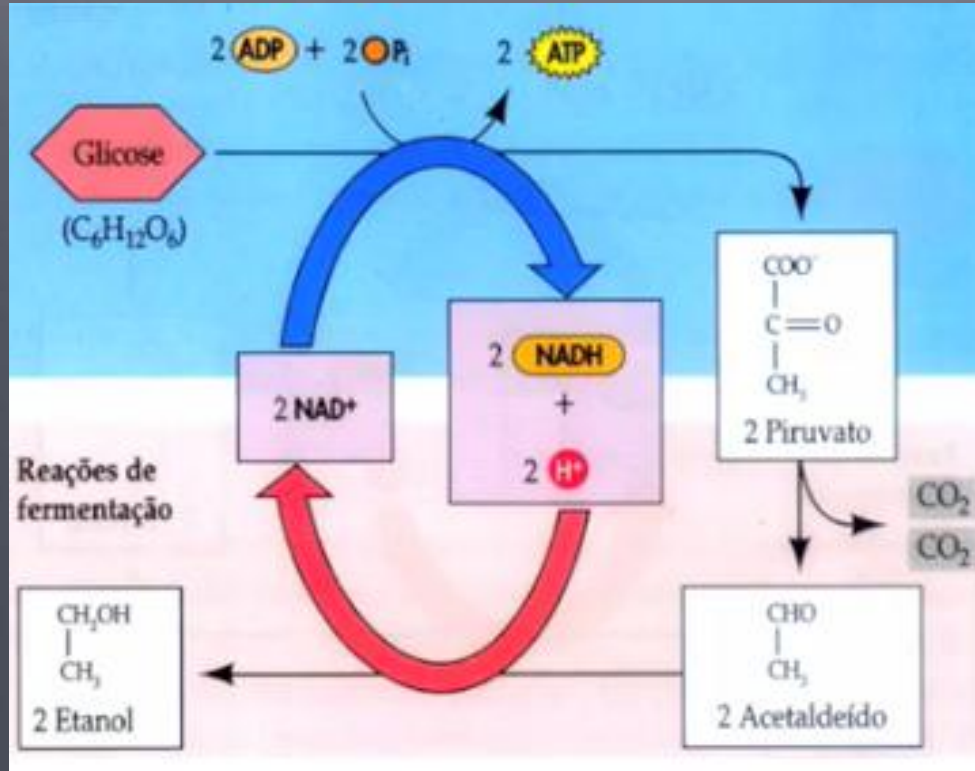


# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: na *Ausência de Oxigênio*:

### • Fermentação Alcoólica:

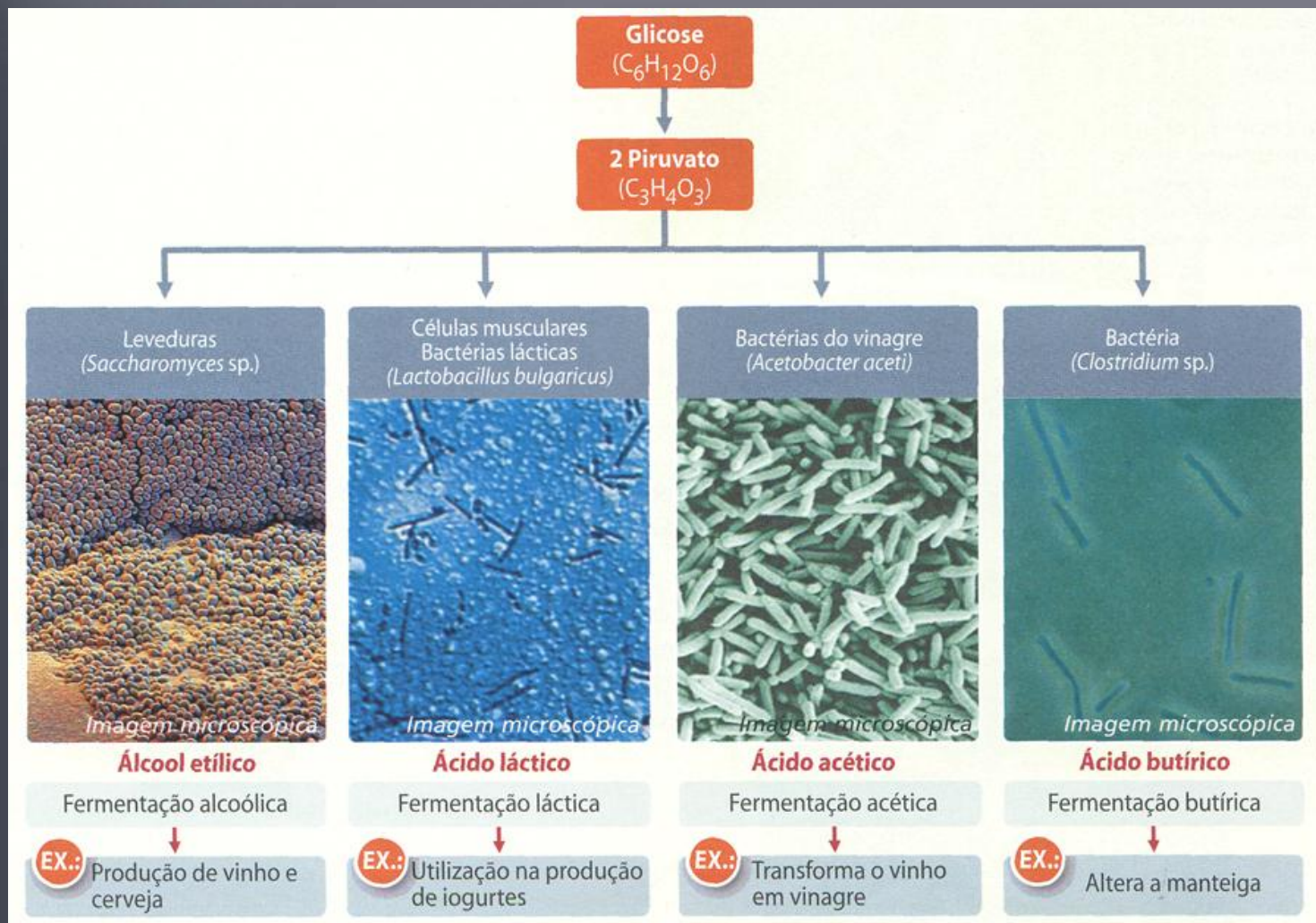
✓ *Saccharomyces cerevisiae*: fermentação do pão



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia: na *Ausência de Oxigênio*:

### • Fermentação:



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

- **Anabolismo:** são as reações químicas (Vias Biossintéticas) que sintetizam os compostos simples e complexos necessários para as células:

- Síntese de Carboidratos:

- ✓ Fotossíntese nas plantas

- ✓ Síntese em animais e humanos

- ✓ Conversão da glicose em outras moléculas de carboidratos nos animais e humanos

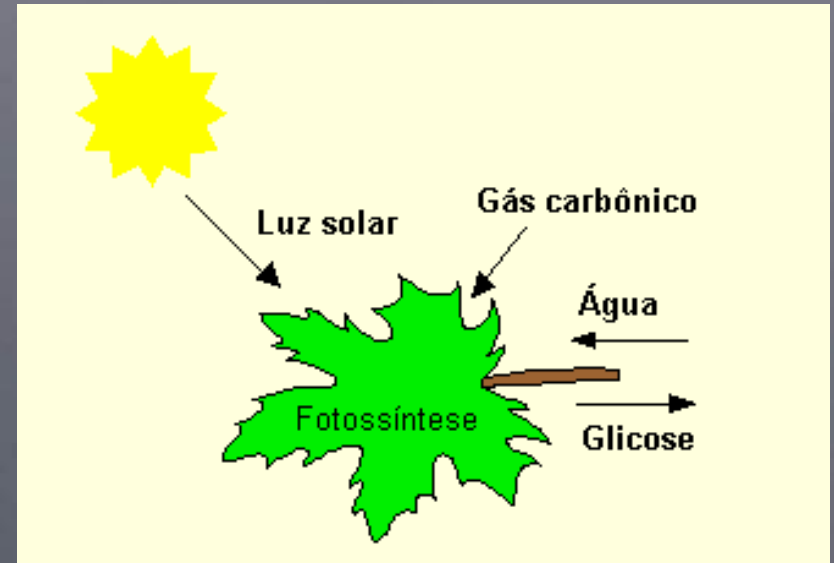
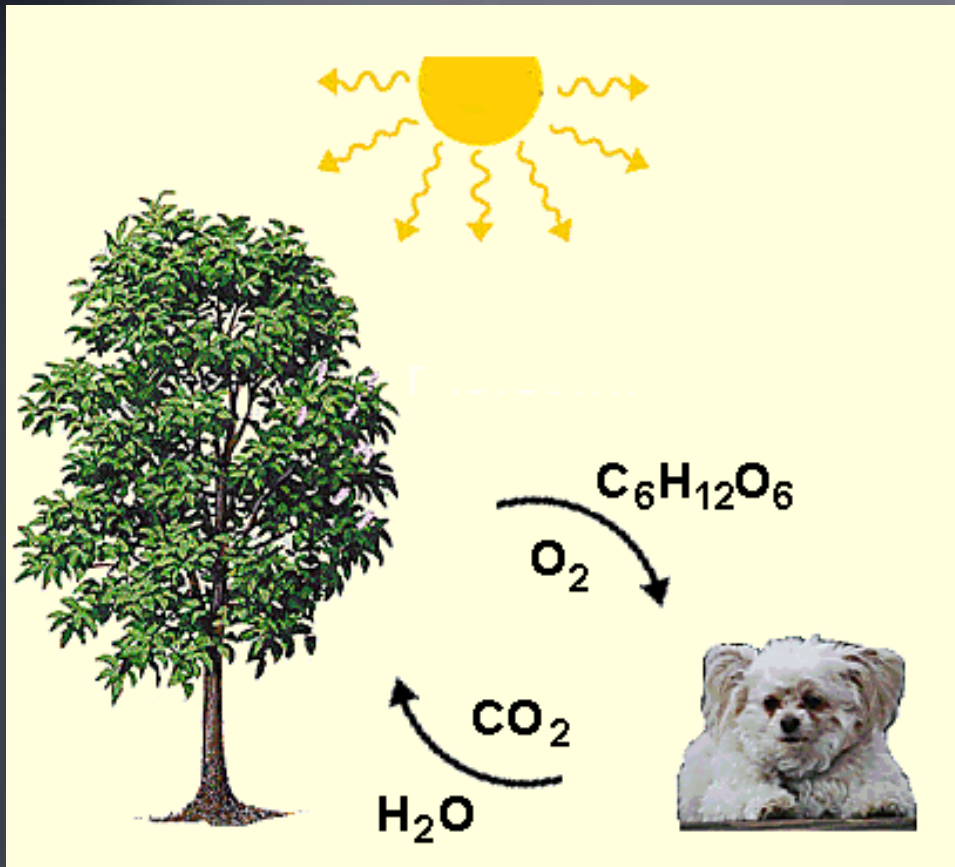
- Síntese de Lipídeos

- Síntese de Proteínas

# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

- Anabolismo: Fotossíntese



# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

### • Anabolismo: Fotossíntese

- Produção de glicose a partir de compostos inorgânicos
- Ocorre no interior dos cloroplastos
- Utiliza: luz solar, água, gás carbônico e Clorofila (pigmento)
- Ocorre em 2 Etapas:
- **Fase Luminosa:** a clorofila captura a luz solar e com esta energia extrai elétrons e prótons da água para produzir oxigênio, ATP e NADH + H<sup>+</sup>
- **Fase Escura:** esta fase não necessita da luz solar, utiliza a energia do ATP que com auxílio do HADH + H<sup>+</sup> reduz o gás carbônico produzindo os carboidratos, este processo é cíclico sendo denominado de Ciclo de Calvin, representada pela equação:



Uma enzima que participa deste ciclo é a ribulose-1,5-difosfato carboxilato-oxigenase, conhecida como **RuBisCo** é uma das mais lentas da natureza sendo a principal causa do baixo rendimento do Ciclo de Calvin (menos do 1% da energia solar é convertida em carboidrato)

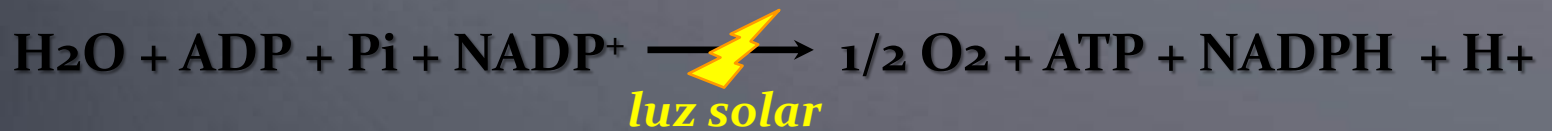
# Metabolismo Celular

## ❖ Bioenergia:

### • Anabolismo: Fotossíntese

#### ○ Ocorre em 2 Etapas:

✓ **Fase Luminosa:** a clorofila captura a luz solar e com esta energia extrai elétrons e prótons da água (oxidação) para produzir oxigênio, ATP e NADPH + H<sup>+</sup>



✓ **Fase Escura:** esta fase não necessita da luz solar, utiliza a energia do ATP que com auxílio do HADH + H<sup>+</sup> reduz o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) produzindo os carboidratos, este processo é cíclico sendo denominado de **Ciclo de Calvin**, representada pela equação:

