

METABOLISMO MICROBIANO

1. METABOLISMO

grego: *metabole* = mudança, transformação

**SOMA DE TODAS AS REAÇÕES QUÍMICAS
DENTRO DE UM ORGANISMO VIVO**

1. METABOLISMO

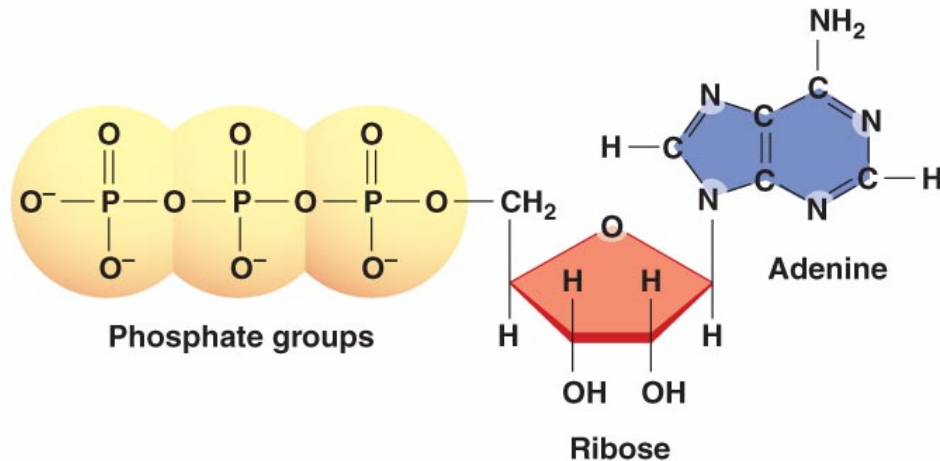
As reações químicas podem ser divididas em duas classes:

- **CATABOLISMO:** reações que liberam energia. Quebra de compostos orgânicos complexos em compostos químicos simples.
- **ANABOLISMO:** reações que requerem energia. Construção de moléculas orgânicas complexas a partir de moléculas mais simples.

2. PRODUÇÃO DE ENERGIA

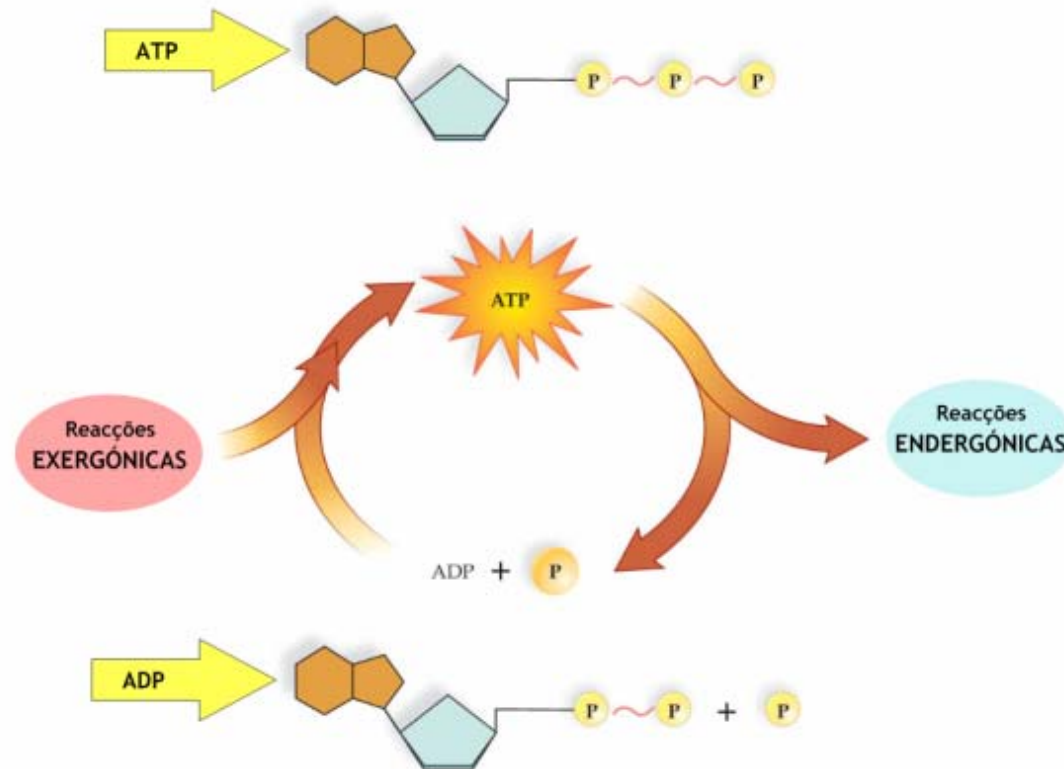
As reações catabólicas fornecem energia necessária para dirigir as reações anabólicas, através da molécula de Trifosfato de Adenosina (ATP).

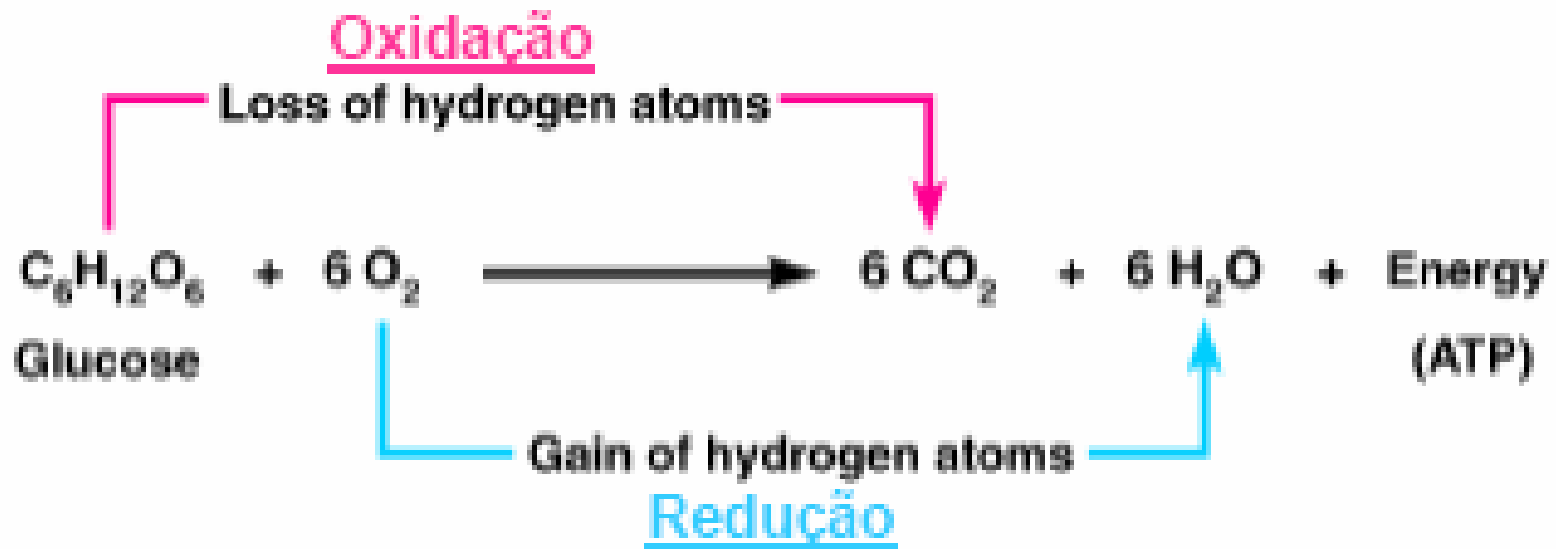
(a) ATP consists of three phosphate groups, ribose, and adenine.



TRIFOSFATO DE ADENOSINA

O ATP estoca energia derivada de reações catabólicas e a libera mais tarde para dirigir reações anabólicas e realizar outro trabalho celular.





OXIDAÇÃO = perda de elétrons

REDUÇÃO = ganho de elétrons

GERAÇÃO DE ATP

FOSFORILAÇÃO EM NÍVEL DE SUBSTRATO

O ATP é gerado quando um **P** de alta energia é diretamente transferido de um composto fosforilado (substrato) a ADP.

O **P** adquiriu sua energia durante uma reação inicial na qual o próprio substrato é oxidado.

GERAÇÃO DE ATP

FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA

Os elétrons transferidos do composto orgânico a carreadores de elétrons (NAD^+) são passados através de uma série de diferentes carreadores a molécula de O_2 ou outras moléculas orgânicas.

CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS – última etapa da respiração.

Ocorre na membrana plasmática de procariontes e na membrana mitocondrial interna de eucariontes.



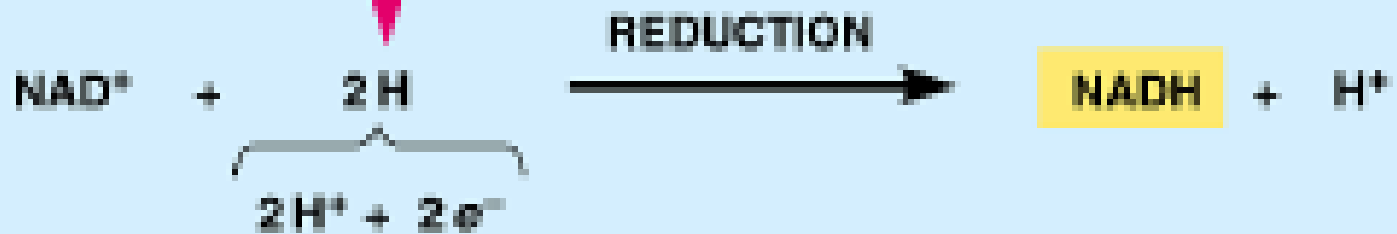
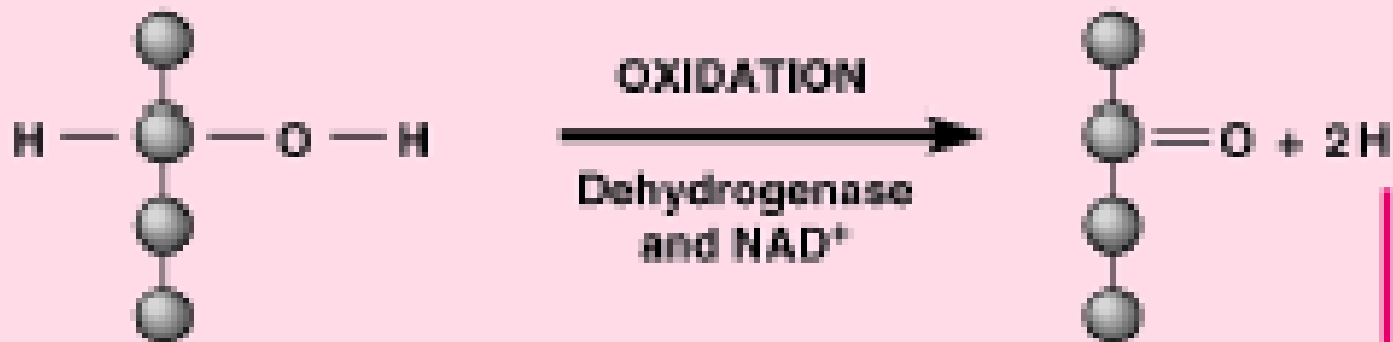
Nicotinamida-Adenina Dinucleotídeo

Coenzima que auxilia as reações biológicas através da absorção de átomos de hidrogênio removidos do substrato – sua forma reduzida NADH ou NADH₂, contém mais energia, que pode ser utilizada para gerar ATP em reações posteriores.

Outros exemplos de coenzimas utilizadas no metabolismo energético:

FAD (Flavina-Adenina Dinucleotídeo)

e sua forma reduzida FADH₂



GERAÇÃO DE ATP

FOTOFOSFORILAÇÃO

Ocorre somente em células fotossintéticas que contém pigmentos que absorvem luz, como clorofilas.

Na fotossíntese, as moléculas orgânicas (açúcares) são sintetizados com a energia da luz a partir de CO_2 e água, compostos de baixa energia.

A fotofosforilação inicia este processo pela conversão da energia luminosa à energia química de ATP e NADH, que por sua vez são utilizados para sintetizar moléculas orgânicas.

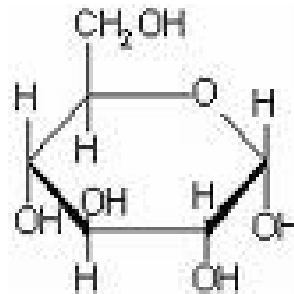
Como na fosforilação oxidativa, uma cadeia de transporte de elétrons está envolvida.

VIAS METABÓLICAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

- Os organismos liberam e armazenam energia de moléculas orgânicas;
- Para extrair a energia de compostos orgânicos e armazená-la em forma química, os organismos passam elétrons de um composto a outro através de reações de oxidação e redução.

3. METABOLISMO DE CARBOIDRATOS

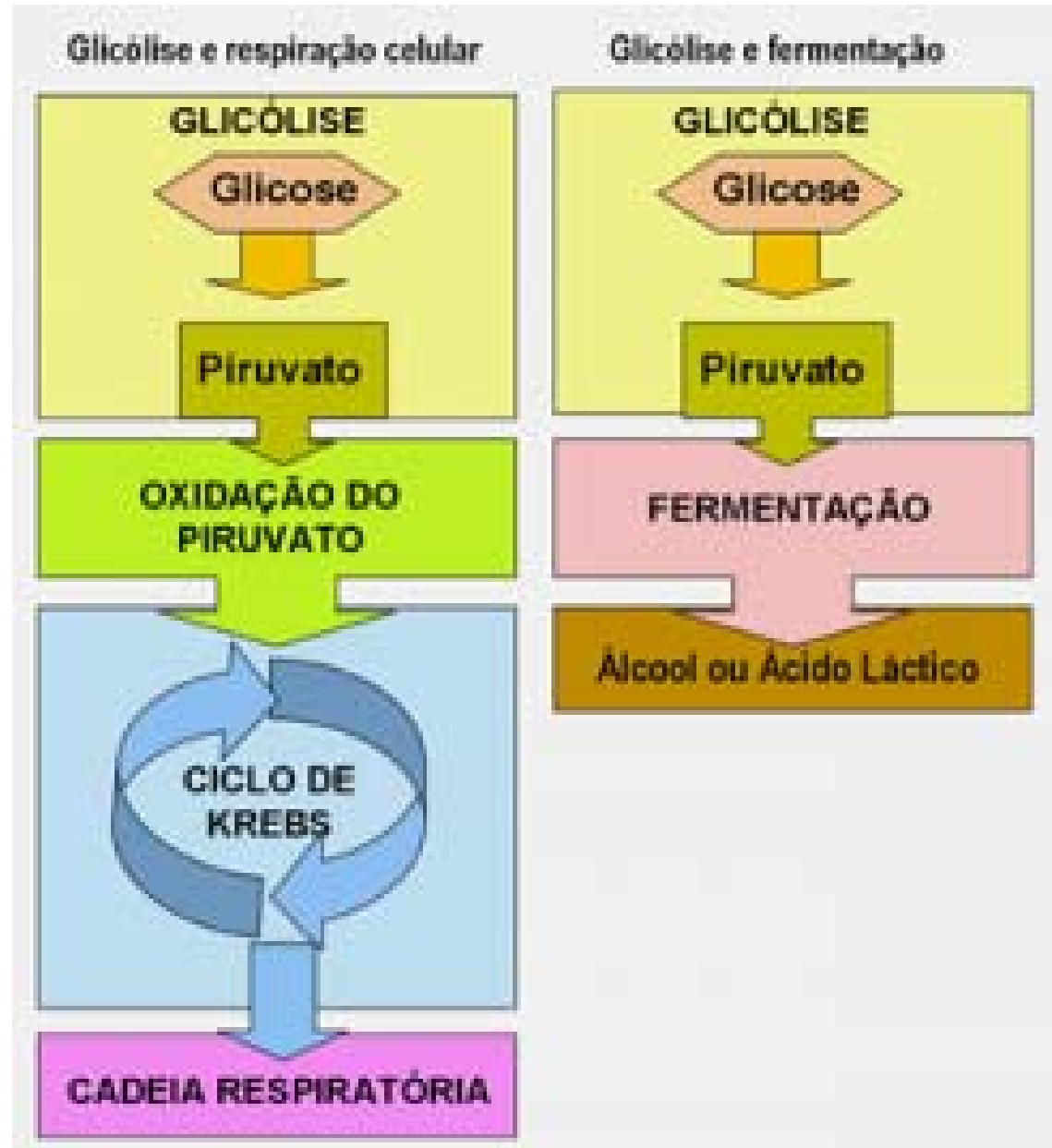
- A maioria dos microrganismos oxida carboidratos como sua fonte primária de energia celular.
- A glicose é a fonte mais comum de energia de carboidrato utilizada pelas células.



- Produção de energia a partir da glicose:
RESPIRAÇÃO CELULAR e FERMENTAÇÃO.

Ambos os processos usualmente iniciam com o mesmo primeiro passo :

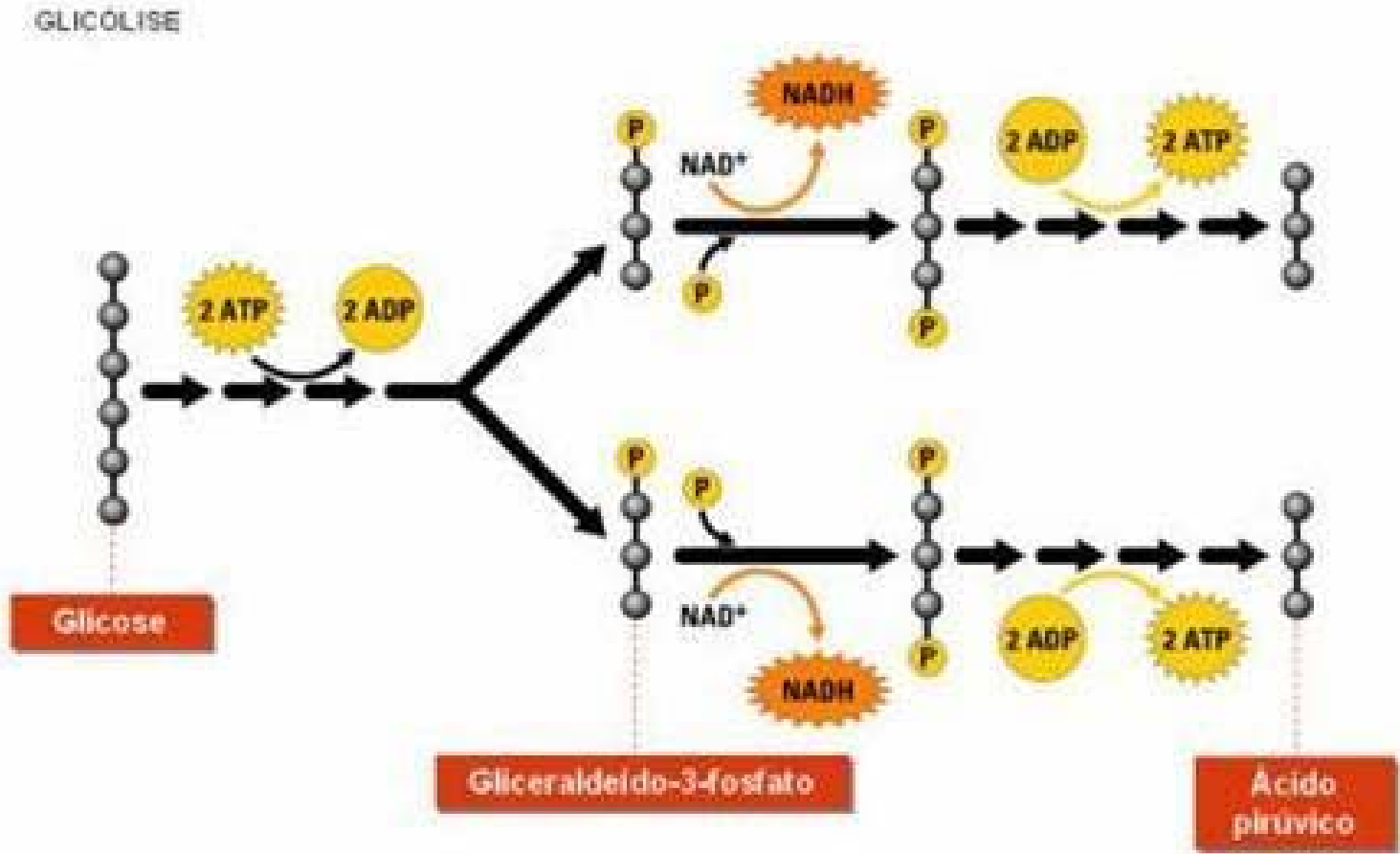
GLICÓLISE



GLICÓLISE ou VIA EMBDEN-MEYERHOF

- É a oxidação da glicose a ácido pirúvico, com a produção de algum ATP e energia contida em NADH.
- Glicólise significa quebra do açúcar (exatamente o que acontece) – a glicose (6 carbonos) é transformado em 2 açúcares de 3 carbonos.

O NAD^+ é reduzido a NADH , e há produção conjunta de duas moléculas de ATP pela fosforilação em nível de substrato

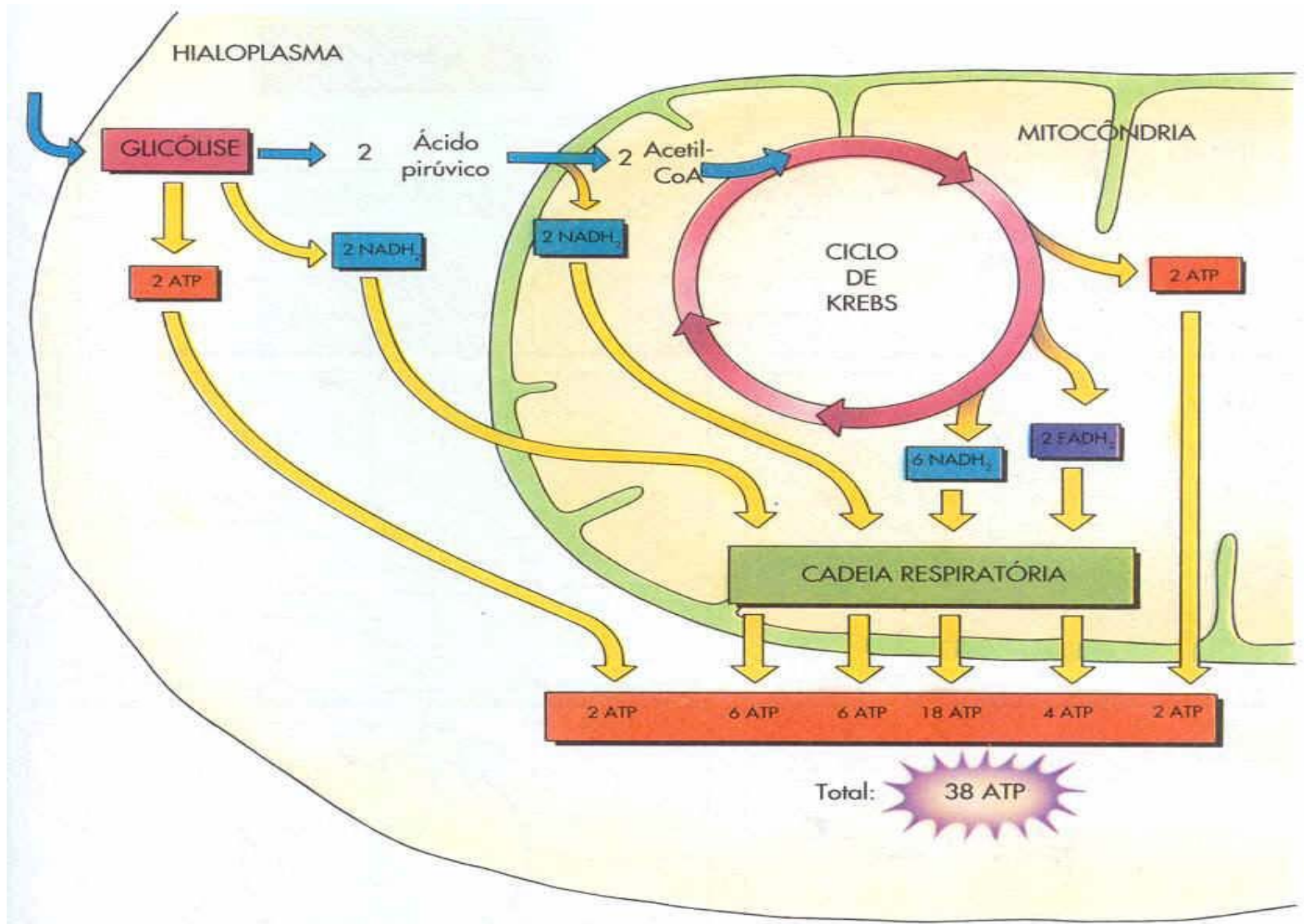


2 ATP são utilizados – 4 ATP são formados – ganho de 2 ATP

RESPIRAÇÃO CELULAR

- Definida como um processo de geração de ATP no qual moléculas são oxidadas e o acceptor final de elétrons é, na maioria dos casos, uma molécula inorgânica.
- AERÓBIA – O_2 é o acceptor final de elétrons
- ANAERÓBIA – não utiliza O_2 , e o acceptor final de elétrons é outra molécula inorgânica ou raramente orgânica.

RESPIRAÇÃO AERÓBICA

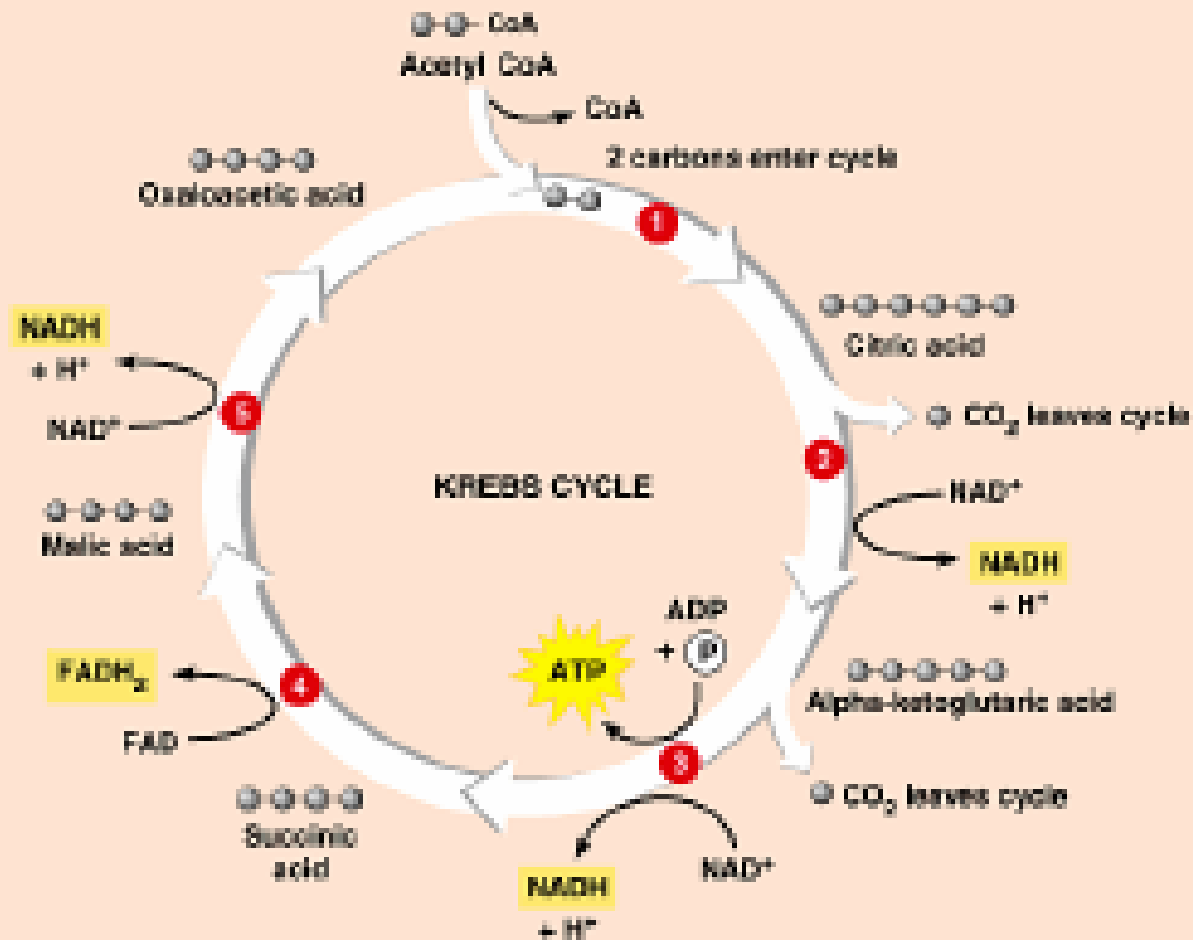


CICLO DE KREBS

Ciclo do ácido tricarboxílico ou ciclo do ácido cítrico.

Série de reações bioquímicas nas quais a grande quantidade de energia química potencial armazenada em Acetil-CoA é liberada, através de reações de oxidação-redução, com transferência de elétrons a coenzimas transportadoras (NAD e FAD).

CICLO DE KREBS



Step 1
Acetyl CoA enters the furnace.

Steps 2 and 3
NADH, ATP, and CO₂ are generated during redox reactions.

Steps 4 and 5
Redox reactions generate FADH₂ and NADH.

CICLO DE KREBS

Para cada 2 moléculas de acetil-CoA:

- 4 moléculas de CO_2 são liberadas (descarboxilação);
- 6 moléculas de NADH e 2 moléculas de FADH_2 são produzidas (oxidação-redução);
- 2 moléculas de ATP são geradas pela fosforilação em nível de substrato.

CICLO DE KREBS

As coenzimas reduzidas NADH e FADH₂ são os mais importantes produtos do ciclo de Krebs



possuem a maioria da energia originalmente armazenada na glicose

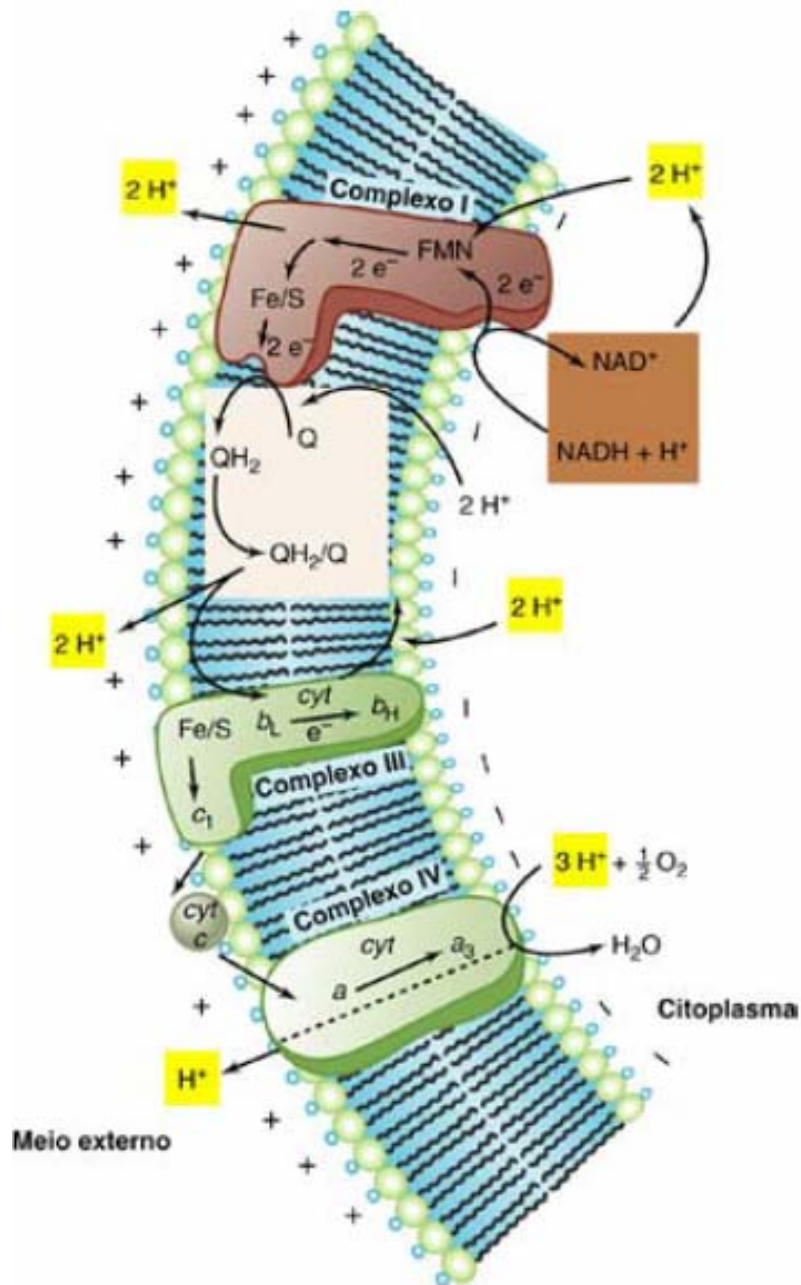
CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS

- Sequência de moléculas transportadoras que são capazes de oxidação-redução.
- Como os elétrons são passados através da cadeia, há uma gradual liberação de energia, que é utilizada para conduzir a geração de ATP

CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS

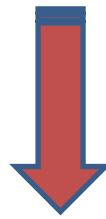
- MOLÉCULAS TRANSPORTADORAS
 - Flavoproteínas
 - Citocromos
 - Ubiquinonas (Coenzima Q)

CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS



CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS

As cadeias de transporte de elétrons de bactérias são bastante diversas



um transportador particular utilizado por uma bactéria e a ordem na qual ele atua pode diferir daqueles de outras bactérias e daqueles de sistemas mitocondriais eucarióticos

QUIMIOSMOSE

- Mecanismo de síntese de ATP utilizando a cadeia de transporte de elétrons;
- A energia liberada quando uma substância (prótons H^+) se move ao longo de um gradiente é utilizada para sintetizar ATP;
- É responsável pela maior parte do ATP gerada na respiração.

QUIMIOSMOSE

ETAPA 1

Elétrons energéticos do NADH percorrem a cadeia de transporte de elétrons – bombeiam prótons através da membrana (transporte ativo – bomba de prótons).

QUIMIOSMOSE

ETAPA 2

A membrana fosfolipídica é normalmente impermeável a prótons, e por isso, este bombeamento unidirecional estabelece um gradiente de prótons (diferença na concentração de prótons nos dois lados da membrana).

Em adição ao gradiente de concentração, há um gradiente de carga elétrica. O excesso de H^+ em um lado da membrana torna este lado positivamente carregado comparado ao outro lado.

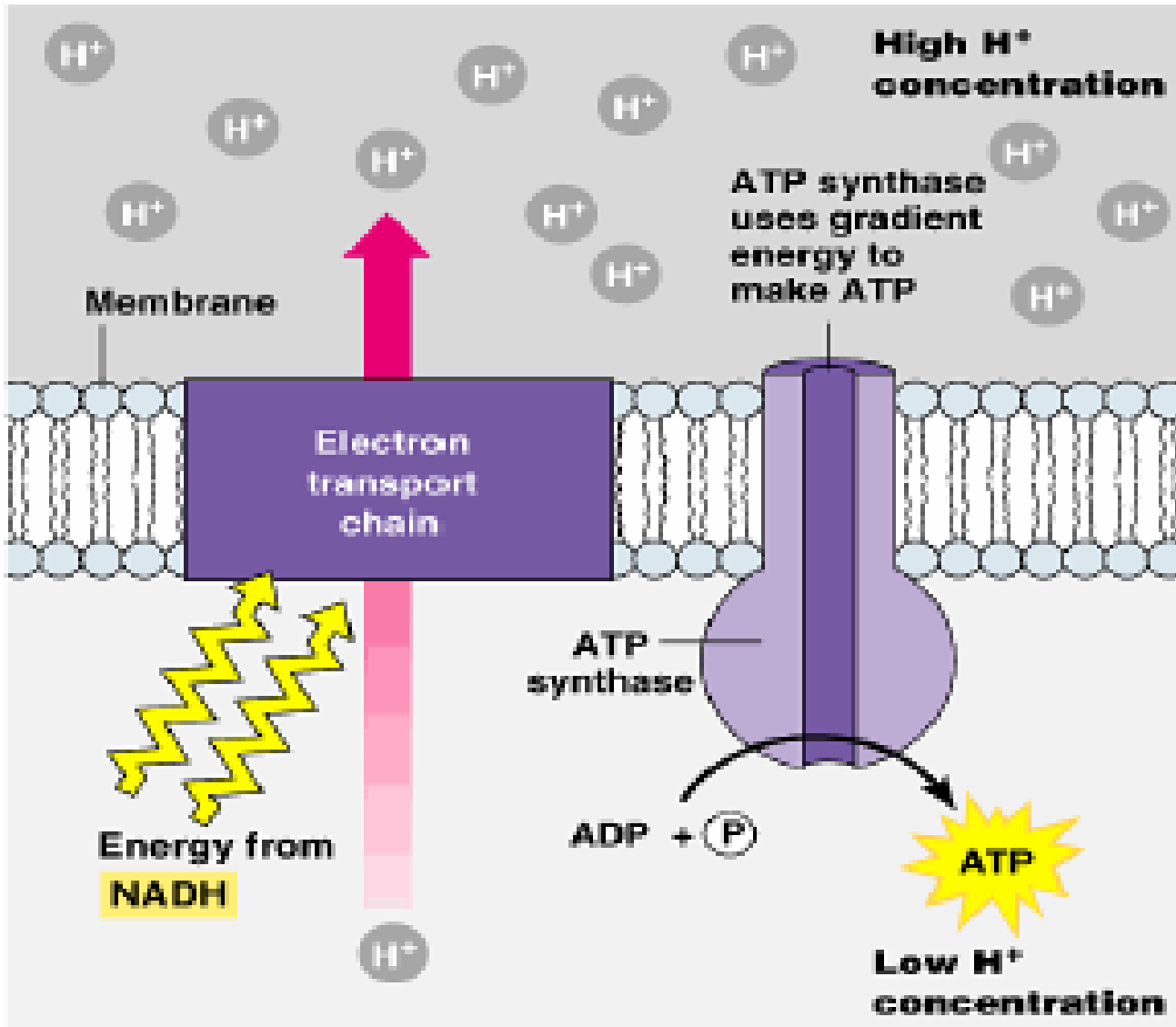
O gradiente eletroquímico resultante tem energia potencial, chamada de FORÇA PRÓTON ATIVA.

QUIMIOSMOSE

ETAPA 3

Os prótons no lado da membrana com alta concentração podem se difundir através da membrana somente por meio de canais de proteínas especiais que contém uma enzima denominada ADENOSINA TRIFOSFATASE (ATP sintetase).

Quando este fluxo ocorre, energia é liberada e é utilizada pela enzima para sintetizar ATP de ADP + P.



RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA

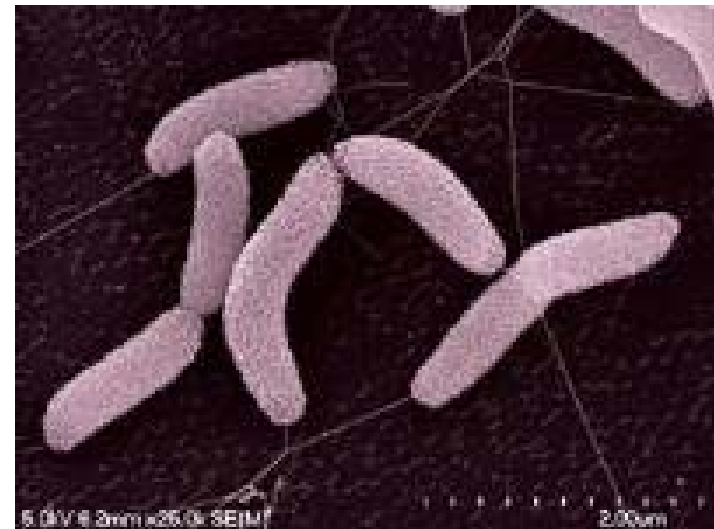
- O aceptor final de elétrons é uma substância inorgânica diferente do O_2
- Podem utilizar:
 - Nitrato (NO_3^-) – reduz para nitrito (NO_2^-), óxido nitroso (N_2O) ou gás nitrogênio (N_2)
 - Sulfato (SO_4^{2-}) – reduz para sulfeto de hidrogênio (H_2S)
 - Carbonato (CO_3^{2-}) – reduz para metano (CH_4)

RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA

A respiração anaeróbica por bactérias utilizando nitrato ou sulfato como aceptores finais de elétrons é **essencial para os ciclos do nitrogênio e enxofre** na natureza.



Pseudomonas sp.



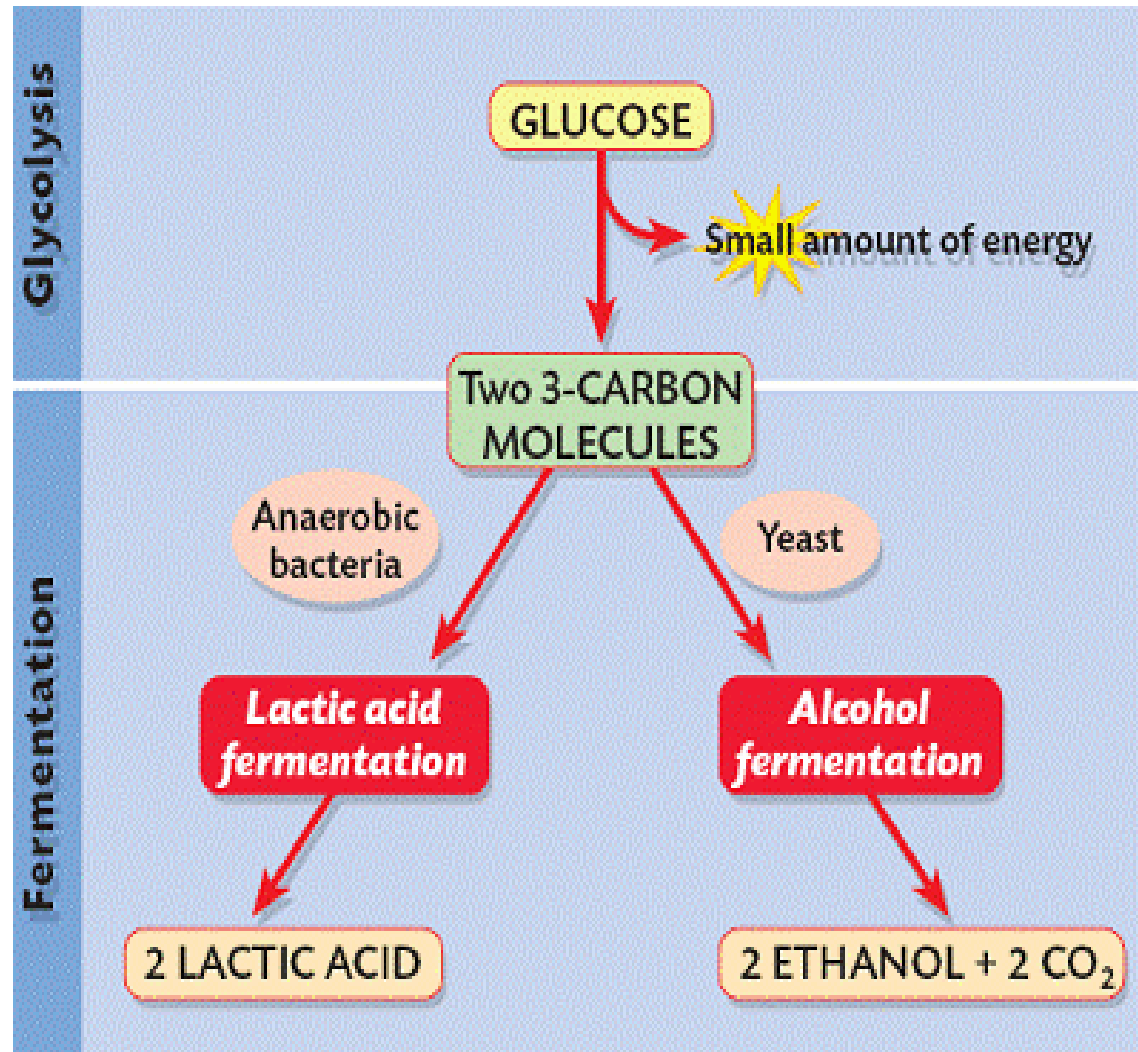
Desulfovibrio sp.

RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA

- A quantidade de ATP gerada na respiração anaeróbica varia com o microrganismo e a via;
- Devido a somente uma parte do ciclo de Krebs funcionar sob condições anaeróbicas, e desde que nem todos transportadores participam da cadeia de transporte de elétrons, o rendimento de ATP não é tão alto quanto na respiração aeróbica;
- Os anaeróbicos tendem a crescer mais lentamente que os aeróbicos.

FERMENTAÇÃO

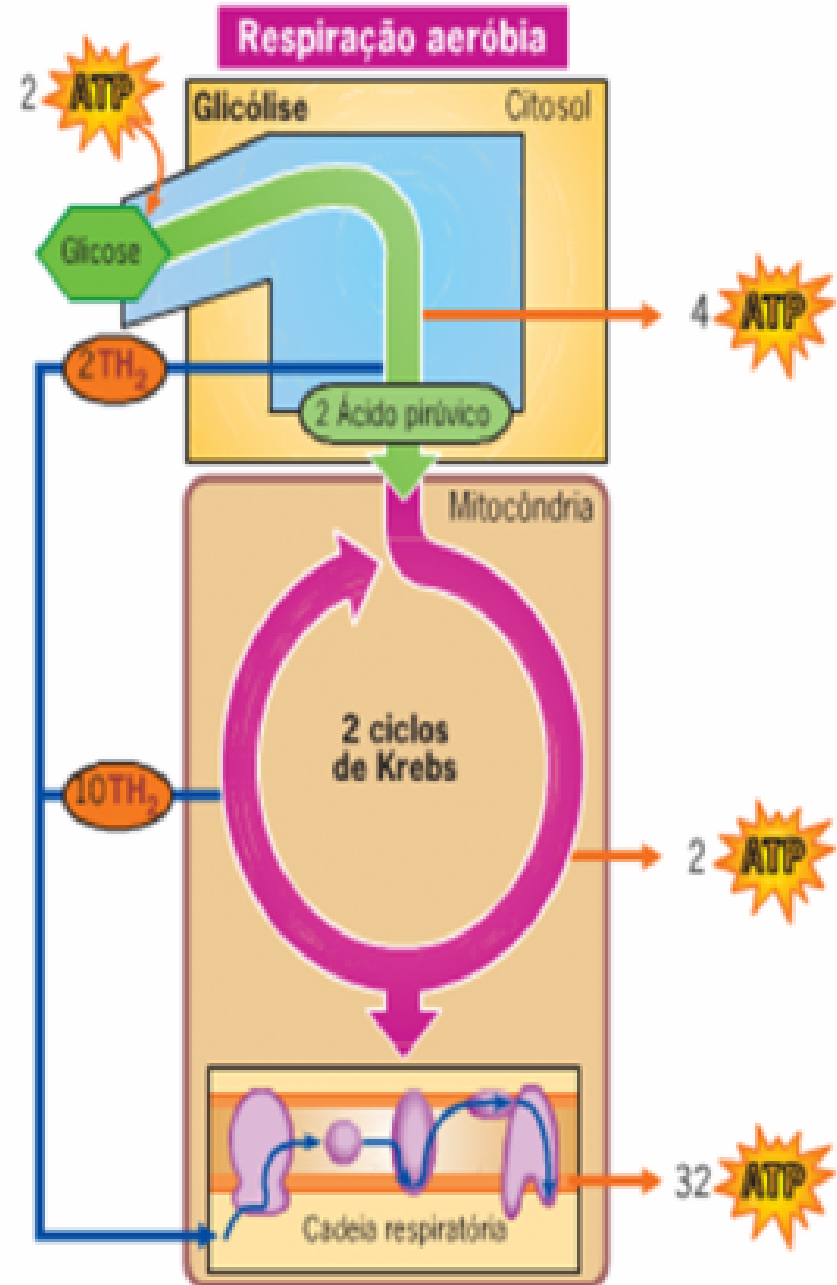
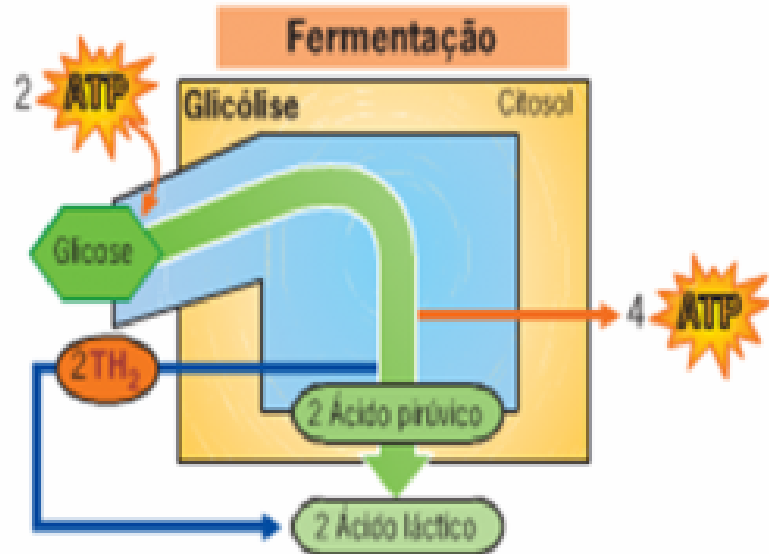
Após a glicose ter sido quebrada a ácido pirúvico, este pode ser completamente quebrado na respiração, ou pode ser convertido a um produto orgânico na fermentação



FERMENTAÇÃO

Pode ser definida como um processo que:

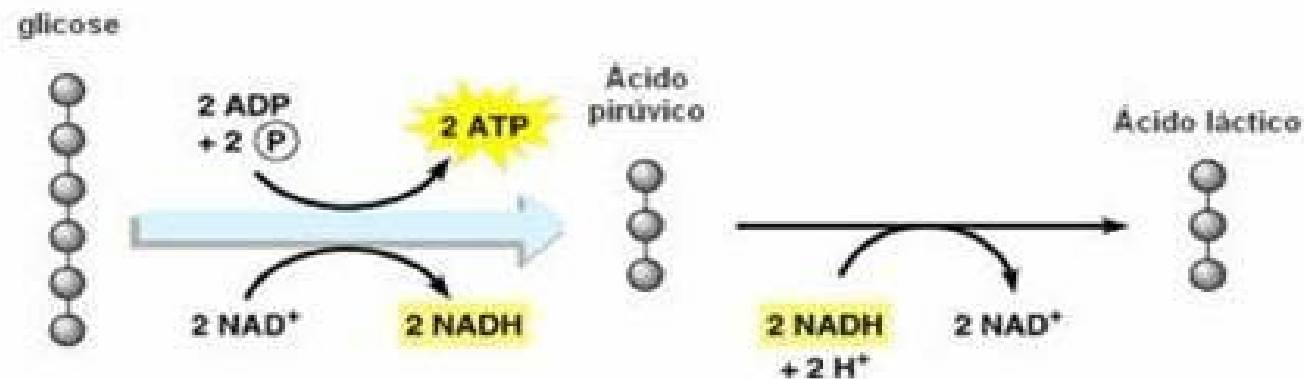
- Libera energia de açúcares ou moléculas orgânicas (aminoácidos, ácidos orgânicos, purinas ou pirimidinas);
- Não requer oxigênio (pode ocorrer na presença dele);
- Não requer o uso do ciclo de Krebs ou uma cadeia de transporte de elétrons;
- Utiliza um molécula orgânica como acceptor final de elétrons;
- Produz pequenas quantidades de ATP – grande quantidade da energia original da glicose permanece nas ligações dos produtos orgânicos finais (álcool ou ácido láctico)



Rendimento energético em termos de moléculas de ATP

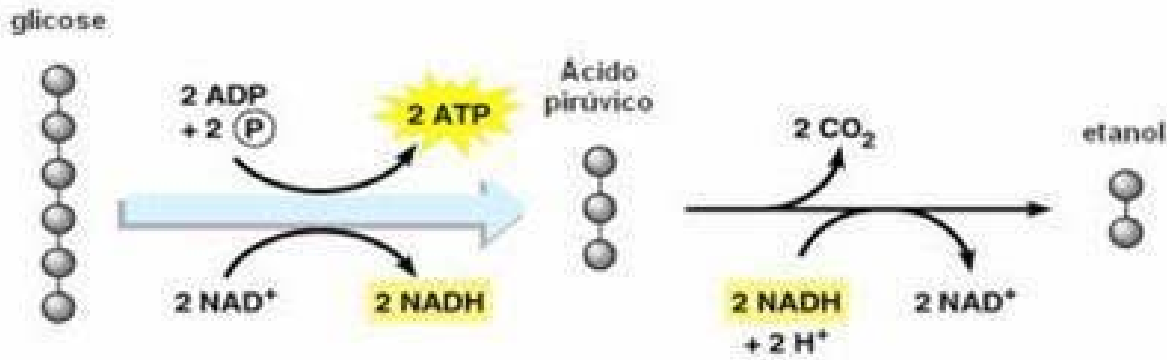
Fermentação			Respiração aeróbia			
Estrutura	ATP		Estrutura	ATP		
	Formado	Mobilizado		Formado	Mobilizado	
Citosol	4	2	Citosol	4	2	
Saldo	2 ATP		Mitocôndria	Matriz	2	—
				Membrana interna	32	—
			Saldo	36 ATP (2 + 2 + 32)		

FERMENTAÇÃO DO ÁCIDO LÁTICO



FERMENTAÇÃO LÁCTICA

FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA



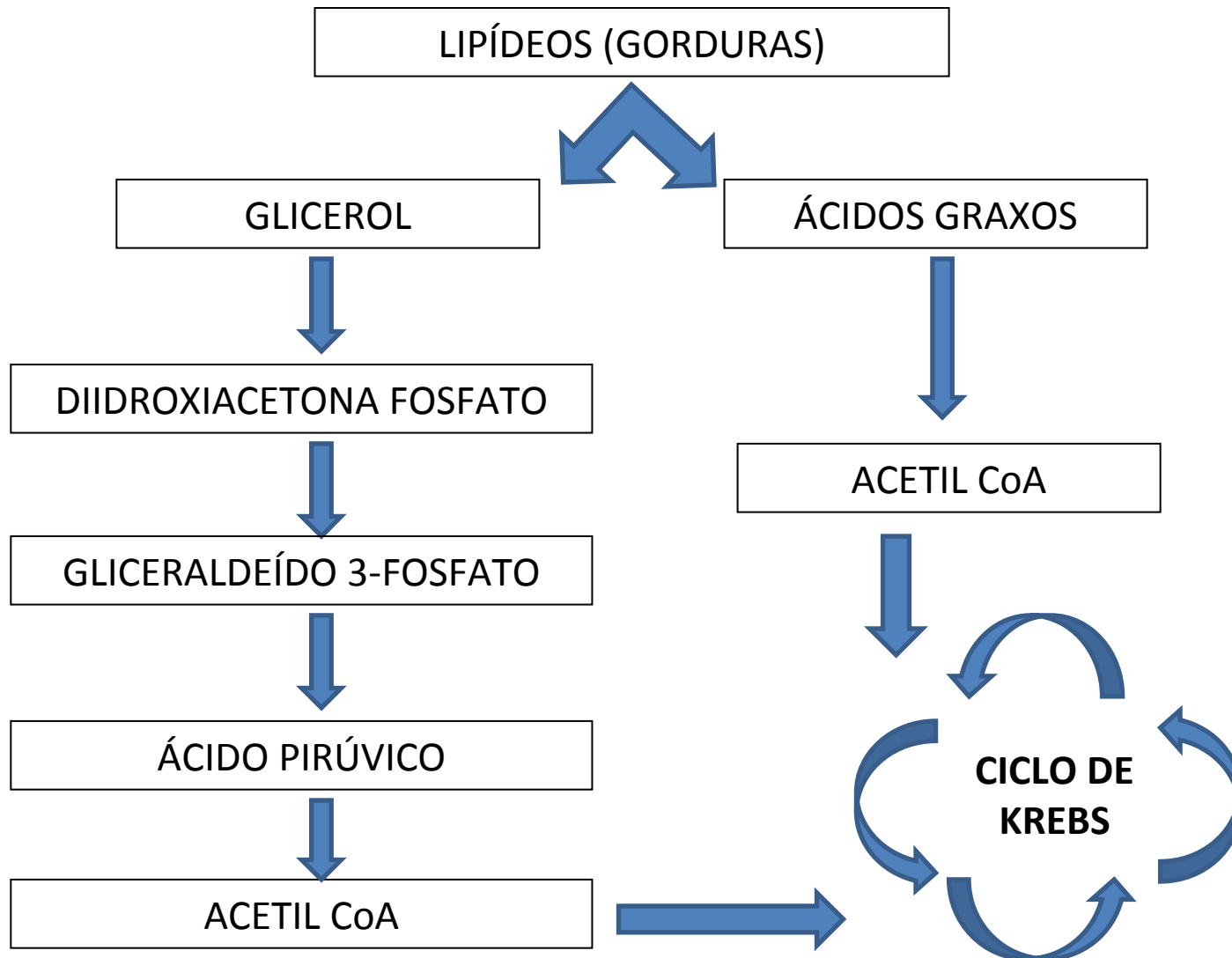
FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA



4. CATABOLISMO DOS LIPÍDEOS

- Os microrganismos produzem enzimas extracelulares chamadas lipases que degradam os lipídeos a partir de seus componentes ácido graxos e glicerol;
- Cada componente é metabolizado separadamente;
- Muitas bactérias capazes de metabolizar gorduras podem degradar produtos derivados de petróleo.

4. CATABOLISMO DOS LIPÍDEOS

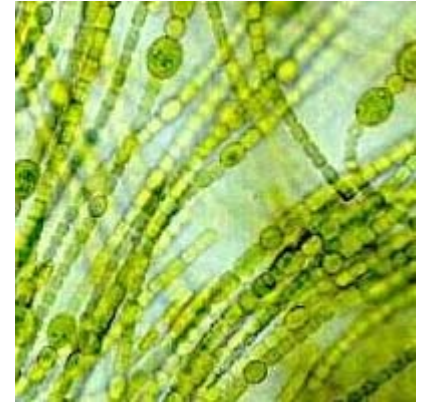


5. CATABOLISMO DE PROTEÍNAS

- As proteínas são muito grandes para atravessarem as membranas plasmáticas;
- Os microrganismos produzem proteases e peptidases extracelulares, enzimas que quebram proteínas em aminoácidos – atravessam membranas;
- Antes que os aminoácidos possam ser catabolizados, eles devem ser enzimaticamente convertidos a substâncias que possam entrar no Ciclo de Krebs.

FOTOSSÍNTESE

- De onde os organismos obtêm os compostos orgânicos para obtenção de energia?
- Alguns animais e microrganismos alimentam-se de matérias produzidas por outros organismos...
- Outros microrganismos e plantas sintetizam compostos orgânicos complexos a partir de substâncias inorgânicas simples.





FOTOSSÍNTESE

- Conversão da energia luminosa do sol em energia química;
- A energia química é então utilizada para converter CO_2 da atmosfera a compostos de carbono mais reduzidos – açúcares;
- Esta síntese de açúcares pela utilização de átomos de carbono a partir de CO_2 é também chamada de **FIXAÇÃO DE CARBONO**.

FOTOSSÍNTESE

- Ocorre em 2 etapas:

Fase clara – a energia luminosa é utilizada para converter ADP + P em ATP 

Fase escura – os elétrons obtidos na fase clara são utilizados com a energia do ATP para reduzir CO₂ a açúcar. 

FOTOSSÍNTESE

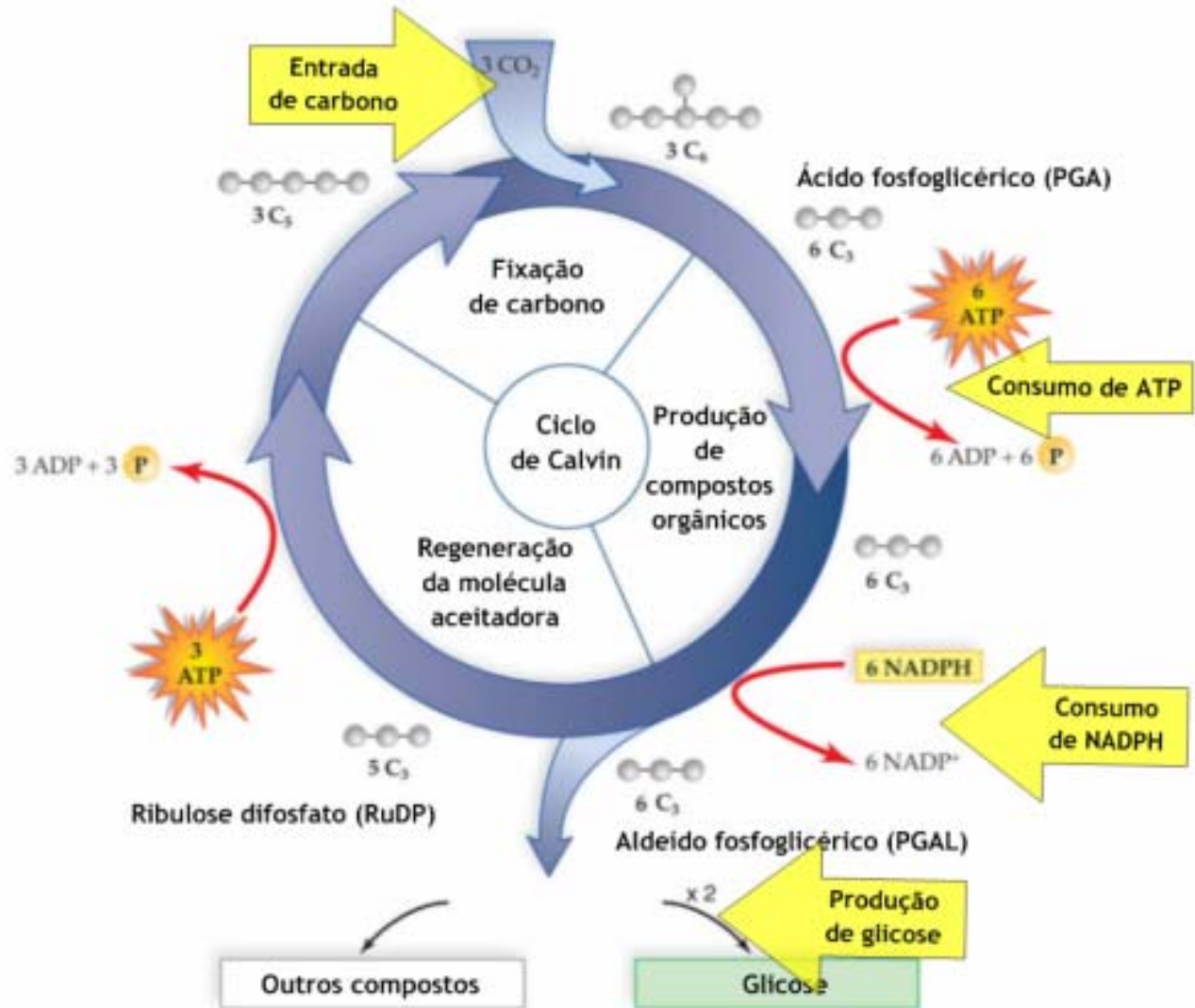
FASE CLARA

Corresponde à **fotofosforilação**, na qual a energia luminosa é absorvida pelos pigmentos (clorofila, bacterioclorofila), excitando os elétrons, que passam para a primeira de uma série de moléculas transportadoras, semelhante à cadeia de transporte de elétrons.

Com isso, há a passagem de prótons pela membrana, com a conversão de ADP em ATP – quimiosmose.

FOTOSSÍNTESE

FASE ESCURA



Classificação dos microrganismos de acordo com a fonte de energia e carbono

(Madigan et al., 2004)

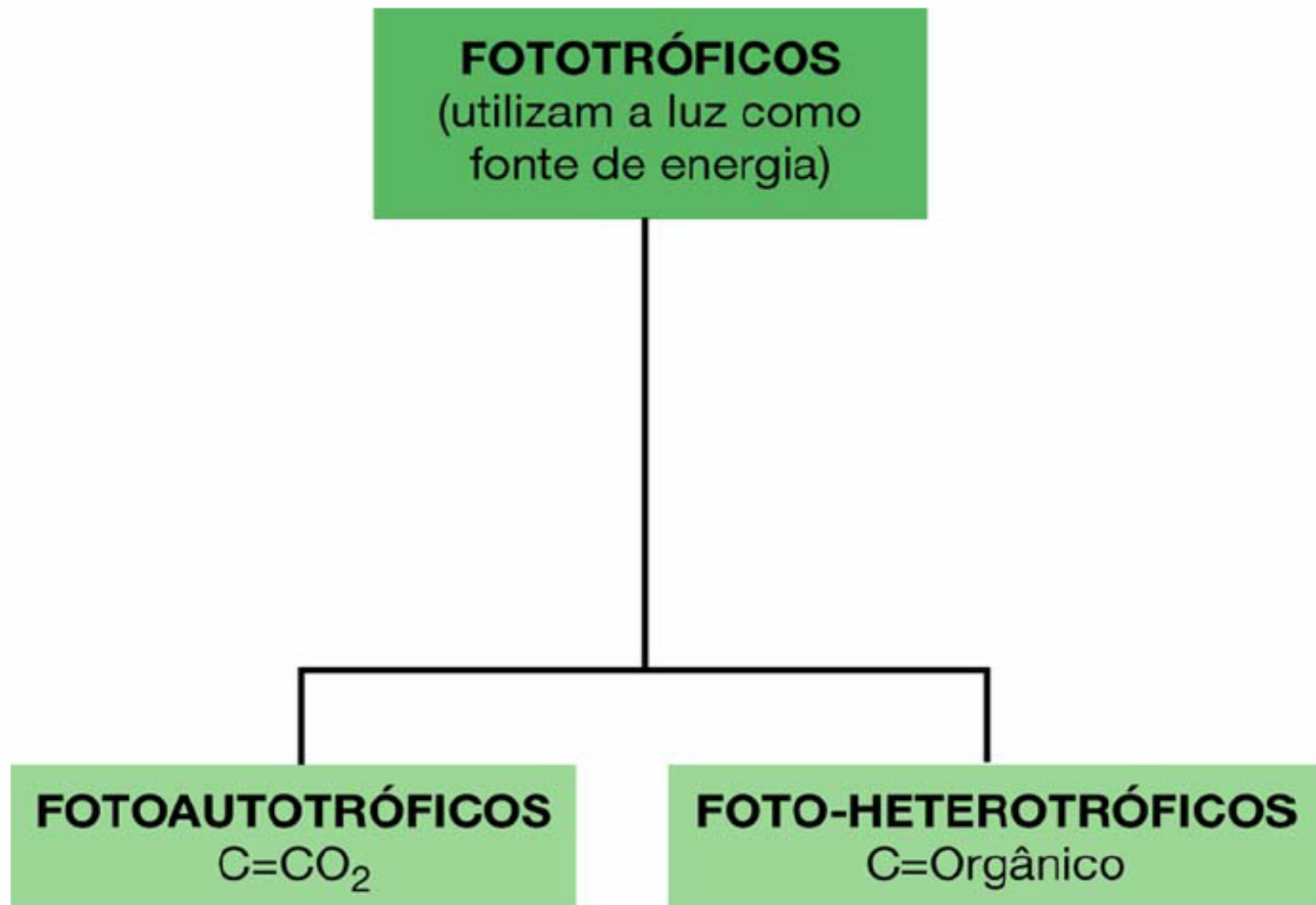
Quimiotróficos
(utilizam substâncias químicas como fonte de energia)

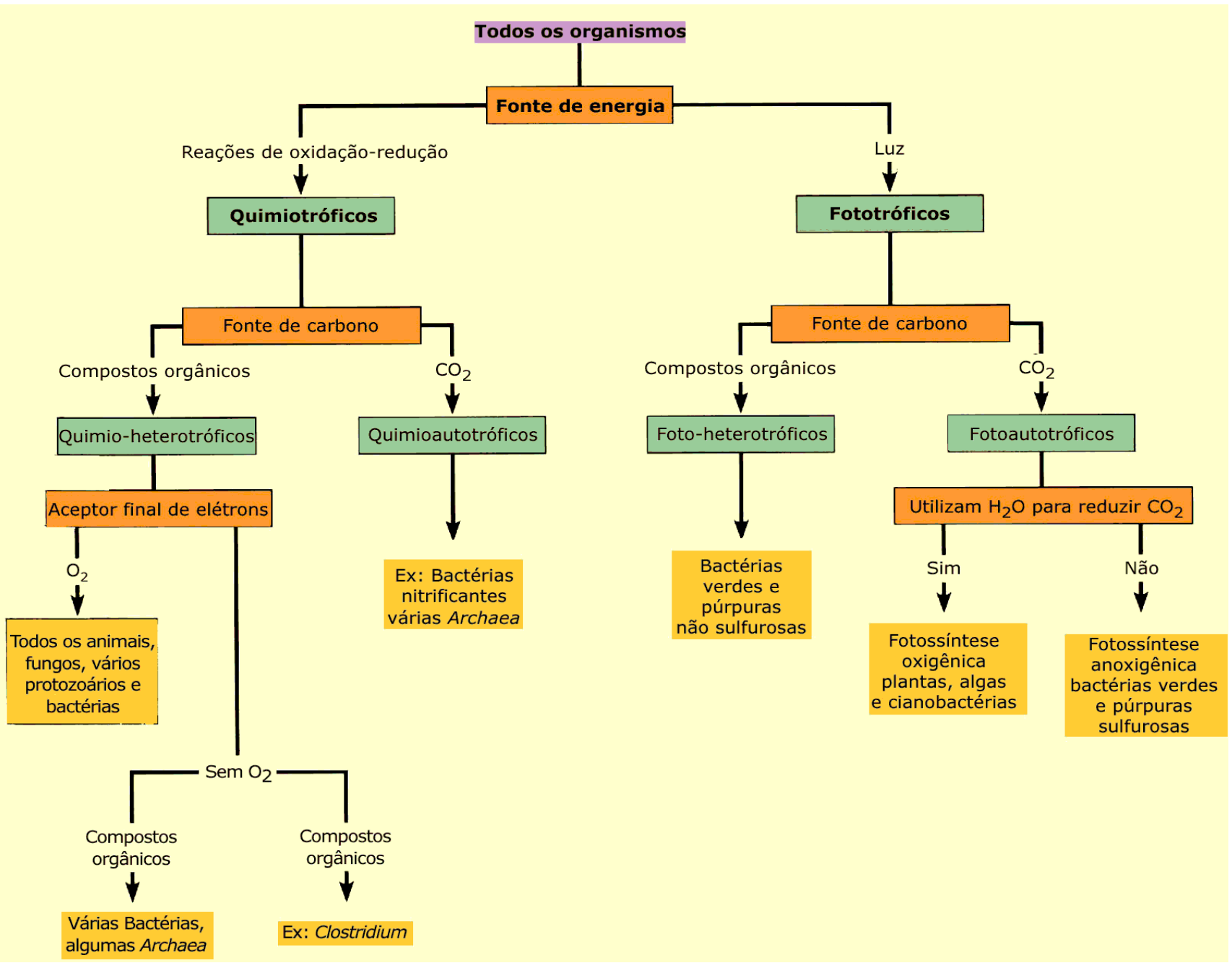
Quimiolitotróficos
C= CO_2

Quimiorganotróficos
C=orgânico

Classificação dos microrganismos de acordo com a fonte de energia e carbono

(Madigan et al., 2004)





Todos os organismos

Fonte de energia

Reações de oxidação-redução

Luz

Quimiotróficos

Fototróficos

Fonte de carbono

Fonte de carbono

Compostos orgânicos

CO₂

Compostos orgânicos

CO₂

Quimio-heterotróficos

Quimioautotróficos

Foto-heterotróficos

Fotoautotróficos

Aceptor final de elétrons

Utilizam H₂O para reduzir CO₂

O₂

Sim

Não

Todos os animais, fungos, vários protozoários e bactérias

Ex: Bactérias nitrificantes
várias *Archaea*

Bactérias verdes e púrpuras não sulfurosas

Fotossíntese oxigênica plantas, algas e cianobactérias

Fotossíntese anoxigênica bactérias verdes e púrpuras sulfurosas

Sem O₂

Compostos orgânicos

Compostos orgânicos

Várias Bactérias, algumas *Archaea*

Ex: *Clostridium*