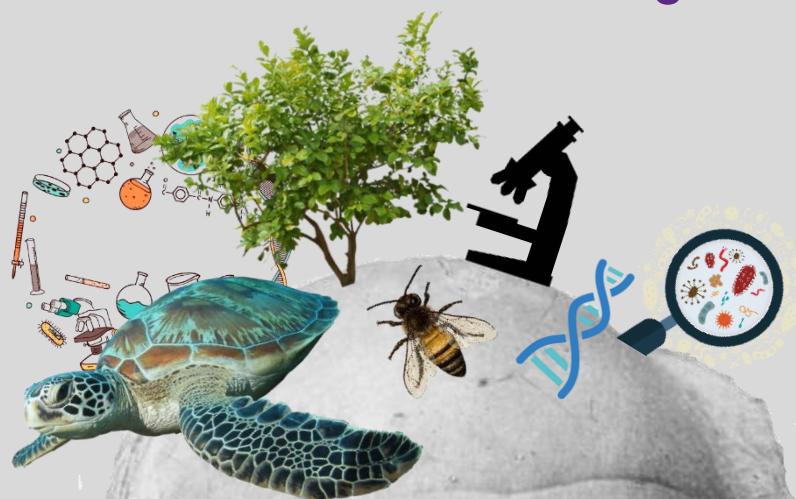


AULA

4

Metabolismo energético

BIO LO GIA



Profª Sth fani Bregue

Profº Cleisson Garcia

Semana 4: Metabolismo energético: Respiração Aeróbia (Glicólise, Ciclo de Krebs e Cadeia transportadora de elétrons) e Fermentação.

Os combustíveis utilizados em automóveis são constituídos por moléculas energéticas. A energia liberada faz o carro andar, faz funcionar o rádio, faz o para-brisas funcionar, ou seja, faz o carro cumprir com as suas funcionalidades, e boa parte dessa energia é convertida em calor. Nos **seres vivos**, o combustível mais utilizado é a **glicose**, substância altamente energética cuja quebra no interior das células libera a energia armazenada nas ligações químicas e produz resíduos, entre eles o dióxido de carbono/gás carbônico (CO_2) e H_2O .

Para que haja a produção de energia a partir da glicose, há 3 (três) fases no qual a molécula será submetida: **a Glicólise, o Ciclo de Krebs e a Cadeia transportadora de elétrons**, respectivamente, em seres aeróbios, isto é, seres capazes de respirar somente na presença de O_2 . Seres anaeróbios, portanto são seres que sobrevivem na ausência de O_2 , utilizam outro caminho: **a Fermentação**.

O conjunto de reações químicas e de transformações de energia, incluindo a síntese (**anabolismo**) e a degradação de moléculas (**catabolismo**), constitui o **metabolismo**. Toda vez que o metabolismo servir para a *construção* de novas moléculas que tenham uma finalidade biológica, falamos em **anabolismo**. Por outro lado, a *decomposição* de substâncias constitui uma modalidade do metabolismo conhecida como **catabolismo**.

Associe anabolismo à *síntese* e catabolismo à *decomposição* de substâncias. De modo geral, essas duas modalidades ocorrem juntas.

Durante o catabolismo, a energia liberada em decorrência da utilização dos combustíveis biológicos poderá ser canalizada para as reações de síntese de outras substâncias, que ocorre no anabolismo.

Como os seres vivos conseguem a glicose?

Muitos seres vivos conseguem fabricar a glicose que utilizam nos processos de liberação de energia. Entre eles se destacam desde seres simples, como algumas bactérias e algas, até os mais complexos, como as samambaias, os pinheiros e os eucaliptos. Esses organismos são produtores de glicose por meio de um processo chamado de **fotossíntese**, sendo organismos **autótrofos**. Os seres vivos que não conseguem produzir glicose, devem obtê-la pronta a partir de outra fonte, são chamados de **heterótrofos**, isto é, que se nutrem a partir de um outro.

Energia sob a forma de ATP:

Quando ocorre a desmontagem da molécula de glicose, a energia não é simplesmente liberada para o meio, mas sim transferida para outra molécula: o **ATP** (adenosina trifosfato). O ATP (figura 1), é formado por meio da união do ADP (adenosina difosfato) presente no citoplasma com o fosfato inorgânico (Pi).

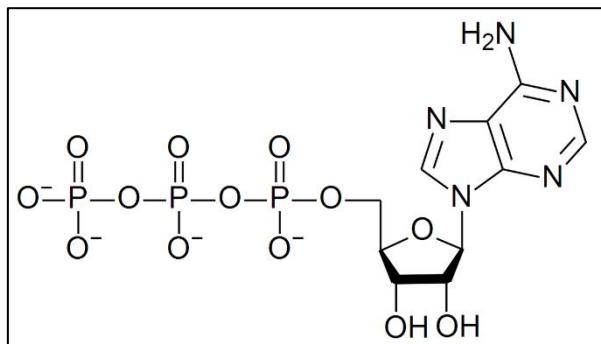


Figura 1. Estrutura química do ATP.

Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.

-Antoine Lavoisier



a. Na fotossíntese, a energia do sol é transformada em energia química.

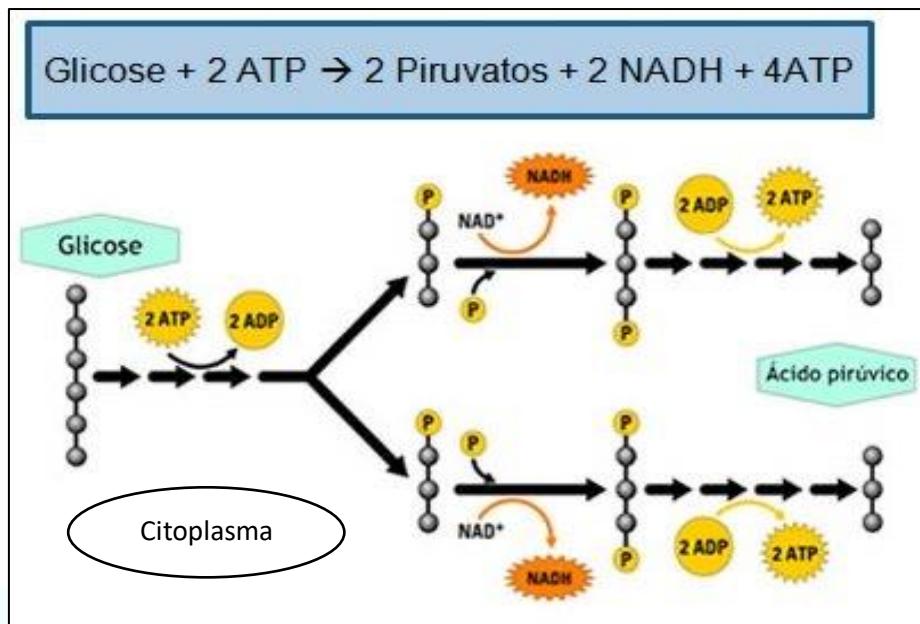
b. Na respiração aeróbia, a energia é liberada e transferida para moléculas de ATP.

A energia não é criada, mas se transforma de uma modalidade em outra.

A respiração aeróbia envolve várias fases, sendo que a primeira é denominada **glicólise**, e ocorre no citoplasma, como veremos a seguir.

Glicólise

- Glicólise/ *lysis* é um termo grego que significa destruição; quebra. Justamente por ser nesta fase inicial que ocorre a quebra da glicose.



Esta fase ocorre no **citoplasma** e tem como gasto inicial **2 ATP** para a quebra da glicose. Assim a glicose composta por 6 carbonos, é quebrada em duas moléculas de 3 carbonos cada.

O **NAD⁺** é um carreador de elétrons, e tem por objetivo transportar elétrons ricos em energia. Quando os elétrons são liberados a partir da quebra da molécula de glicose, os **NAD⁺** capturam os elétrons e se transformam a **NADH**. Durante a quebra da glicose são produzidas **2 moléculas de NADH**. Dizemos que o **NAD⁺** é a forma oxidada, ou seja, sem elétrons. E o **NADH** é a forma reduzida, ou seja, com elétrons e com capacidade de doá-los.

Posteriormente, **2 ADP** se ligam aos dois Pi presentes na molécula, dando origem a **2 ATP**. Lembrando que estamos falando de duas moléculas de 3 carbonos, logo, **2 moléculas x 2 Pi = 4 ATP**.

Após a liberação dos ATP, temos as duas moléculas de **piruvato/ácido pirúvico**.

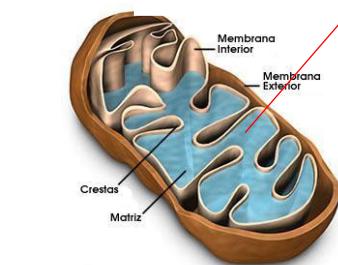
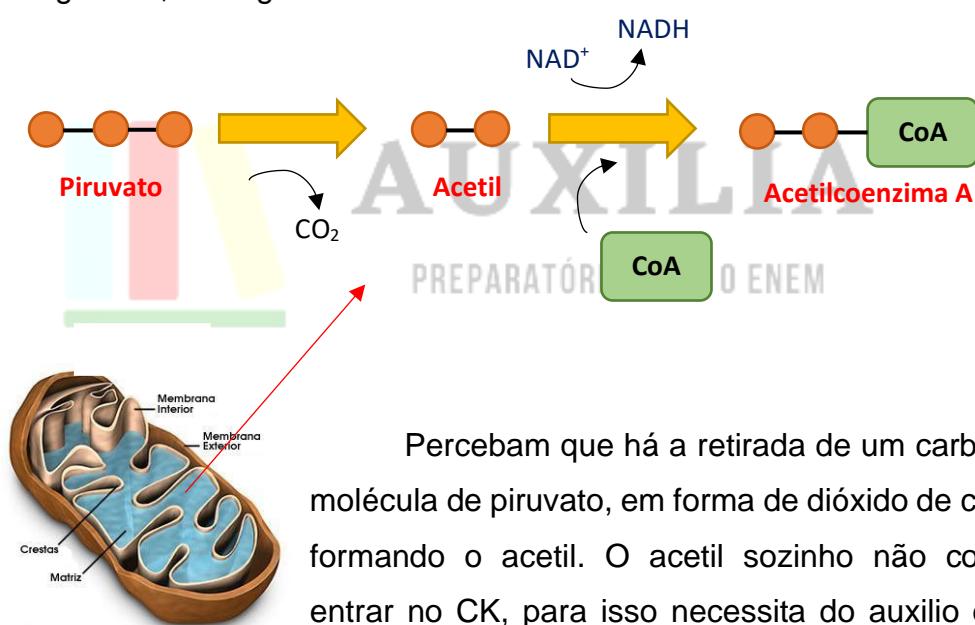
Saldo energético da glicólise: 2 ATP, 2 piruvatos, 2 NADH.

Lembrando que, embora tenham sido produzidos 4 ATP, são gastos 2 ATP na quebra da glicose, por isso o “lucro” é apenas de 2 ATP para a célula. Além da produção de 2 moléculas de piruvato e 2 NADH.

Esses 2 ATP já podem ser utilizados para as reações celulares. Os 2 NADH e as 2 moléculas de piruvato entram na mitocôndria e dão continuidade à respiração celular por meio do Ciclo de Krebs (CK).

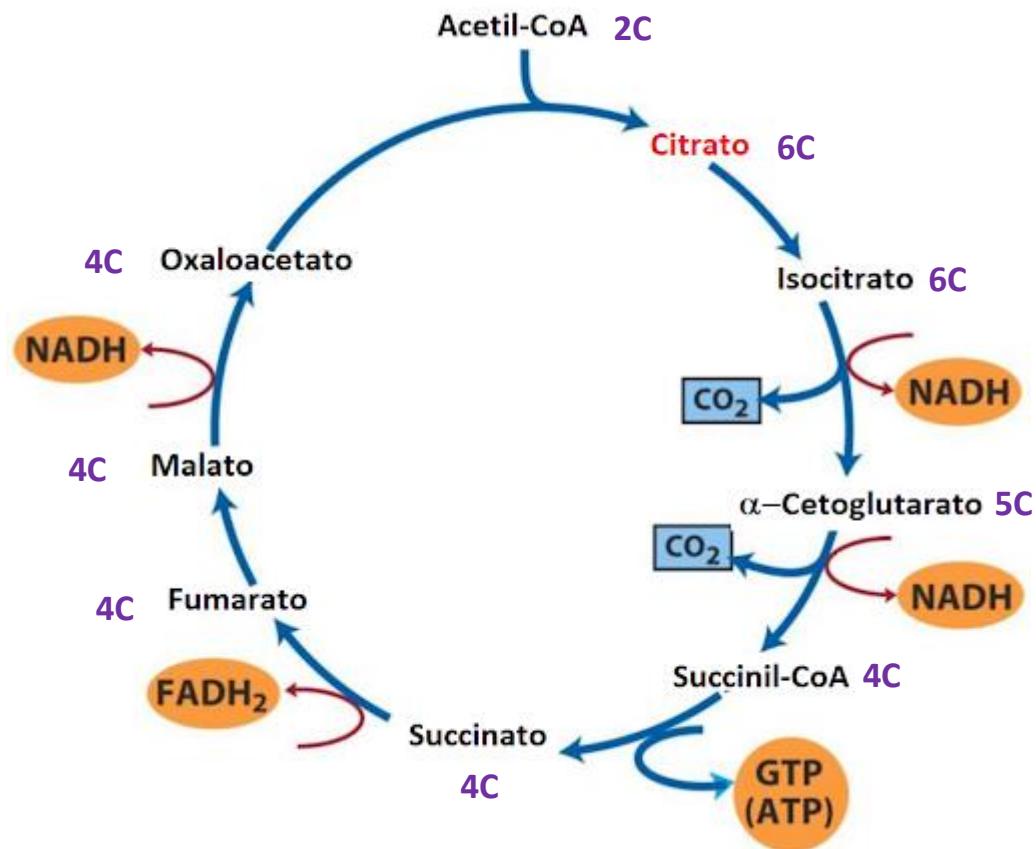
Ciclo de Krebs/ Ciclo do Ácido Cítrico

Quando o piruvato entra na mitocôndria e vai até a matriz mitocondrial, ocorre a oxidação desse piruvato em Acetil-CoA, pela enzima piruvato desidrogenase, da seguinte maneira:



Percebam que há a retirada de um carbono, da molécula de piruvato, em forma de dióxido de carbono, formando o acetil. O acetil sozinho não consegue entrar no CK, para isso necessita do auxílio de uma coenzima: a coenzima A. Assim, formando uma molécula que agora chamaremos de Acetilcoenzima A, ou ainda Acetil-CoA. Além disso, durante essa reação ocorre a liberação de elétrons que são ricos em energia, que é capturado pelo NAD⁺, formando o NADH. **Nesse processo de conversão do piruvato em Acetil-CoA, tem-se a produção de 1 NADH e 1 molécula de CO₂ a cada molécula de piruvato. Lembrem-se que são produzidas 2 moléculas de piruvato ao final da Glicólise. Portanto, o valor aqui é duplicado: ficando, na verdade, 2 NADH + 2 CO₂.**

A molécula de Acetil-CoA entra no CK. Porém, logo que entra no ciclo, a coenzima A se desprende do acetil, que se une a uma outra molécula chamada Oxaloacetato, formando o Citrato (molécula com 6 carbonos).



Conforme ocorre o ciclo, tem-se **reações de descarboxilação** acontecendo, ou seja, a retirada de carbono de uma molécula, em forma de CO₂. Como a glicose é uma molécula altamente energética, sua quebra resulta na liberação de elétrons ricos em energia que serão capturados pelos NAD⁺, obtendo como produto o **NADH** e o **FADH₂**, que também é um carreador de elétrons, só que com uma menor capacidade de carregar energia, quando comparado ao NADH. Ademais, ocorre a formação de **1 molécula de GTP** (Guanina trifosfato), que é rapidamente convertida à **ATP** (Adenosina trifosfato).

Chegando à molécula de Oxaloacetato, o mesmo se encontra com uma outra molécula de Acetil-Coa, e o ciclo reinicia. **Nessa etapa temos: 3 NADH, 1 FADH₂, 1 ATP, 2 CO₂.** Lembrando que são 2 Acetil-Coa que entram, então tudo isso ocorre duas vezes para cada molécula de glicose, obtendo então na verdade: 6 NADH, 2 FADH₂, 2 ATP, 4 CO₂.

Saldo energético total do CK: 2 ATP, 8 NADH, 2 FADH₂.

Lembrando que o CK tem como função principal otimizar a retirada de energia de moléculas orgânicas, ou seja, extrair o máximo de energia possível dessas moléculas. Percebem que, no total, obtivemos 6 moléculas de CO_2 , que corresponde a cada carbono constituinte da molécula de glicose. Lembra que uma molécula de glicose contém 6 carbonos? Pois é, isso significa que essa molécula foi totalmente oxidada, retirando o máximo de energia possível dela. Além disso, todos os CO_2 que são produtos do CK, são os mesmos CO_2 que expiramos constantemente.

Embora tenhamos até agora pouco ATP e muita molécula carreadora de elétrons, veremos na próxima etapa o motivo e a importância de ser dessa maneira.

Pessoal, lembram que na Glicólise foi produzido 2 ATP e 2 NADH? Isso também deve ser levado em consideração no saldo final. Então, com os produtos da Glicólise mais o total obtido no CK, temos até agora a produção de: 10 NADH, 2 FADH_2 , 4 ATP.

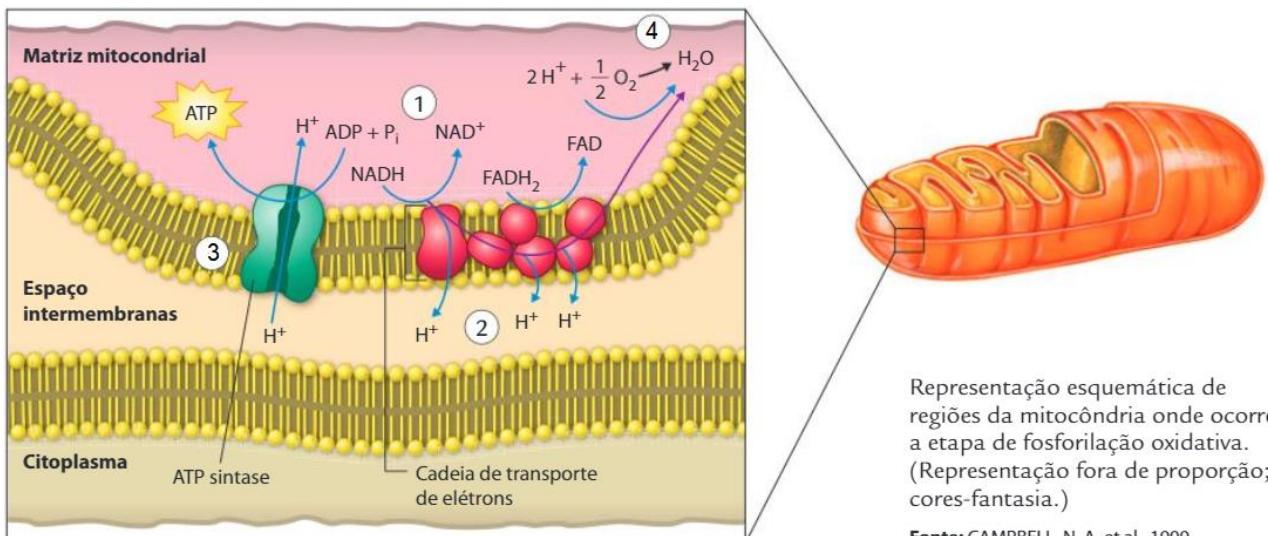


Na membrana interna da mitocôndria estão presentes **proteínas** que atuam na condução dos elétrons do NADH e do FADH_2 até o O_2 . Essas proteínas estão dispostas em conjuntos sequenciais, que denominamos **Cadeia Transportadora de Elétrons**.

Os transferidores dos elétrons ao longo da cadeia respiratória, são **complexos de proteínas**, que possuem ferro na sua composição. Cada complexo captura elétrons com certo nível de energia e os transfere com um nível inferior de energia para o complexo seguinte.

Na figura abaixo vamos entender como ocorre este processo.





Representação esquemática de regiões da mitocôndria onde ocorre a etapa de fosforilação oxidativa. (Representação fora de proporção; cores-fantasia.)

Fonte: CAMPBELL, N. A. et al., 1999.

- 1- O NADH e o FADH₂ foram produzidos nos processos vistos anteriormente (Glicólise e Ciclo de Krebs) e estavam recebendo os prótons e elétrons. Estes dois atuam como **receptores intermediários**, pois estão em quantidades limitadas e precisam entregar para alguém os prótons e elétrons que carregam.
- 2- Então o NADH e o FADH₂ entregaram os elétrons para o **complexo de proteínas**, que tem como objetivo entregá-los para o **receptor final**, que neste caso é o O₂, carregando-o negativamente. Estes complexos funcionam como uma **bomba de H⁺**, bombeando estes para fora da matriz mitocondrial. Os H⁺ ficam no espaço intermembranas, tornando esse espaço carregado positivamente, enquanto na matriz mitocondrial essa carga é menor, o que faz com que estes H⁺ queiram voltar para a matriz. Porém a membrana não permite a entrada deles.
- 3- Então estes H⁺ conseguem entrar de volta à matriz mitocondrial através da **ATP-sintase**. Esta ATP-sintase funciona como uma engrenagem, conforme os H⁺ entram, ela começa a rodar, gerando **energia cinética**, que é captada por ADP, que se une com Pi (fosfato), gerando então o **ATP**.
- 4- Com os H⁺ voltando para dentro da matriz, a mitocôndria volta a ficar ácida, então o H⁺ se une com o O₂, que está carregado negativamente. A união dos dois acaba ocasionando a formação de **água** (H₂O), Resolvendo o problema do excesso de H⁺ na matriz da mitocôndria.

Desta forma se não tem O₂, não tem quem receba os H⁺, então os NADH e os FADH₂ não teriam para quem entregá-los, desta forma não poderiam

voltar ao seu estado original (NAD e FAD) e não poderiam voltar para o início da respiração celular. Além disso, sem o O₂ não teria uma “atração” no qual os elétrons fossem canalizados.

Antes de calcularmos o saldo energético, é importante destacarmos que cada molécula de **NADH**, gera na **CTE**, 3 **ATPs**. Da mesma forma que cada molécula de **FADH₂** gera 2 **ATPs**. Desta forma vamos somar os 2 **NADH** da **Glicólise** + os 8 **NADH** do **CK** + os 2 **FADH₂** do **CK** para chegarmos no saldo energético de **ATPs** da **CTE**.

Saldo energético total da CTE: 34 ATPs.

Juntando o saldo energético de todo o processo de respiração celular iremos obter: 2 **ATPs Glicólise** + 2 **ATPs CK** + 34 **ATPs CTE** = **38 ATPs**

IMPORTANTE LEMBRARMOS:

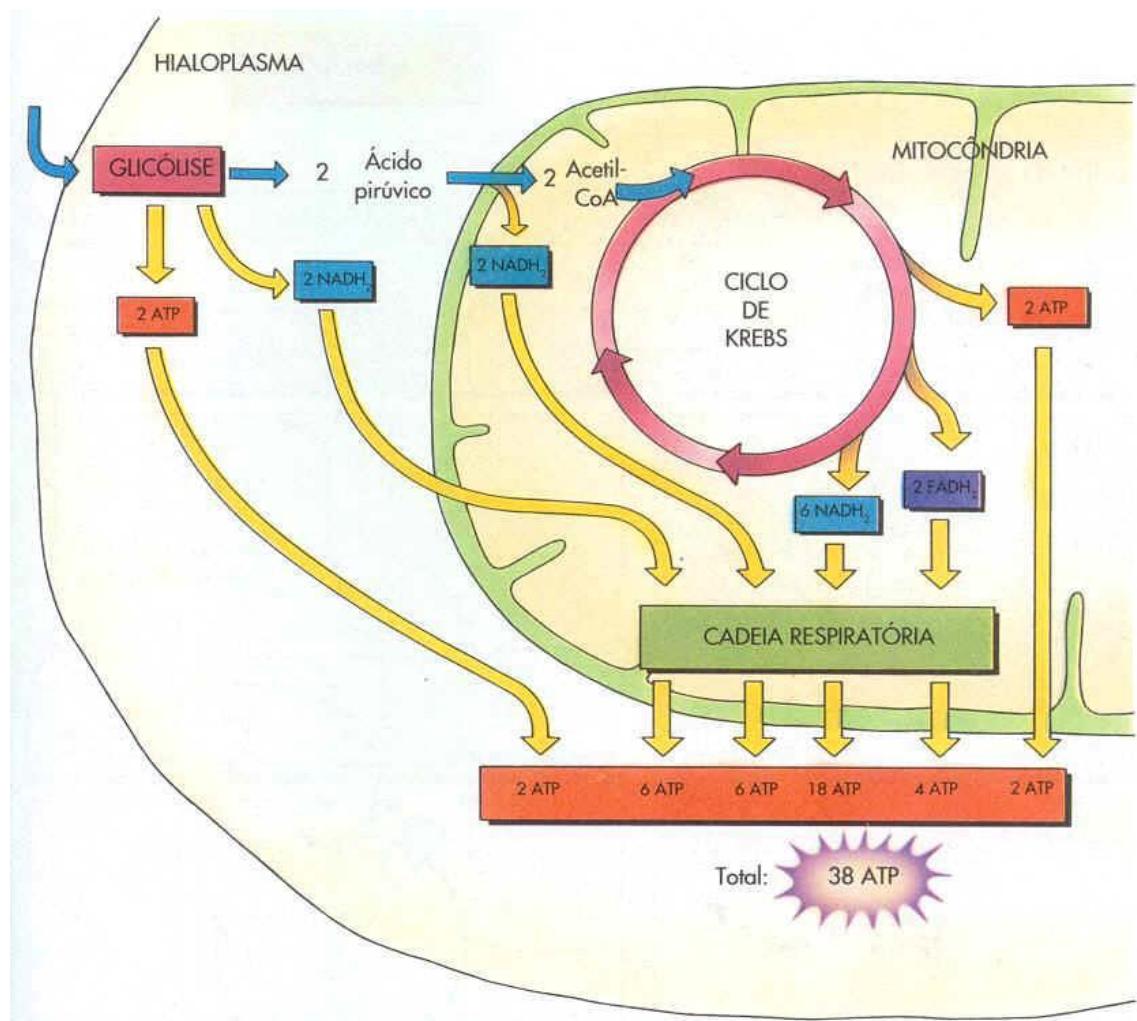
SEM O₂ NÃO OCORRE NENHUM PROCESSO, POIS NÃO TERÁ RECEPTOR FINAL DE ELÉTRONS, O QUE FAZ COM QUE OS RECEPTORES INTERMEDIÁRIOS NÃO CONSIGAM REALIZAR O TRANSPORTE DE ELÉTRONS.

Somente os açúcares possuem valor energético?

Tanto os lipídios quanto as proteínas também possuem valor energético. As células têm mecanismos para aproveitar a energia contida em suas moléculas fundamentais, como os ácidos graxos, o glicerol e os aminoácidos. Desta forma, essas moléculas, assim como os açúcares simples diferentes da glicose, passam por processos similares para a geração de ATP.

Outros açúcares de seis carbonos são convertidos em intermediários da glicólise, da mesma maneira que o glicerol dos lipídios. Os ácidos graxos são degradados de forma sequencial e formam diversas moléculas de acetil-CoA, que entram no Ciclo de Krebs. Alguns aminoácidos, depois de serem processados, também participam do metabolismo energético dessa maneira, enquanto outros são transformados nas demais moléculas participantes do Ciclo de Krebs e podem contribuir com energia para a célula.

Resumindo a Respiração Celular:



Agora abordaremos a respiração anaeróbia.

Fermentação

É o principal **processo anaeróbio** de produção de **ATP** a partir de substâncias orgânicas. Em alguns seres vivos, como algumas bactérias, essa via é **obrigatória** para a obtenção de energia, em outros, como as leveduras, essa via ocorre de forma **facultativa**, quando o acesso ao O₂ é limitado ou há muitos nutrientes. Ocorre no citoplasma das células.

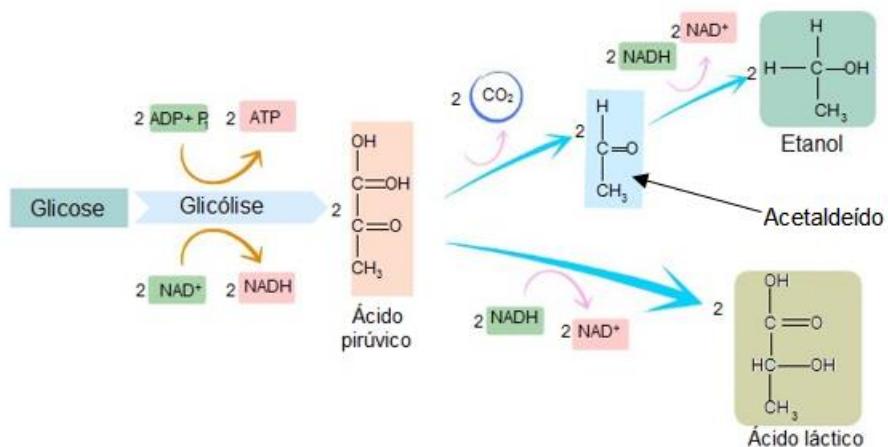
Porém algumas células de nós, seres humanos, também obtém energia através desta via metabólica. Como é o caso das **células musculares** durante intenso esforço, quando a demanda energética é maior do que a disponibilidade de O₂.

A fermentação realizada pela maioria dos organismos e também pelas nossas células musculares, consiste em uma glicólise semelhante à da respiração celular. A diferença é que na fermentação, o **ácido pirúvico** recebe elétrons e H⁺ do **NADH**, se transformando em **ácido láctico** ou em **álcool etílico** (etanol) e **gás carbônico**, dependendo do tipo de organismo que está realizando o processo.

A partir do produto da fermentação iremos obter dois tipos: **Fermentação Láctica**, quando é produzido ácido láctico e **Fermentação Alcoólica**, quando é produzido etanol.

Podemos definir a fermentação como o processo de degradação incompleta de moléculas orgânicas com liberação de energia para formação de **ATP**, onde o **receptor final** e elétrons e de H⁺ é uma **molécula orgânica**.

O processo final desta via, onde o **ácido pirúvico** é transformado em **ácido láctico**, ou em etanol e gás carbônico, é uma reação de oxirredução: o ácido pirúvico atua como receptor final de elétrons e dos H⁺ liberados na glicólise e captados pelo NAD⁺.



A quantidade de **ATP** produzida na fermentação a partir de uma molécula de glicose é **mais baixa** que na respiração aeróbia. Somente os dois **ATPs** de saldo da glicólise são liberados nessa via.

ATENÇÃO!!!

Na nossa vida nos deparamos com muitos produtos da fermentação. Leve para a monitoria exemplos de produtos da fermentação, que encontramos no nosso cotidiano.

Que tal estudar com
uns vídeos agora?



1. Cadeia Transportadora de Elétrons
(https://www.youtube.com/watch?v=_AmcitMkgWU)
2. Fermentação
(<https://www.youtube.com/watch?v=J5eYcDhIZG8>)
3. Glicólise
(<https://www.youtube.com/watch?v=1jMu142iAzw&t=652s>)
4. Ciclo de Krebs
(<https://www.youtube.com/watch?v=yy219pUo8vo>)