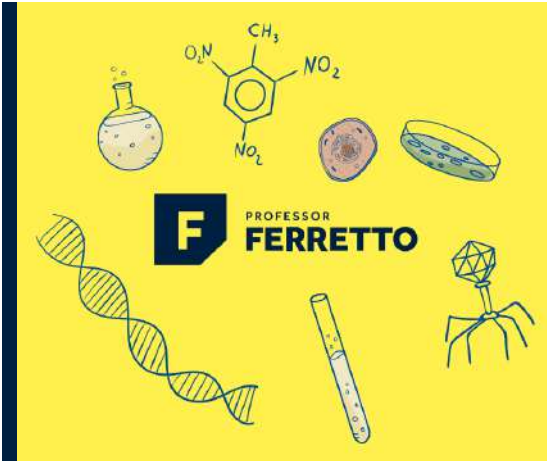


# Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM

## FERMENTAÇÃO



### ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Autótrofos, Heterótrofos e Mixótrofos](#)
- [Papel do ATP](#)
- [Tipos de respiração celular](#)
- [Tipos de organismos quanto à respiração](#)
- [Glicólise](#)
- [Fermentação láctica](#)
- [Fermentação alcoólica](#)
- [Fermentação acética](#)
- [Outras formas de respiração anaeróbica](#)

Todos os seres vivos são dotados de metabolismo, desenvolvendo em seus organismos um número quase incalculável de reações químicas. Estas reações ocorrem nos processos de crescimento e desenvolvimento, produção de substâncias, divisão celular etc. Para esses processos ocorrerem, entretanto, há a necessidade de energia.

Os seres vivos obtêm a energia de que precisam a partir dos nutrientes. Esses nutrientes correspondem à matéria orgânica, que armazenam energia em ligações covalentes com o carbono. O principal desses nutrientes é o açúcar, conhecido como glicose.

**Respiração celular é o processo de degradação de matéria orgânica para a produção de energia.**

Esta quebra se dá por um processo de **oxidação**, ou seja, envolve a perda de elétrons por parte da matéria orgânica. Esses elétrons são então recolhidos por **aceptores de elétrons**, como o **NAD** e o **FAD**, para depois serem utilizados na produção de ATP, que é a fonte direta de energia das reações metabólicas.

A **matéria orgânica** utilizada na respiração é a **glicose**, principalmente, mas também outros açúcares, lipídios, proteínas e até mesmo outras moléculas orgânicas.

**Substâncias biodegradáveis** são substâncias orgânicas que podem ser usadas como combustível na respiração de organismos decompositores. Deste modo, quando se fala que petróleo é biodegradável, significa que ele pode ser usado como fonte de energia por algumas categorias de bactérias decompositoras.

## AUTÓTROFOS, HETERÓTROFOS E MIXÓTROFOS

A glicose pode ser obtida de duas maneiras.

Alguns seres vivos produzem a glicose a partir de matéria inorgânica e energia adquiridos no meio, sendo pois, capazes de produzir seus próprios nutrientes. São os **autótrofos**, que podem ser **foto-sintetizantes (fototróficos)** ou **quimiossintetizantes (litotróficos)**.

A maioria dos seres vivos, entretanto, são incapazes de produzir matéria orgânica a partir de matéria inorgânica e energia adquiridos no meio. Nesse caso, só resta a eles aproveitarem-se dos nutrientes produzidos pelos autótrofos. São os **heterótrofos (organotróficos)**.

Alguns poucos seres podem obter moléculas orgânicas tanto por produção própria como por aquisição destas no meio. São os organismos **mixotróficos**, como algumas algas e algumas bactérias.

Uma vez que se obtém nutrientes, se obtém energia. Entretanto, é necessário liberar a energia armazenada nos nutrientes para que ela seja utilizada pelo organismo. Isso é feito através de reações de oxidação dos nutrientes, como a fermentação e a respiração. Todos os seres vivos, autótrofos e heterótrofos, devem utilizar esses processos de obtenção de energia.

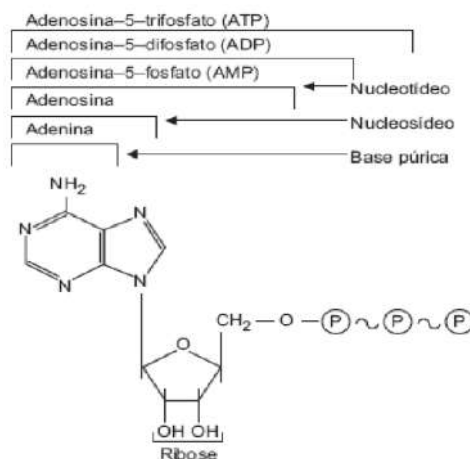
## PAPEL DO ATP

A molécula de glicose consumida na reação de fermentação ou respiração contém um teor energético muito alto. Se liberada de uma só vez, esta energia toda pode destruir a célula. Além disso, não existe processo celular que utilize toda essa energia sozinho.

Por esse motivo, as reações de oxidação para a produção de energia liberam a energia em partes, através de moléculas de **ATP**. O ATP é um nucleotídeo, formado por adenina, ribose e três grupos fosfato (adenosina trifosfato). Ele armazena uma quantidade tal de energia que pode ser utilizada em vários processos, sendo extremamente versátil.

Para se ter uma idéia, o processo de respiração aeróbica produz 38 moléculas de ATP por cada molécula de glicose. Assim, o ATP pode ser utilizado em várias reações diferentes de modo simultâneo.

Sua energia está presente na forma de ligações de alta energia envolvendo os grupos fosfato, representada por um til (~) e denominada **ligação fosfoanidra**. Quando ele quebra uma dessas ligações, passa a ADP (adenosina difosfato) e Pi (fosfato inorgânico) e libera cerca de 7,3 Kcal de energia por mol degradado.



Estrutura do ATP.

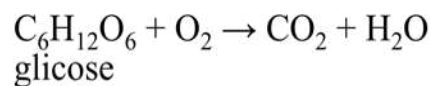
## TIPOS DE RESPIRAÇÃO CELULAR

A quebra da molécula de glicose no processo respiratório envolve a oxidação da mesma, ou seja, a perda de elétrons por parte da glicose. Esses elétrons são recolhidos por moléculas conhecidas como aceptores de elétrons, responsáveis pelo armazenamento dos mesmos. Assim, à medida em que a glicose é oxidada, os aceptores de elétrons são reduzidos no processo.

Alguns aceptores de elétrons são chamados de intermediários, recolhendo os elétrons e os transferindo a outras moléculas, denominados aceptores finais de elétrons. Nos processos respiratórios, são exemplos de aceptores intermediários de elétrons compostos como o NAD (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo) e o FAD (flavina-adenina-dinucleotídeo). Na respiração aeróbica, o oxigênio (O<sub>2</sub>) é oceptor final de elétrons.

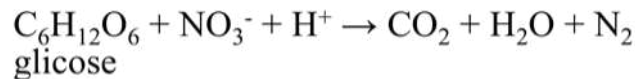
Há dois tipos básicos de respiração celular: respiração aeróbica e respiração anaeróbica.

A **respiração aeróbica** usa o gás oxigênio (O<sub>2</sub>) como agente oxidante para promover a quebra completa da matéria orgânica apenas em produtos inorgânicos, no caso, gás carbônico e água, apresentando um alto saldo energético, de até 38 ATP por glicose.



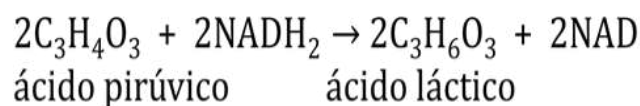
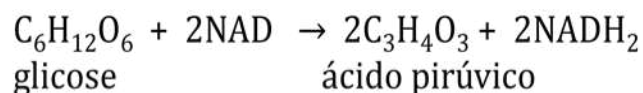
A **respiração anaeróbica** não utiliza oxigênio, podendo ocorrer de várias maneiras, sendo exemplos do processo reações como a desnitrificação e a fermentação.

- A **desnitrificação** usa o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) como agente oxidante para promover a quebra completa da matéria orgânica apenas em produtos inorgânicos, no caso, gás carbônico, água e gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), apresentando um alto saldo energético. É uma importante etapa do ciclo do nitrogênio, sendo realizada por bactérias do gênero *Pseudomonas*.

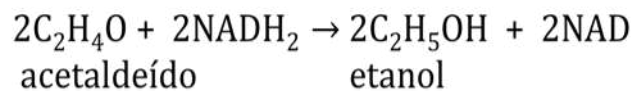
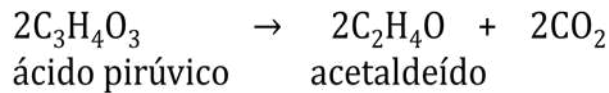
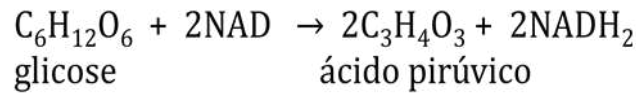


- A **fermentação** não usa um agente oxidante e promove a quebra parcial da matéria orgânica em produtos ainda orgânicos, apresentando um baixo saldo energético, de somente 2 ATP por glicose. São exemplos de fermentação processos como:

1. **fermentação láctica**, onde o ácido pirúvico é oceptor final de elétrons (presentes nos átomos de hidrogênio do NADH<sub>2</sub>):



2. **fermentação alcoólica**, em que o acetaldeído é o aceptor final de elétrons (presentes nos átomos de hidrogênio do  $\text{NADH}_2$ ):



## TIPOS DE ORGANISMOS QUANTO À RESPIRAÇÃO

Os organismos vivos podem ser classificados em três grupos quanto à sua capacidade de utilização de gás oxigênio.

**Seres anaeróbicos restritos** são aqueles que só realizam respiração anaeróbica, de modo que, para eles, o  $\text{O}_2$  é venenoso pelo seu grande poder oxidante e pela inabilidade desses organismos em degradá-lo. Isso ocorre em seres como as bactérias *Clostridium tetani* (causadora do tétano) e a *Clostridium botulinum* (causadora do botulismo). Ambas têm por hábito se alojar em ambientes pobres em oxigênio, como objetos enferrujados, no caso do bacilo do tétano, e alimentos em conserva, no caso do bacilo do botulismo.

Já os **seres anaeróbicos facultativos** são aqueles que podem se manter tanto por respiração anaeróbica como por respiração aeróbica, podendo, pois, sobreviver em ambientes sem ou com gás oxigênio. Como exemplo, temos a levedura de cerveja, *Saccharomyces cerevisiae*.

Peixes de água profunda e parasitas intestinais vivem sob condições anaeróbicas, de modo que são animais anaeróbicos. Devido ao baixo rendimento energético, seu metabolismo é muito lento.

Por fim, os **seres aeróbicos** são aqueles que dependem do metabolismo aeróbico para sobreviver. Alguns deles podem até realizar processos anaeróbicos, como é o caso da fermentação láctica na musculatura estriada em humanos, mas não podem se manter vivos apenas com esta atividade. A maioria dos organismos se enquadra neste grupo.

## FERMENTAÇÃO

A **fermentação** é a quebra parcial da molécula de glicose, na ausência de oxigênio, ocorrendo no citoplasma de determinados organismos.

Tome nota:

## GLICÓLISE

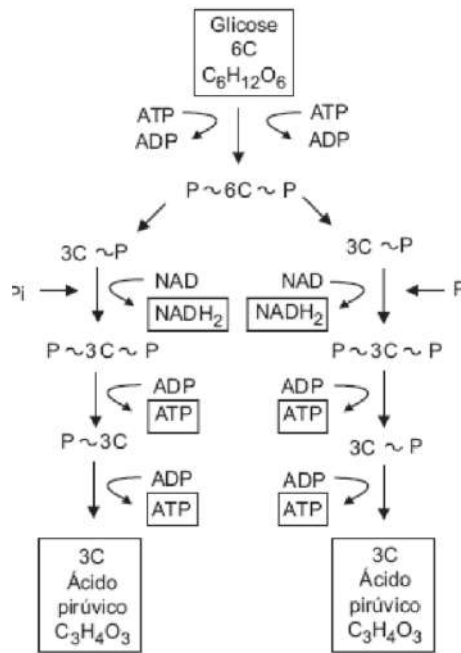
O processo de fermentação se inicia com o processo de glicólise, que consiste na quebra da molécula de glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) em duas moléculas de ácido pirúvico (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>). Essa etapa é comum ao processo de fermentação e respiração.

Inicialmente, a molécula de glicose é ativada pelo consumo de 2 moléculas de ATP. Isso é necessário pois, apesar de possuir muita energia, a glicose é estável. A quebra do ATP fornece energia para a glicose, que acaba se tornando mais reativa para promover a liberação de sua energia. Ao final do processo, 4 moléculas de ATP (a partir de ADP e Pi) e duas moléculas de NADH<sub>2</sub> (a partir de NAD) são formadas.

O saldo energético da fermentação é de 2 ATP, uma vez que 4 ATP são produzidos e 2 ATP são consumidos.

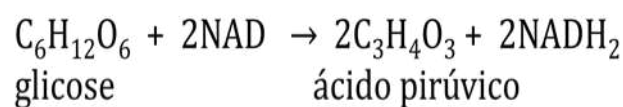
O NAD (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo) é uma coenzima que age comoceptor intermediário de elétrons. Na medida em que a glicose vai sendo oxidada e perde elétrons (na forma de íons hidreto, H<sup>-</sup>), o NAD recolhe temporariamente esses elétrons ricos em energia formando NADH<sub>2</sub> (ou mais precisamente, NADH + H<sup>+</sup>). Posteriormente, esses elétrons poderão ter sua energia utilizada na fabricação de ATP.

Observe o esquema abaixo:



Resumidamente, a glicólise envolve:

1. Consumo de duas moléculas de ATP para ativar uma molécula de glicose e iniciar a reação.
2. Quebra da molécula de glicose ativada em duas moléculas de três carbonos.
3. Incorporação de fosfato inorgânico e formação de NADH<sub>2</sub>.
4. Liberação de duas moléculas de ATP, recuperando as duas utilizadas no início.
5. Liberação de mais duas moléculas de ATP e formação de ácido pirúvico, representando essas duas moléculas de ATP o saldo energético positivo do processo.

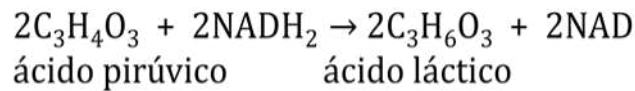


Uma vez que o  $\text{NADH}_2$  é produzido, para que o processo de glicólise seja reiniciado, é necessária a liberação dos hidrogênios de sua molécula para formação de NAD. Se isso não ocorresse, em determinado momento não haveria mais NAD disponível na célula, e nesse caso, a glicólise não seria mais possível.

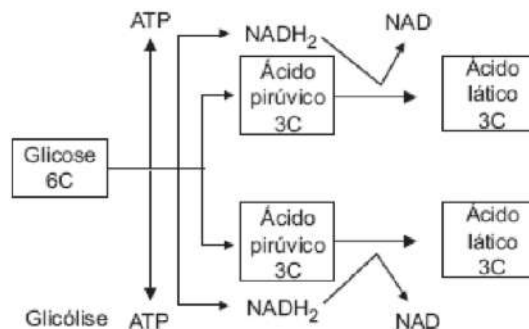
**A glicólise oxida a molécula de glicose** (com liberação de elétrons recolhidos pelo NAD formando  $\text{NADH}_2$ ). **A fermentação reduz o ácido pirúvico** (introduzindo nele elétrons provenientes do  $\text{NADH}_2$ , com conseqüente regeneração do NAD).

## FERMENTAÇÃO LÁCTICA

No processo de **fermentação láctica**, o  $\text{NADH}_2$  fornece seus hidrogênios ao próprio ácido pirúvico, que funciona como acceptor final de elétrons, passando a **ácido láctico**.



Veja o esquema:



A fermentação láctica é realizada por algumas bactérias, por alguns protozoários, por alguns fungos e por células do tecido muscular.

Através de bactérias como as do gênero *Lactobacillus*, ocorre o azedamento do leite, a produção de iogurtes e queijos e de conservas como o pickles.

Tome nota:

## Leitura – Lactobacillus na alimentação

### Produção de coalhada

Ferva três litros de leite tipo B, despeje em uma tigela ou pirex fundo e deixe esfriar, até aproximadamente a temperatura de 45° C. Use um termômetro culinário ou seu próprio dedo para testar a temperatura. No caso do dedo, ao mergulhá-lo no centro do leite, este deve estar bem quente, sem, no entanto, causar queimadura. Retire a camada de nata que se formou com uma escumadeira e acrescente então o fermento lácteo (coalho), na medida recomendada pelo fabricante e misture bem. Tampe a panela e enrole-a em papel alumínio e uma toalha grossa, para que esfrie muito lentamente. Após umas oito horas (se o tempo estiver frio, aguarde 10 horas), destampe, faça vários cortes em xadrez na coalhada com uma faca e coloque o vasilhame na geladeira para resfriar. Isso fará com que o soro acabe de separar da massa do coalho, o qual fica com uma consistência cremosa firme. Lembre-se: se o fermento lácteo for acrescentado ao leite muito quente, a coalhada ficará ácida; se estiver “morninho”, a produção de lactobacilos será prejudicada. A temperatura ideal é entre 50 e 45° C.

### Produção de queijos

Após a ordenha, o leite segue imediatamente para a queijaria, onde é depositado na plataforma de recebimento e coletado uma amostra para avaliar o grau de acidez. Estando dentro dos padrões de qualidade, o leite é então bombeado para o pasteurizador, onde recebe tratamento térmico a 65° por 30 minutos (pasteurização lenta). Essa operação garante a eliminação de possíveis agentes patogênicos encontrados no leite cru. Após a pasteurização, o leite é bombeado para o resfriador, e, ao atingir a temperatura ideal, é novamente bombeado para o tanque de fabricação. A coagulação do leite é obtida com a utilização de um preparado enzimático líquido, o coalho, extraído do estômago de animais como bois ou bodes, contendo uma enzima digestiva proteolítica de mamíferos lactantes, a renina ou labfermento. Essa enzima atua sobre o caseinato de cálcio do leite, transformando-o em paracaseinato de cálcio, o qual se combina com íons livres de cálcio, tornando-se insolúvel, precipitando-se e formando um gel ou coalhada que retém a gordura. A coalhada é então cortada, cujo processo é feito através de lira de aço inoxidável, resultando em pequenos glóbulos que facilita a separação do soro. A massa cortada fica em repouso por 10 minutos, para haver a decantação e em seguida proceder a retirada do soro, a partir do qual se produzirá manteiga. A etapa seguinte compreende a salga, e é realizada diretamente na massa com sal refinado na proporção de 2,5%. Esse procedimento visa dar mais sabor e textura ao produto, tornando-o mais untuoso, sendo que deve-se realizar uma boa distribuição do sal na massa. A massa então é colocada em fôrmas de plástico com dessoradores e conduzidas a prensa pneumática para prensagem por 2-6 horas. Completado o tempo, o queijo é retirado da fôrma, empacotado e resfriado, estando pronto para ser comercializado.

Queijos curados são envelhecidos e tratados à base de fungos que lhes conferem o sabor e odor peculiar. Fungos como *Penicillium roquefortii* e *Penicillium camembertii*, por exemplo, são usados na produção de queijo roquefort e camembert, respectivamente. Antes do advento dos refrigeradores, esse tratamento prolongava a vida útil do queijo, uma vez que os antibióticos produzidos pelos fungos impediam a proliferação de bactérias decompositoras.

No tecido muscular, o processo de fermentação láctica ocorre quando a atividade física é intensa e o aumento na frequência respiratória e fluxo sanguíneo são insuficientes para suprir o músculo de oxigênio para que ele faça respiração aeróbica. As fibras musculares degradam a glicose anaerobicamente, com produção de ácido láctico. Este promove **fadiga e dor muscular**. Cessada a atividade e restabelecendo-se as condições de oxigenação, volta o músculo a fazer respiração aeróbica.

Dentro de cerca de 24 horas, o ácido láctico é removido do músculo e enviado ao fígado, onde é reconvertido em glicose, num processo de gliconeogênese.

### Utilização de energia e a produção de ATP no músculo

Existem vários mecanismos de produção de energia para a atividade muscular. De maneira geral, na sequência em que são utilizados, pode-se citar:

- **Primeiro utiliza-se o ATP já armazenado na musculatura.** Este ATP está em quantidades muito pequenas, uma vez que o ATP é relativamente muito pesado para ser armazenado. Assim, este ATP manterá a atividade muscular por períodos muito curtos, de 3 a 4 segundos de duração.

- **Segundo, se utiliza o sistema creatina-fosfato.** A creatina-fosfato armazena ligações fosfato de alta energia que serão transferidas para o ADP, regenerando o ATP muscular:



A creatina ou creatinina é tóxica, sendo parte dela reconvertida em creatina pelo fígado e parte eliminada pelo organismo na urina, como uma excreta nitrogenada. Em excesso, pode causar lesões hepáticas.

Este ATP produzido pelo sistema creatina-fosfato se esgota em cerca de 8 a 10 segundos de atividade muscular.

- **Terceiro, se utiliza fermentação láctica.** Apesar de ser um processo de baixo rendimento energético, quando comparada à respiração aeróbica, a fermentação é utilizada porque nos momentos iniciais da atividade, ainda não há um suprimento adequado de oxigênio ao músculo para que mantenha sua atividade aeróbica. À medida que o ritmo respiratório, o ritmo cardíaco e o fluxo sanguíneo para a musculatura se tornam adequados, passa-se a utilizar a respiração aeróbica. Ainda assim, nos cerca de 40 segundos iniciais de uma atividade, utiliza-se a fermentação láctica para o processo de fornecimento de energia.

- **Posteriormente, se utiliza a respiração aeróbica.** Quando o suprimento de oxigênio volta a ser insuficiente (devido ao tempo e à intensidade da atividade, pode ser que o volume de oxigênio fornecido à musculatura não seja adequado), a atividade de fermentação láctica voltará a ser mantida, o que por sua vez levará ao acúmulo de ácido láctico e conseqüente fadiga muscular.

As primeiras três etapas de consumo de energia são **anaeróbicas**, e são utilizadas em **atividades musculares de força e explosão**, que demandam muita energia, mas por curtos períodos de tempo. Atividades esportivas, como corridas de velocidade, salto e levantamento de peso, são atividades anaeróbicas. A última etapa é **aeróbica**, e é utilizada **em atividades físicas de resistência**, em que se exige uma atividade não em intensidade máxima, mas por períodos prolongados de tempo. Atividades físicas como corridas de fundo (como maratonas) e natação, são predominantemente aeróbicas. A maioria dos esportes, no entanto, combina as duas formas de utilização de energia.



- As **atividades musculares de explosão** são realizadas por músculos chamados de **fibras rápidas, claras** ou **tipo I**. Estas, por realizarem atividades **anaeróbicas**, têm poucas mitocôndrias e pouca mioglobina (daí serem claras).

- As **atividades musculares de resistência** são realizadas por músculos chamados de **fibras lentas, escuras** ou **tipo II**. Estas, por realizarem atividades **aeróbicas**, têm muitas mitocôndrias e muita mioglobina (daí serem escuras).

### **Efeito do treinamento sobre o condicionamento físico**

De imediato, a atividade física leva a algumas modificações para aumentar a capacidade de fornecimento de O<sub>2</sub> à musculatura, para manter a atividade respiração aeróbica, o que garante um maior suprimento de energia, bem como evita a fadiga muscular. Essas modificações imediatas são:

- **taquipneia**: aumenta o ritmo respiratório para aumentar a captação de oxigênio para o sangue (bem como eliminar vapor d'água pela respiração, eliminando com isso calor);

- **taquicardia**: aumenta o ritmo cardíaco para aumentar a velocidade de bombeamento de sangue e conseqüentemente de oxigênio à musculatura;

- **vasodilatação da musculatura**: aumenta o fluxo de sangue e O<sub>2</sub> para os músculos. Substâncias como o **óxido nítrico** e o próprio **AMP** (derivado da quebra do ATP), funcionam como vasodilatadores produzidos localmente como resposta ao aumento na atividade muscular.

Qualquer pessoa passa por essas alterações quando faz um determinado esforço físico. Entretanto, a questão fala de treinamento. Por que um atleta tem um rendimento maior em atividades físicas? Por que ele cansa menos? A resposta é bem simples: o treinamento leva a uma série de alterações na fisiologia do indivíduo de maneira que ele consegue maximizar o aproveitamento de oxigênio e reduzir a fermentação láctica (e por conseqüência a fadiga muscular). Algumas dessas modificações adquiridas às custas de treinamento são:

- **aumento na quantidade de vasos sanguíneos nos músculos;**

- **aumento na quantidade de mitocôndrias nas fibras musculares;**

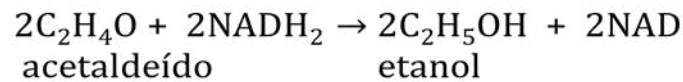
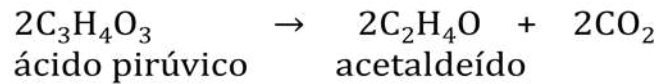
- **aumento na quantidade de mioglobina nas fibras musculares;**

- **aumento na capacidade respiratória**: ocorre aumento na elasticidade dos pulmões, bem como aumento na potência dos músculos respiratórios, de modo que se consegue inalar um maior volume de oxigênio com menor esforço e menor ritmo respiratório; para se ter uma noção, o consumo médio de oxigênio num homem jovem destreinado em repouso é de cerca de 250 ml/min, enquanto que este mesmo homem em atividade máxima consome cerca de 3600 ml/min e um maratonista em atividade máxima consome cerca de 5100 ml/min;

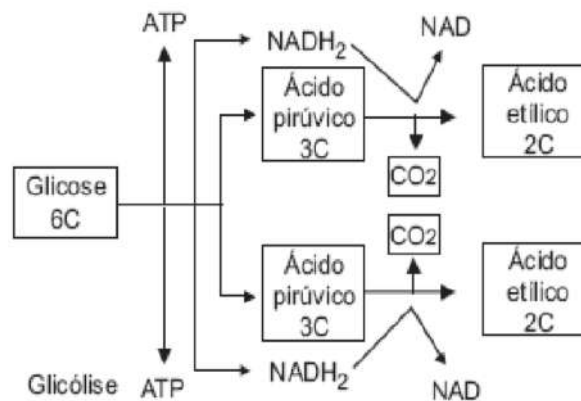
- **aumento na capacidade cardíaca**: ocorre aumento na potência do miocárdio, de modo que o indivíduo bombeia um volume maior de sangue, mesmo com um ritmo menos acelerado dos batimentos cardíacos; para se ter uma noção, um homem jovem destreinado em repouso tem um ritmo cardíaco de cerca de 75 batimentos/min, bombeando cerca de 75 ml de sangue a cada sístole, enquanto um maratonista em repouso tem um ritmo cardíaco de cerca de 50 batimentos /min, bombeando cerca de 105 ml de sangue a cada sístole.

## FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

No processo de **fermentação alcoólica**, primeiramente o ácido pirúvico da glicólise libera **CO<sub>2</sub>** e é convertido em etanal, um aldeído (acetaldeído). Este etanal passa aceptor final de hidrogênios, recebendo os hidrogênios do NADH<sub>2</sub>. Ocorre então a formação de **etanol**, um álcool (álcool etílico).



Veja o esquema:



A fermentação alcoólica ocorre em algumas bactérias, em leveduras (tipos de fungos) e em células de vegetais superiores.

As leveduras, fungos microscópicos, têm uma grande importância comercial devido à sua capacidade de fermentação alcoólica. Leveduras como *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces carlsbergiensis* são utilizadas na produção de álcool, usado como **combustível, antisséptico** e na fabricação de **bebidas alcoólicas**, transformando os açúcares de uva, malte e cana em vinho, cerveja e cachaça, respectivamente.

Além disso, CO<sub>2</sub> o liberado na fermentação alcoólica também tem importância comercial. Ele é base para a ação dos fermentos biológicos de cozinha, também um tipo de levedura. Ocorre fermentação de açúcar, com produção de gás carbônico, que se expande e provoca o inchamento da massa do pão o bolo (o aspecto em câmaras da massa do pão é devido a bolhas de gás carbônico na mesma). O álcool liberado na reação, além de em pequenas quantidades, é evaporado pelo forno. A reação de fermentação para que as massas inchem ocorre também sem a necessidade do calor de um forno; o calor, entretanto, acelera a reação, pelo menos até o ponto em que ocorre a desnaturação das enzimas.

Tome nota:

## Etanol como combustível

A substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, como o etanol, estão entre as medidas a serem tomadas na tentativa de conter os problemas relacionados às altas emissões de gás carbônico. Apesar de também liberar CO<sub>2</sub> quando utilizado, o etanol traz a vantagem de que ocorre remoção de gás carbônico da atmosfera pelas plantas produtoras de matéria orgânica a ser usada na sua produção. Assim, o saldo de liberação de gás carbônico é, no mínimo, bem melhor do que as altas taxas de liberação de gás carbônico na queima de combustíveis fósseis. Outra vantagem é a não liberação de impurezas à base de enxofre, comum na queima dos derivados de petróleo.

Dentre as várias plantas usadas na produção de matéria orgânica para a geração de etanol, duas delas são atualmente as mais promissoras: cana-de-açúcar e milho. A cana-de-açúcar utilizada na produção de álcool no Brasil tem vantagens sobre o milho utilizado na produção de álcool nos EUA. Além da cana-de-açúcar ter uma produtividade maior que o milho (1 X 0 pra cana-de-açúcar), o substrato usado para a produção do álcool na cana-de-açúcar é a sacarose, enquanto no milho é o amido. E daí? E daí que os microorganismos que lidam com a produção de etanol usam glicose como substrato direto para a fermentação alcoólica. Assim, sacarose e amido devem ser convertidos em glicose para que tais microorganismos possam produzir etanol. A diferença é que esses microorganismos possuem enzimas capazes de degradar sacarose em glicose, mas não para degradar amido em glicose. **O resultado é que a sacarose da cana-de-açúcar pode ser usada diretamente por esses microorganismos, enquanto o amido do milho não pode, tendo que ser previamente tratado com enzimas que o quebram em glicose. Essa etapa da quebra de amido em glicose encarece a produção de etanol a partir de milho** (2 X 0 pra cana-de-açúcar: placar final com vitória incontestável...).

Alguns visionários acreditam numa possível mudança da matriz energética mundial do petróleo para os biocombustíveis como o etanol de cana-de-açúcar. Entretanto, há um outro lado a se analisar: o aumento no cultivo de cana-de-açúcar para a produção de etanol levaria à diminuição na área disponível para o cultivo de outros vegetais, elevando os preços dos alimentos. (Fenômenos como esse já estão ocorrendo em regiões tradicionais de produção de álcool no interior do estado de São Paulo.)

As promessas futuras envolvem a possibilidade de produzir etanol a partir de outras fontes, como a própria celulose do bagaço da cana, da palha do milho, de plantas como o capim ou de outras moléculas orgânicas, como aquelas produzidas a partir de algas, o que se chama de **etanol de 2ª geração**. O problema é que, assim como o amido do milho, para a produção de etanol, deve-se converter essa celulose ou outras moléculas orgânicas em glicose, o que se faz através de enzimas. Nenhuma produção de enzimas com este objetivo se mostrou viável comercialmente ainda. Mas olha as coisas melhorando... O Brasil, que com seu internacionalmente reconhecido programa de etanol conseguiu se tornar autossuficiente na produção de combustíveis para veículos automotores, vai passar em pouco tempo a aproveitar o bagaço da cana, além de seu caldo, na obtenção de substratos para a produção do etanol. Essa tecnologia já se baseia na utilização de enzimas capazes de degradar outras moléculas da cana em glicose para uso de microorganismos fermentadores, o que vai aumentar ainda mais a produtividade do etanol à base da cana-de-açúcar. Tecnologias como essa talvez tornem viáveis uma substituição, ainda que parcial, de combustíveis fósseis por biocombustíveis sem tanto prejuízo na produção de alimentos. Tomara...

### Leitura complementar – Quais as diferenças entre o álcool de cana e o de milho?

#### CANA

**Custo** - O custo estimado para os produtores brasileiros é de R\$ 0,90 o litro. A vantagem da cana é que a molécula de açúcar (sacarose), que tem o álcool como subproduto, é facilmente quebrada pelas enzimas, pulando uma etapa na fabricação do etanol.

**Rendimento** - O nome da planta não quer dizer muita coisa. A cana tem 54% menos açúcar do que o milho. Ou seja, 1 tonelada dela faz só 89,5 litros de etanol.

**Safras e estocagem** - Pode ser colhida o ano todo sem precisar ser replantada durante 5 anos. Lado ruim: quando cortada, tem que ser moída em menos de 36 horas.

**Fermentação** - Leva de 7 a 11 horas. Já que as moléculas de açúcar são menores e mais fáceis de serem quebradas, o tempo de fermentação diminui muito.

**Produtividade** - Aqui mora a vantagem. Já que a planta ocupa menos espaço plantado, um hectare rende 90 toneladas de cana e produz entre 7 mil e 8 mil litros de etanol.

#### MILHO

**Custo** - O litro do etanol custa, para os produtores americanos, cerca de R\$ 1,10. Essa é a estimativa dos gastos que vão da produção ao transporte do milho. Entre eles, o preço salgado das enzimas alfaamilase e glucoamilase, que quebram as moléculas de amido (um polissacarídeo) do milho para obter o álcool.

**Rendimento** - Apesar de ser mais difícil transformar em açúcar as moléculas de amido, o milho produz mais sacarose – e álcool. Uma tonelada rende 407 litros de etanol.

**Safras e estocagem** - Precisa ser colhido 4 meses após o plantio, caso contrário, ele estraga. Mas pode ficar estocado durante o ano inteiro.

**Fermentação** - O processo leva entre 40 e 70 horas. A demora é culpa da molécula gigante de amido que tem que ser quebrada pelas enzimas para produzir o álcool.

**Produtividade** - Um hectare produz entre 15 e 20 toneladas de milho. Isso dá, no final das contas, 3 500 litros de etanol.

*Revista Superinteressante, Abril de 2007*

### Diferenças fundamentais entre fermentações láctica e alcoólica

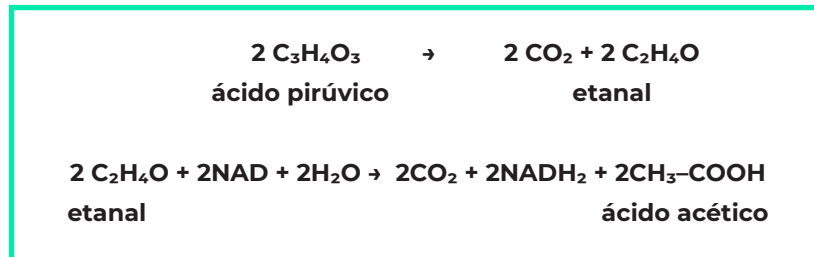
1ª) A **fermentação láctica** libera apenas **ácido láctico**, enquanto que a **fermentação alcoólica** libera **etanol** e **CO<sub>2</sub>**;

2ª) O **aceptor final de hidrogênios/elétrons** na **fermentação láctica** é o próprio **ácido pirúvico**, enquanto que na **fermentação alcoólica** é o **etanal (acetaldeído)**.

Tome nota:

## FERMENTAÇÃO ACÉTICA

Esse tipo de fermentação é realizado por bactérias denominadas acetobactérias (*Acetobacter*), produzindo ácido acético e CO<sub>2</sub>. A fermentação acética é utilizada na fabricação de vinagre e é responsável pelo azedamento de vinhos e sucos de frutas. A equação está descrita abaixo:



Observe que esta forma de fermentação não regenera o NAD, e sim forma mais NADH<sub>2</sub>. É por isso que os organismos que fazem fermentação acética obrigatoriamente devem ser capazes de fazer também respiração aeróbica, para posteriormente regenerarem o NAD necessário à manutenção da atividade de glicólise.

### Produzindo vinagre a partir do vinho

Um exemplo da situação descrita anteriormente é a transformação de vinho em vinagre pela ação das acetobactérias. Elas são encontradas naturalmente nas uvas usadas na produção do vinho, se mantendo em pequenas quantidades no vinho engarrafado, uma vez que a oferta de oxigênio é pequena. Assim, essas bactérias, a princípio, fazem fermentação acética para se manter, mas com o fim da disponibilidade de NAD nas células bacterianas e sem oxigênio para a conversão de NADH<sub>2</sub> em NAD por processos aeróbicos, seu metabolismo energético cessa e elas entram em dormência. Como o número inicial de bactérias era pequeno, a produção de ácido acético também é mínima. Se a oferta de oxigênio no recipiente com vinho aumenta, as bactérias, através de processos aeróbicos, regeneram o NAD e retomam seu metabolismo, se reproduzido rapidamente até, muitas vezes, levar a um esgotamento do oxigênio no ambiente (vinho), com conseqüente retorno do metabolismo anaeróbico por fermentação acética. Como o número de bactérias agora é bem maior, a grande produção de ácido acético resulta na conversão do vinho em vinagre (“vinho acre” ou “vinho azedo”).

### Criticando o termo “fermentação” acética

A **fermentação** normalmente converte NADH<sub>2</sub> em NAD, promovendo então uma **redução** do substrato (aceptor final de elétrons, seja o ácido pirúvico na fermentação láctica ou o etanal na fermentação alcoólica). Assim, a fermentação pode ser descrita como um processo de redução. Já a **“fermentação” acética** converte NAD em NADH<sub>2</sub>, promovendo então uma **oxidação** do **etanal** a **ácido acético**. Por ser um processo de oxidação, e não de redução, vários autores não a consideram como um processo fermentativo.

## OUTRAS FORMAS DE RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA

No processo de fermentação, não apenas não há utilização de oxigênio, como também não há utilização de uma outra molécula que possa substituí-lo.

Na respiração aeróbica, o  $O_2$  é usado ao fim do processo de cadeia transportadora de elétrons, um mecanismo bioquímico que consegue extrair mais energia da matéria orgânica. Em algumas formas de respiração anaeróbica, existe uma outra molécula que pode substituir o oxigênio, havendo então a cadeia transportadora de elétrons mesmo em anaerobiose.

Ao fim da respiração aeróbica, graças ao oxigênio, a matéria orgânica pode ser inteiramente oxidada a  $CO_2$ , havendo liberação de água. Nas formas de respiração anaeróbica não fermentativas, onde ocorre cadeia transportadora de elétrons, outros produtos podem aparecer, dependendo da substância usada no lugar do oxigênio.

Como exemplo, na **desnitrificação** do ciclo do nitrogênio, o nitrato ( $NO_3^-$ ) é usado ao invés do oxigênio, e ocorre liberação de  $N_2$ . Outros processos liberam substâncias como gás sulfídrico ( $H_2S$ ).

Vários organismos decompositores são anaeróbicos, realizando esses processos anaeróbicos durante o consumo da matéria orgânica de cadáveres, o que explica o mau cheiro, uma vez que metano e gás sulfídrico têm cheiros bem desagradáveis (o metano é o principal gás liberado na flatulência e o gás sulfídrico é o responsável pelo cheiro do ovo podre). Esta também é a explicação para o fato de os cadáveres incharem/estufarem após um certo tempo: os gases produzidos pelos processos respiratórios dos microorganismos decompositores são os responsáveis pelo inchaço.

O metano é usado como combustível na forma de biogás ou gás natural, de modo que aterros sanitários podem ser usados na coleta desse gás a partir da ação de decomposição do lixo.

Tome nota: