



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA GERAL

## **RESPIRAÇÃO EM PLANTAS**

Prof. Tomás de Aquino Portes

Goiânia, maio de 2004

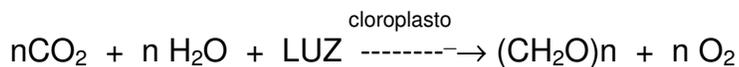
## CAPÍTULO 3.

### RESPIRAÇÃO

É definida como a oxidação de compostos orgânicos (principalmente glicose) na célula, dando como resultado a liberação de energia química.

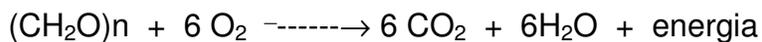
A respiração, grosseiramente, pode ser considerada o reverso da fotossíntese.

FOTOSSÍNTESE: O processo fotossintético global pode ser resumido na seguinte equação:



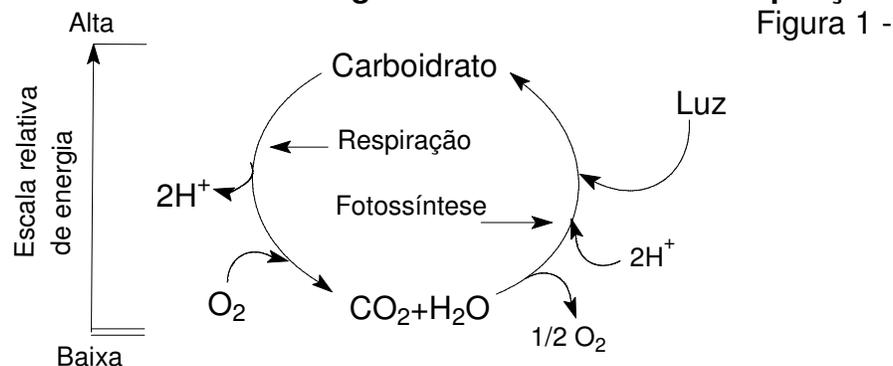
A FOTOSSÍNTESE fornece ATP (fotofosforilação), NADPH e ferrodóxina reduzida (Fdr) principalmente para a redução do  $\text{CO}_2$ , mas úteis também para outros processos como a redução e assimilação do nitrogênio e outros intermediários precursores para diversas vias biossintéticas.

RESPIRAÇÃO: O processo respiratório global pode ser resumido na seguinte equação:



A respiração é importante para a célula pois fornece energia (ATP, via fosforilação oxidativa), redutores (NADH),  $\text{FADH}_2$  e, muitos dos seus compostos intermediários (esqueletos carbônicos), entram na formação de certas moléculas indispensáveis ao crescimento da planta.

### Escala relativa de energia da fotossíntese e da respiração



A fotossíntese tem a função de transformar a energia da luz em energia química utilizável pela planta numa fase posterior. Portanto ela inicia em um nível baixo de energia, para terminar com a síntese de substâncias com um alto nível de energia, sendo a principal a glicose. A energia acumulada na glicose não é utilizada pelas centenas de reações químicas que acontecem na planta, a não ser que ela seja transformada numa forma aproveitável. É aí que entra a respiração. A energia liberada pela oxidação de moléculas orgânicas é, na realidade, transferida para uma ligação terminal de alta energia do ATP (Fig...). A energia acumulada como ATP é usada para que reações químicas que exigem energia possam ocorrer. A energia de uma reação (respiração) é transferida para acionar uma outra reação (síntese), como a síntese de aminoácidos, proteínas, lipídeos, bem como processos do crescimento, absorção ativa, translocação, entre outros.

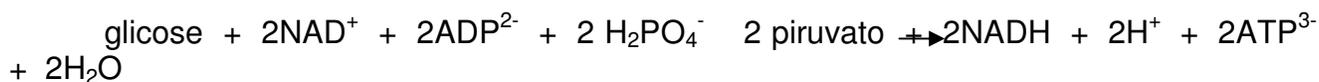
A energia do ATP é utilizada em vários locais na célula, em reações químicas que requerem energia. No processo, um dos três grupamentos fosfato é removido da molécula de ATP, dando como origem uma molécula de ADP, menos energética do que a de ATP, um fosfato inorgânico (Pi) e energia. A molécula de ADP formada pode se juntar ao grupo fosfato inorgânico, reconstituindo o ATP. Para isto requer energia liberada da oxidação da glicose, ou outra molécula orgânica.

**A molécula de ATP funciona, na verdade, como um composto intermediário de transferência de energia entre reações liberadoras e consumidoras de energia.**

## **A oxidação da glicose em CO<sub>2</sub> e água divide-se em três fases principais:**

1. GLICÓLISE
2. CICLO DE Krebs (ou ciclo dos ácidos tricarbóxicos-TCA)
3. CADEIA transportadora mitocondrial de elétrons (ou fosforilação oxidativa).

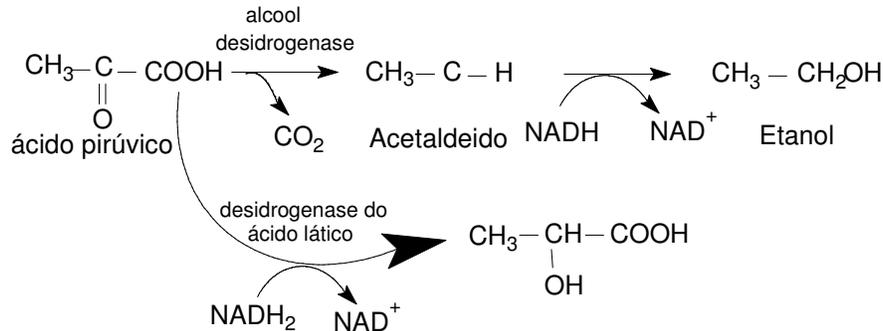
**1 - GLICÓLISE:** A glicólise é o processo que, através de 10 reações químicas, transforma a glicose em 2 moléculas de piruvato



A glicólise:

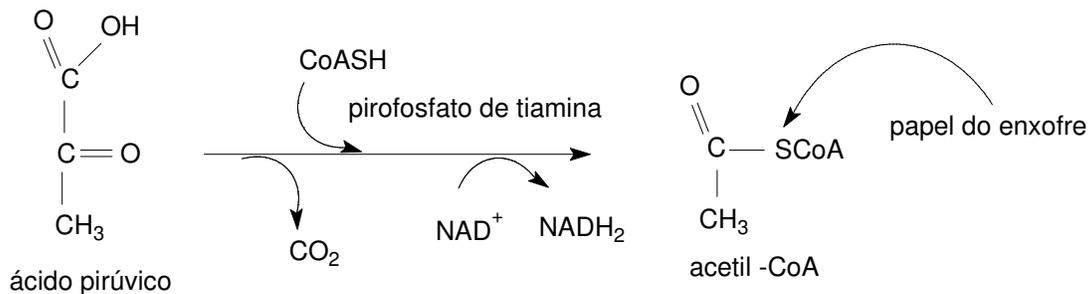
- Ocorre no citosol;
- converte uma molécula de hexose em duas moléculas de ácido pirúvico;
- não usa O<sub>2</sub>; é anaeróbia
- nenhum CO<sub>2</sub> é liberado;
- produção líquida de 2 ATP + 2NADH / hexose. Cada NADH oxidado na cadeia de transporte de elétron produz 2ATP, resultando 6ATP/ hexose
- formação de moléculas que podem ser removidas do caminho para sintetizar outros constituintes da planta;

Na ausência de  $O_2$ , na célula, há acúmulo de  $NADH_2$  e piruvato desencadeando o processo de fermentação:



## 2 - Ciclo de Krebs ou ciclo dos ácidos tricarboxílicos (Tricarboxilic Acid Cycle = TCA)

O passo inicial que leva ao TCA envolve a oxidação e perda de  $\text{CO}_2$  do piruvato e a combinação do acetato de 2 - carbonos remanescente com o composto contendo enxofre, Coenzima A (CoA) formando acetil-CoA ( $\text{CH}_3 - \text{C} - \text{SCoA}$ ).



A reação de descarboxilação do piruvato envolve também uma forma fosforilada de tiamina (vitamina  $B_1$ ) como um grupo prostético.

A participação da vitamina  $B_1$  nesta reação explica, parcialmente, a função essencial da vitamina  $B_1$  em plantas e animais.

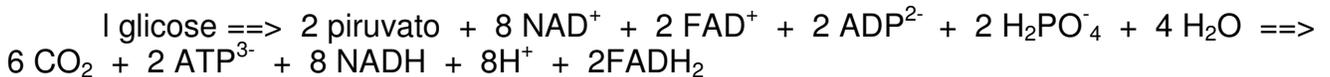
### O CICLO DE KREBS:

- ocorre nas mitocôndrias;
- contribui com 2 ATP/hexose ou por piruvato quando succinil CoA é clivado a succinato e CoAsh
- síntese direta de ATP (1 ATP para cada piruvato oxidado).
- redução do  $\text{NAD}^+$  e  $\text{FAD}^+$ . São produzidos 8  $\text{NADH}$  e 2  $\text{FADH}_2$  / hexose na matriz mitocondrial. Um  $\text{NADH}$  produz 3ATP pela fosforilação oxidativa ou 24 ATP/hexose ( $3 \times 8$ ) 1  $\text{FADH}_2$  produz 2 ATP na fosforilação oxidativa ou 2  $\text{FADH}_2 \times 2\text{ATP}/\text{FADH}_2 = 4 \text{ATP}/\text{hexose}$ .  $\text{FADH}_2$  e  $\text{NADH}$  são subsequentemente oxidados na cadeia de transporte de elétrons para produzir ATP.

- Resulta assim que o Ciclo de Krebs contribui com um total de 30 ATP
- formação de esqueletos carbônicos que podem ser usados para sintetizar certos aminoácidos que, por sua vez, são convertidos em grandes moléculas (proteínas). Várias outras substâncias são produzidas a partir de intermediários do Ciclo de Krebs.

Adicionando os 30 ATP produzidos diretamente, ou não, pelo Ciclo de Krebs aos 6 da glicólise resultam em um total de 36 ATP/ hexose.

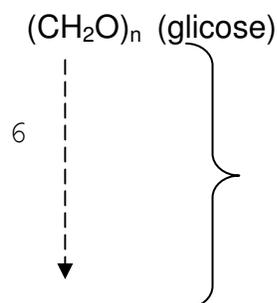
Uma vez a glicose completamente respirada pelos processos e considerando que 2 piruvatos são produzidos na glicólise, a partir de cada glicose, a reação global para o Ciclo de Krebs é:



### 3 – Sistema de Transporte de Elétrons e Fosforilação Oxidativa

A cadeia de transporte de elétrons catalisa um fluxo de elétrons do  $\text{NADH}_2$  (e  $\text{FADH}_2$ ) para o oxigênio, o receptor final de elétrons do processo respiratório. Para a oxidação do  $\text{NADH}$ , a reação geral de transferência de dois elétrons é representada a seguir:  $\text{NADH}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NAD}^+ + \text{H}_2\text{O}$ .

O papel da cadeia de transporte de elétrons é conduzir à oxidação de  $\text{NADH}_2$  (e  $\text{FADH}_2$ ) e, no processo, utilizar alguma energia livre liberada para dar origem à síntese de ATP.



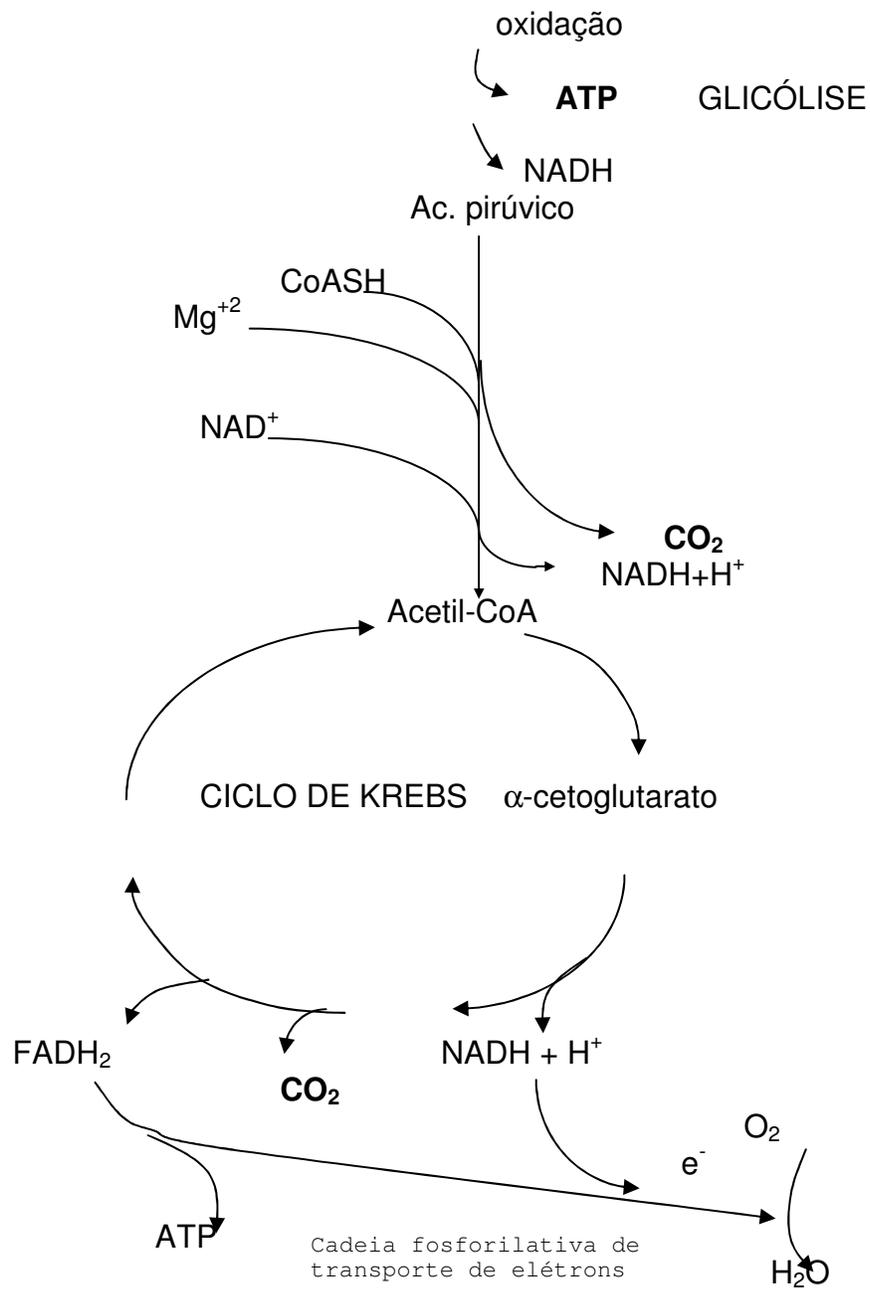
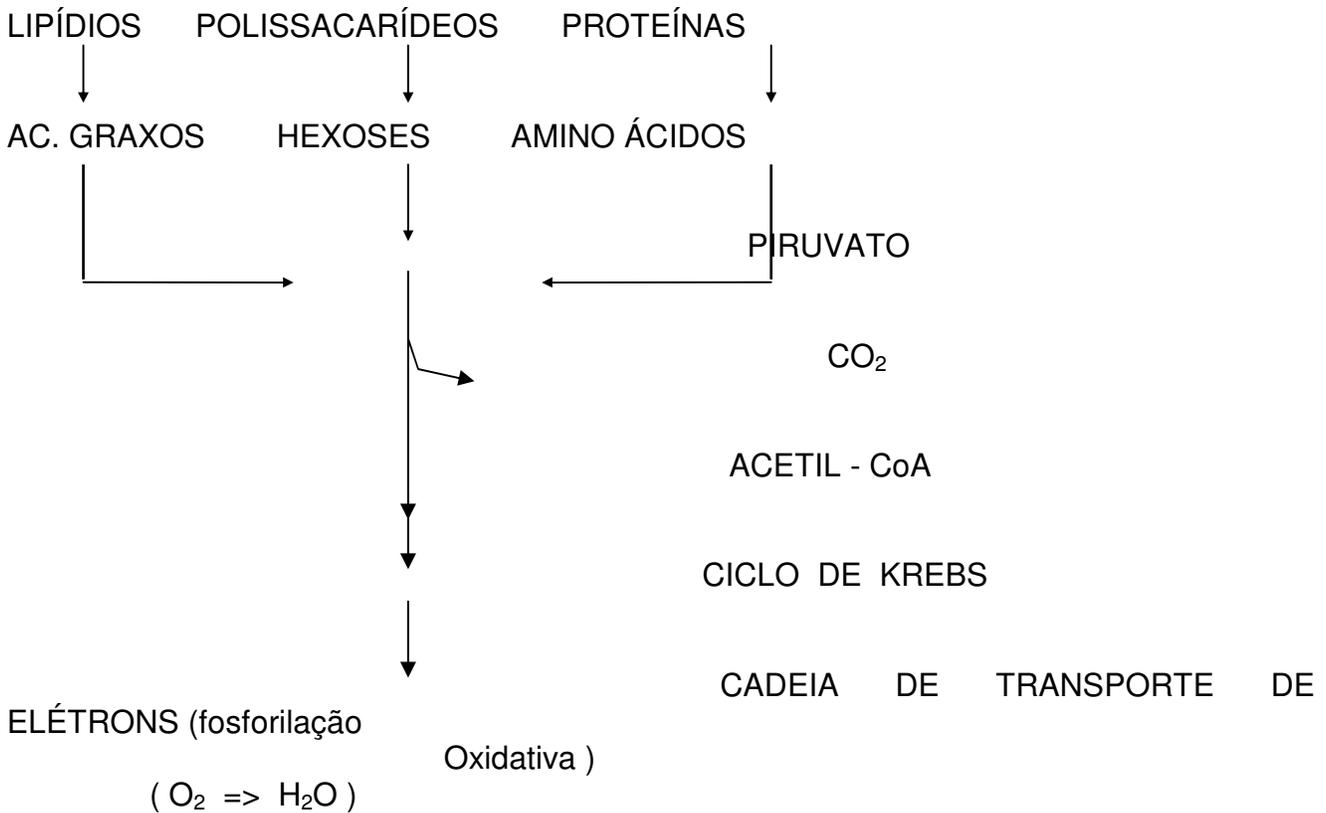


Figura 6. Rota resumida da glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa. O O<sub>2</sub> é o receptor final de elétrons.

**A respiração pode ocorrer a partir de diferentes substratos** (comum em sementes em processo de germinação, imediatamente após a embebição):



### QUOCIENTE RESPIRATÓRIO:

É a relação entre a quantidade de CO<sub>2</sub> produzida e a de O<sub>2</sub> consumida no processo oxidativo. Dependendo do substrato que está sendo respirado o coeficiente respiratório tem um determinado valor

$$QR = \text{CO}_2 / \text{O}_2$$

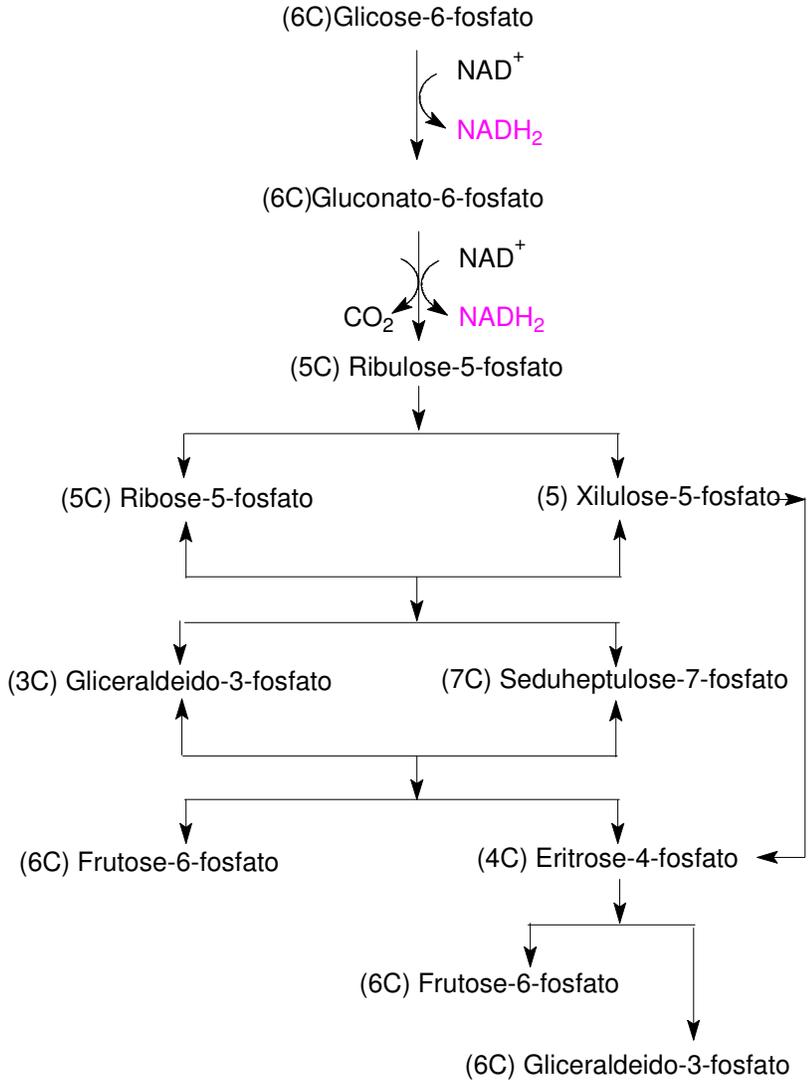
QR > 1 => oxidação via fermentação, não necessita de O<sub>2</sub>. Valores superiores à unidade são também observados quando ácidos orgânicos estão sendo oxidados. QR = 1 => oxidação do carboidrato QR < 1 => carboidratos e outros

Sementes oleaginosas são ricas em lipídios como substâncias de reserva. Ao germinarem o QR é sempre menor que 1, normalmente em torno de 0,7. Na germinação de sementes de cereais e algumas leguminosas (ervilha e feijão) o QR situa-se em torno da unidade.

### Via Pentose Fosfato ou Via Oxidativa da Pentose Fosfato(VPF).

É uma outra via que os tecidos vegetais utilizam para oxidar carboidratos. Ocorre no citosol. Através da VPF, uma molécula contendo 6 átomos de carbono(glicose-6-fosfato) é

convertida em uma molécula com 5 carbonos(ribulose 5-fosfato),com perda de um CO<sub>2</sub> e geração de duas moléculas de NADPH. Observe que é NADPH (como na fotossíntese) e não NADH (como na respiração).



O NADPH é gerado nas duas primeiras reações da VPF e a ribulose 5-fosfato é convertida nos intermediários glicolíticos, frutose 6-fosfato e gliceraldeido 3-fosfato, através de uma série de interconversões metabólicas. As duas primeiras reações são essencialmente irreversíveis, enquanto as interconversões entre ribulose-5-fosfato e os compostos glicolíticos são livremente reversíveis.

O amido é hidrolisado a glicose-6-fosfato e esta segue a via pentose fosfato.

A função principal da via pentose fosfato para a planta, é produzir o nucleotídeo  $\text{NADPH}_2$ , especialmente no caso do produzido na fotossíntese ser insuficiente para suprir, além da fotossíntese, outras vias metabólicas.

$\text{NADPH}_2$  é utilizado na biossíntese de lipídios, esteróis e aminoácidos, diferentemente dos  $\text{NADH}_2$  produzidos na glicólise e ciclo de Krebs que tem a função de produzir energia na forma de ATP na cadeia fosforilativa de transporte de elétrons (Respiração).

A via pentose fosfato produz o composto intermediário, **ribose-5-fosfato**, que faz parte dos ácidos nucleicos.

A eritrose 4-fosfato, precursora do ácido chiquímico, é importante via para a produção de aminoácidos, reguladores de crescimento, compostos fenólicos, lignina e outros compostos secundários.

Comparações entre alguns aspectos da fotossíntese e da respiração

<b>Fotossíntese</b>	<b>Respiração</b>
1. Ocorre somente em células de plantas que contém clorofila. Ocorre nos cloroplasto	Ocorre em todas as células animal e vegetal. Ocorre nos mitocôndrios.
2. Ocorre apenas na presença da luz	Ocorre continuamente tanto sob luz como no escuro
3. Os produtos da fotossíntese são açúcares, água e $\text{O}_2$ .	Os produtos são água e $\text{CO}_2$
4. $\text{CO}_2$ e água são os materiais utilizados para a sua realização	$\text{O}_2$ e açúcares, proteínas e lipídios são os materiais utilizados para a sua realização.
5. Sintetiza alimento	Oxida alimento
6. Acumula energia	Libera energia
7. Resulta em um incremento na massa	Resulta em um decréscimo na massa

Nos organismos vivos como as plantas, milhares de reações bioquímicas acontecem simultaneamente. Algumas reações são liberadoras de energia (exotérmicas), mas um grande número depende de energia externa para acontecer (são endotérmicas).

A energia que essas reações utilizam nas suas transferências energéticas vem da fotossíntese.

Na fase clara da fotossíntese são produzidos ATP e NADPH, que transferidos do local de síntese, nos tilacoides, para o estroma dos cloroplastos, vão fixar o  $\text{CO}_2$  em glicose. A luz acionou a reação do  $\text{CO}_2$  mais água, que de um baixo nível de energia, resultou na molécula de glicose, rica em energia. Produzida a glicose ela pode ser transformada em sacarose, podendo translocar-se por toda a planta indo suprir exigências

energéticas onde necessário. Caso não haja demanda, a glicose pode acumular-se na forma de amido, permanecendo nessa condição até que a demanda apareça.

A energia acumulada na forma de glicose não é, diretamente, utilizada por reações bioquímicas. Ela deve ser degradada para que a sua energia seja aproveitada. Esta degradação é realizada pela respiração.

A energia liberada pela oxidação de moléculas orgânicas (respiração) é na realidade transferida para uma ligação terminal de alta energia do ATP.

### Respiração em Plantas Intactas.

As plantas em geral possuem baixas taxas respiratórias, mesmo assim a sua contribuição no balanço entre ganho e perda de carbono é considerável.

Um levantamento de espécies herbáceas indicou que entre 30 a 60% do ganho fotossintético diário é perdido pela respiração, embora salientando-se que as perdas tendem a diminuir com a idade da planta (Lambers, 1985). Em regiões tropicais entre 70 e 80% do ganho fotossintético diário pode ser perdido pela respiração por causa das altas taxas respiratórias noturnas associadas com temperaturas noturnas elevadas. Em feijão, por exemplo, altas temperaturas noturnas (acima de 20<sup>o</sup> C), podem causar abortamento total de flores e vagens pequenas (Portes, 1996).

As taxas respiratórias são diferentes nos diferentes tecidos e órgãos das plantas, talvez por esta razão são diferentes ao longo da idade da planta. Normalmente, quanto mais intensa a atividade metabólica em um dado tecido mais elevadas são as taxas respiratórias. As gemas apicais (tecidos meristemáticos) apresentam normalmente altas taxas respiratórias, sendo que estas taxas vão reduzindo-se à medida que o tecido vai amadurecendo. Órgãos como caules, por exemplo, apresentam as mais baixas taxas respiratórias. Para folhas e raízes a respiração varia com a espécie de planta e com as condições onde a planta está crescendo. Quando tecidos vegetais alcançam a maturidade as suas taxas respiratórias permanecem mais ou menos constantes, ou reduzem-se lentamente até a sua senescência.

Como a respiração é grosseiramente o inverso da fotossíntese é razoável questionar o quanto ela contribui na redução da produção nas culturas. De acordo com a reação bioquímica da respiração pode-se conjecturar que as plantas que respiram mais têm produções menores porque perdem mais carbono. No entanto o que deve ser considerado é o balanço de carbono, ou seja, a quantidade que entra no processo fotossintético e o que é perdido na respiração. Uma planta A que possui taxas respiratórias maiores do que uma B, pode ter um balanço de carbono mais favorável. Este é um fato importante porque plantas que respiram mais têm um metabolismo mais ativo e provavelmente biossintetizam mais eficientemente as substâncias indispensáveis ao seu desenvolvimento. Foi encontrado em soja (*Glycine max* L.) taxas respiratória superiores às de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sendo atribuído a estas maiores taxas a maior eficiência na assimilação do nitrogênio (Portes, 1992). Este achado pode servir de ferramenta na seleção de plantas mais eficientes na assimilação do N.

A respiração nas plantas intactas pode ser dividida em **respiração de crescimento**, que pouco carbono é processado para dar origem a mais fitomassa, e a **respiração de**

**manutenção** que é o componente da respiração necessário para manter os tecidos existentes, já formados, em condições viáveis (TayZ & Zeiger, 1998).

#### Literatura consultada

1. Taiz,L. & Zeiger, E. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.1998, p.791