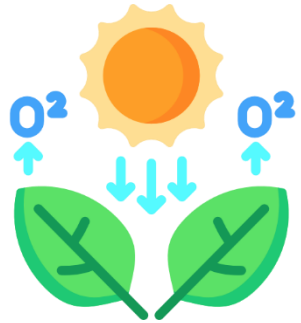
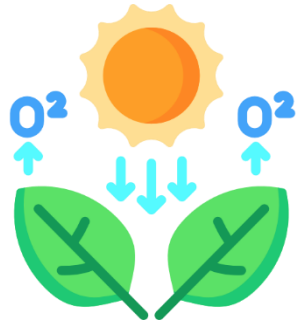




Ministério da Educação
Universidade Federal de Sergipe
Departamento de Engenharia Agrônômica
Engenharia Agrônômica

Fisiologia de Plantas Cultivadas

Profª Dra. Pryanka Thuyra Nascimento Fontes



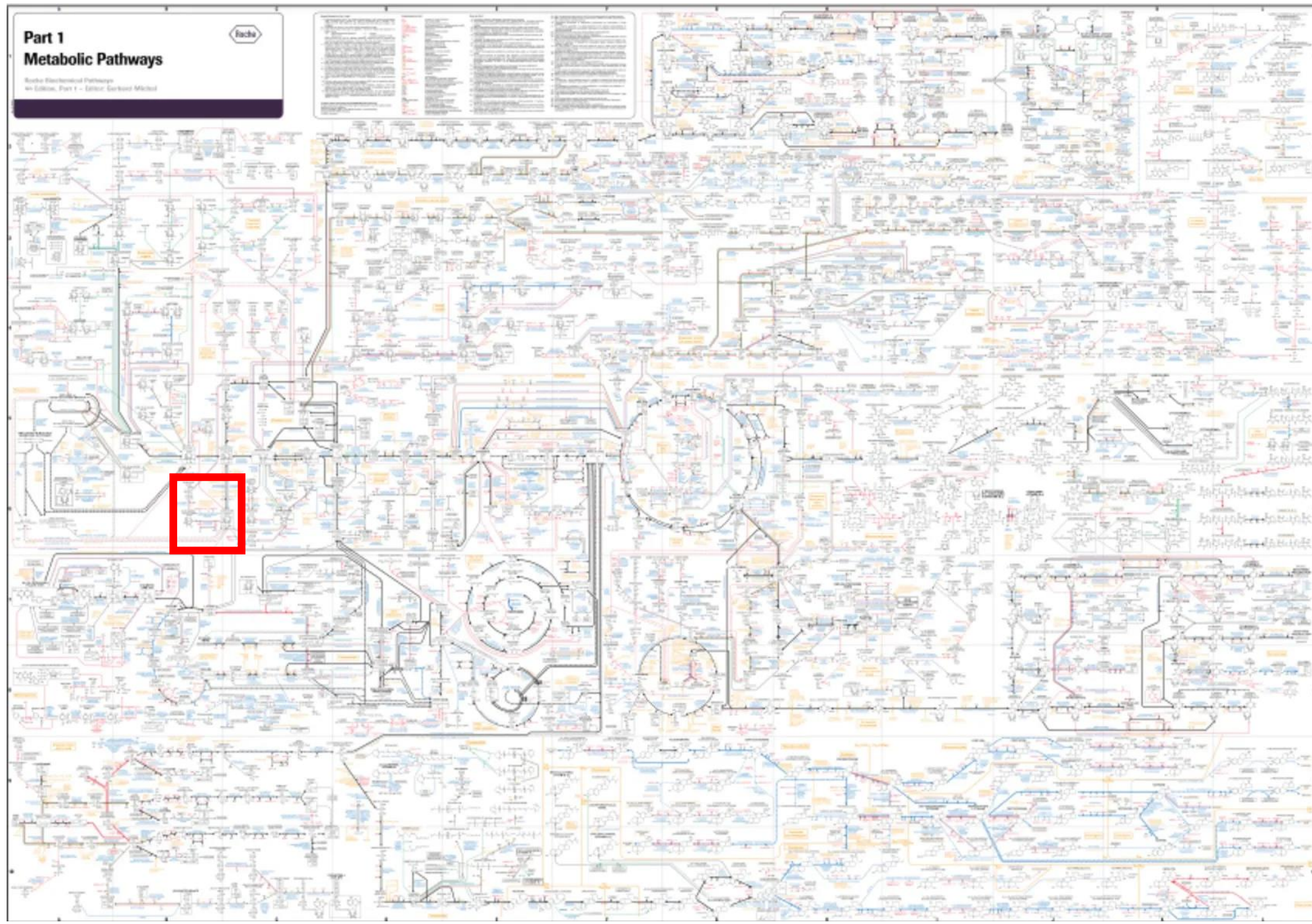
Fisiologia de Plantas Cultivadas

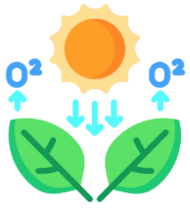
Respiração

Part 1 Metabolic Pathways

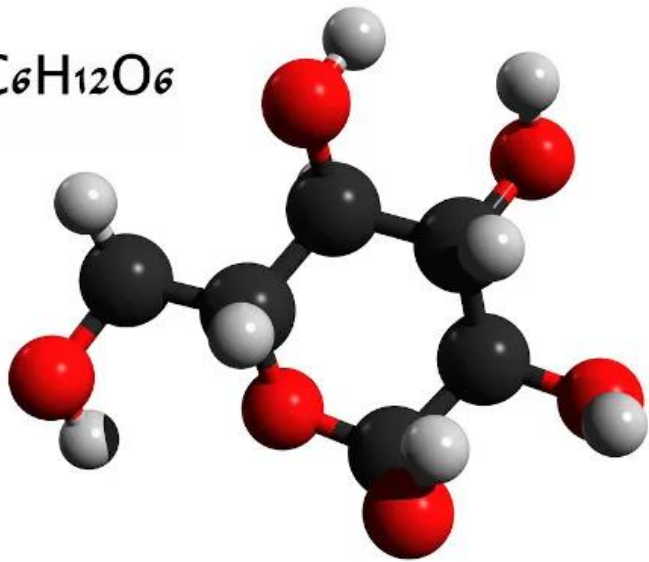
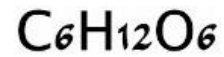
Fourth Edition, Part 1 - Editor: Garth M. Martin

Index





Importância da Glicose

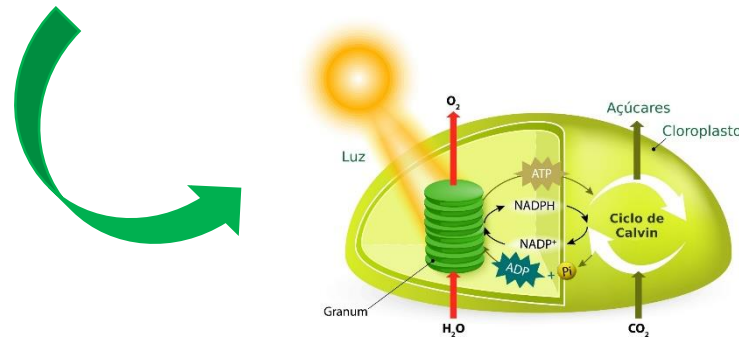


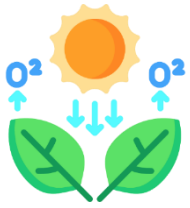
Combustível versátil > Oxidação via glicólise

Precursor versátil > Oxidação via rotas anabólicas (ex: pentose fosfato)

Precursor versátil > Síntese de polímeros estruturais

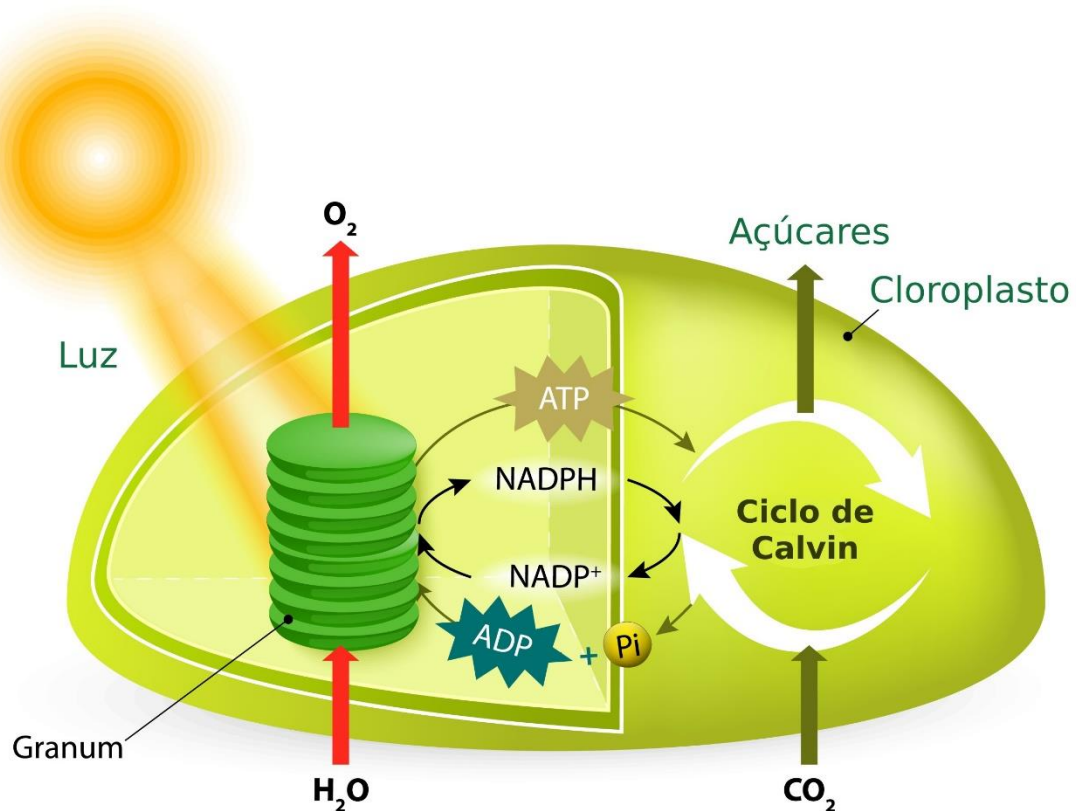
Reserva versátil > Glicogênio, sacarose, amido...





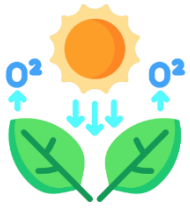
Visão geral da respiração nas plantas

Fotossíntese



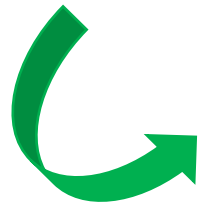
RESPIRAÇÃO

É o processo pelo qual a energia armazenada nos carboidratos é liberada de maneira controlada.



Visão geral da respiração nas plantas

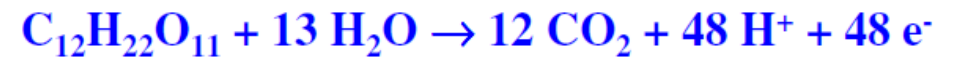
Respiração em plantas x vegetais



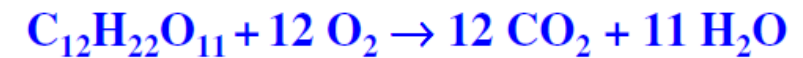
Respiração em plantas



Oxidação da Sacarose e redução de 12 moléculas de O₂



Resultando na seguinte reação líquida:



$$\Delta G' = - 1.380 \text{ kcal/mol} \text{ ou } - 5.760 \text{ kJ/mol}$$

(1 caloria = 4,1865 joules)

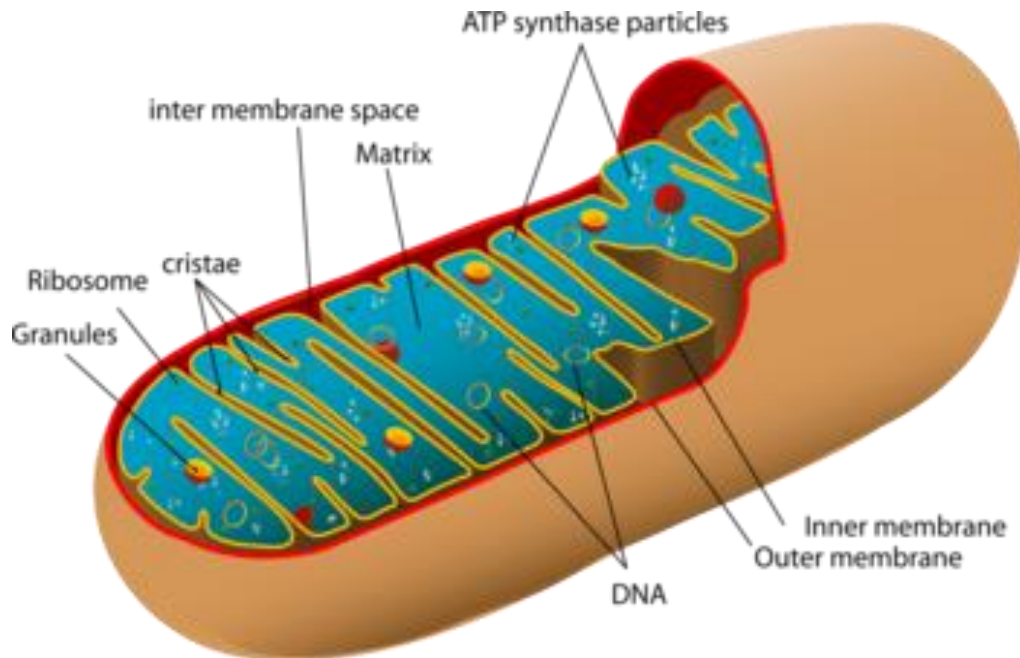
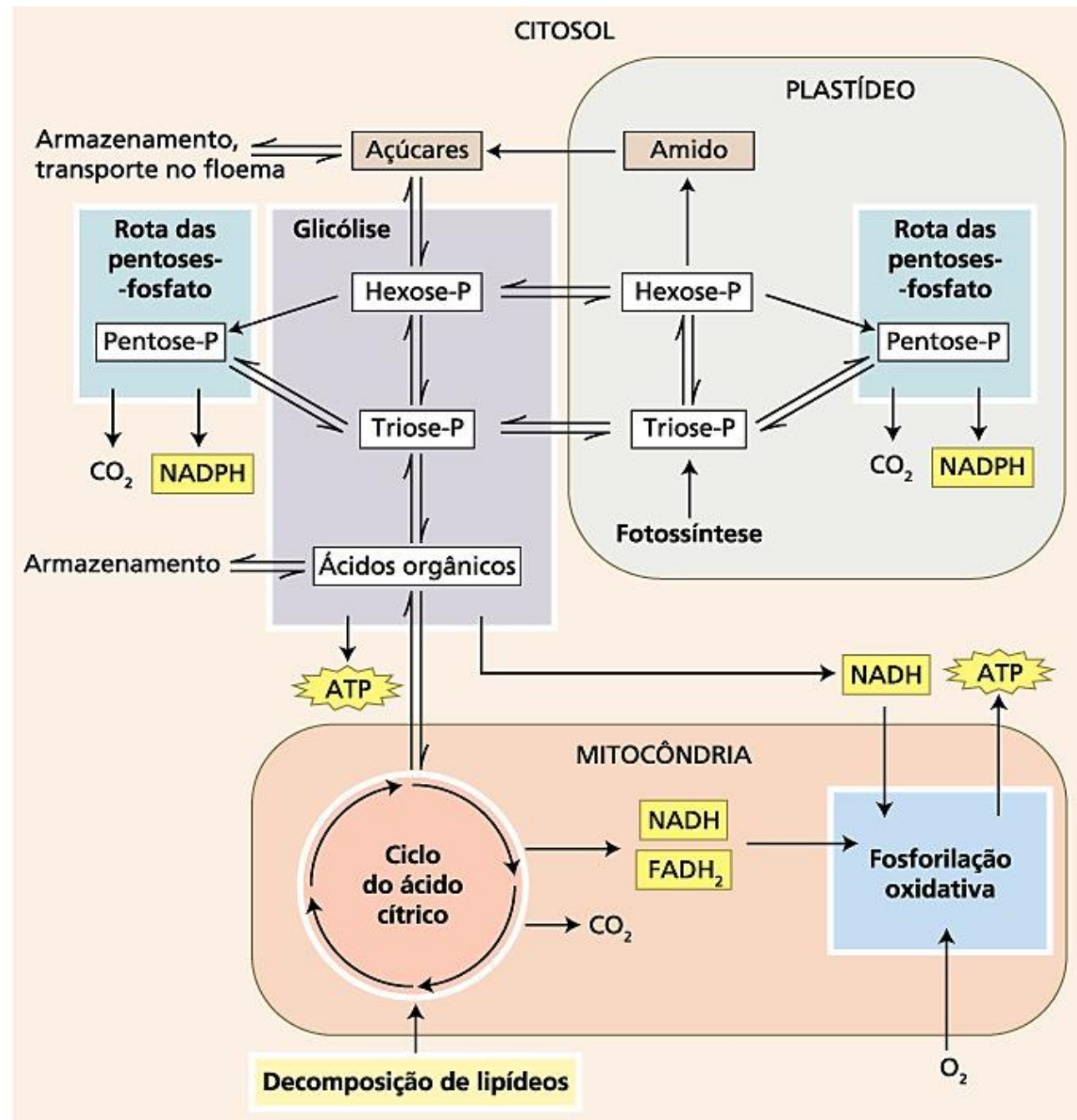
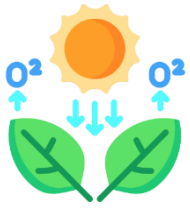


FIGURA 11.1 Visão geral da respiração. Os substratos para a respiração são gerados por outros processos celulares e entram nas rotas respiratórias. As rotas da glicólise e oxidativa das pentoses-fosfato no citosol e nos plastídeos convertem açúcares em ácidos orgânicos como o piruvato, via hexoses-fosfato e trioses-fosfato, gerando NADH ou NADPH e ATP. Os ácidos orgânicos são oxidados no ciclo mitocondrial do ácido cítrico, e o NADH e FADH_2 produzidos fornecem a energia para a síntese de ATP pela cadeia de transporte de elétrons e ATP sintase na fosforilação oxidativa. Na gliconeogênese, o carbono oriundo da decomposição de lipídeos é degradado nos glioxissomos, metabolizado no ciclo do ácido cítrico e, após, utilizado para sintetizar açúcares no citosol por glicólise reversa.





Substratos da respiração em plantas

Carboidratos

- Sacarose (principal)*
- Glicose*
- Frutose*
- Amido (via Fosforolítica e via Hidrolítica)*
- Frutana (armazenada em vacúolos)*

Lipídeos

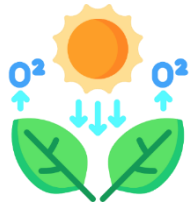
Triacilglicerol (sementes oleaginosas)

Proteínas

Germinação de sementes e folhas senescentes

Ácidos orgânicos

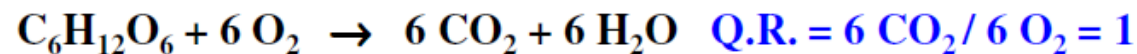
- Malato (plantas CAM)*
- Ácido glicólico (fotorrespiração)*



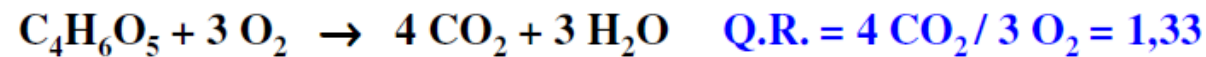
Quociente Respiratório

Q.R. = Moles de CO₂ liberados/ Moles de O₂ consumidos

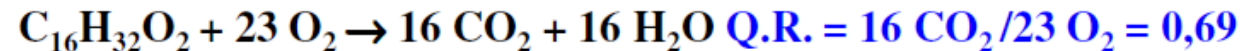
- **Glicose (açúcar):**

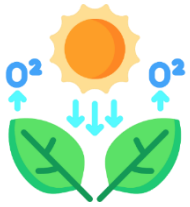


- **Ácido málico (ácido orgânico):**



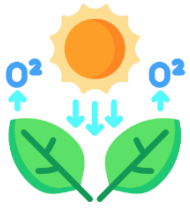
- **Ácido palmítico (ácido graxo):**





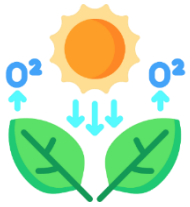
Glicólise

- ❖ *As enzimas que catalisam as reações da glicólise estão localizadas no citosol, e em plantas, também nos plastídios.*
- ❖ *Uma molécula de sacarose (um açúcar de 12 carbonos) é quebrada e produz quatro moléculas de açúcar de três carbonos (trioses).*
- ❖ *Estas trioses são, então, oxidadas e re-arranjadas para produzir quatro moléculas de Piruvato.*
- ❖ *Os carboidratos estocados na forma de amido, frutanas ou sacarose devem ser, portanto, hidrolisadas para liberar os monossacarídeos (glucose e frutose).*



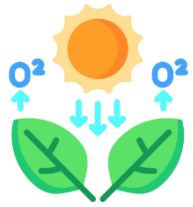
Glicólise

- ❖ **Hidrolítica**, o amido é degradado liberando glucose, mediante a ação de quatro enzimas: α -amilase, β -amilase, Enzima desramificadora e a α -1,4-glucosidase.
- ❖ Na via **Fosforolítica** o amido é degradado liberando glicose 1-fosfato, pela ação da enzima fosforilase do amido.

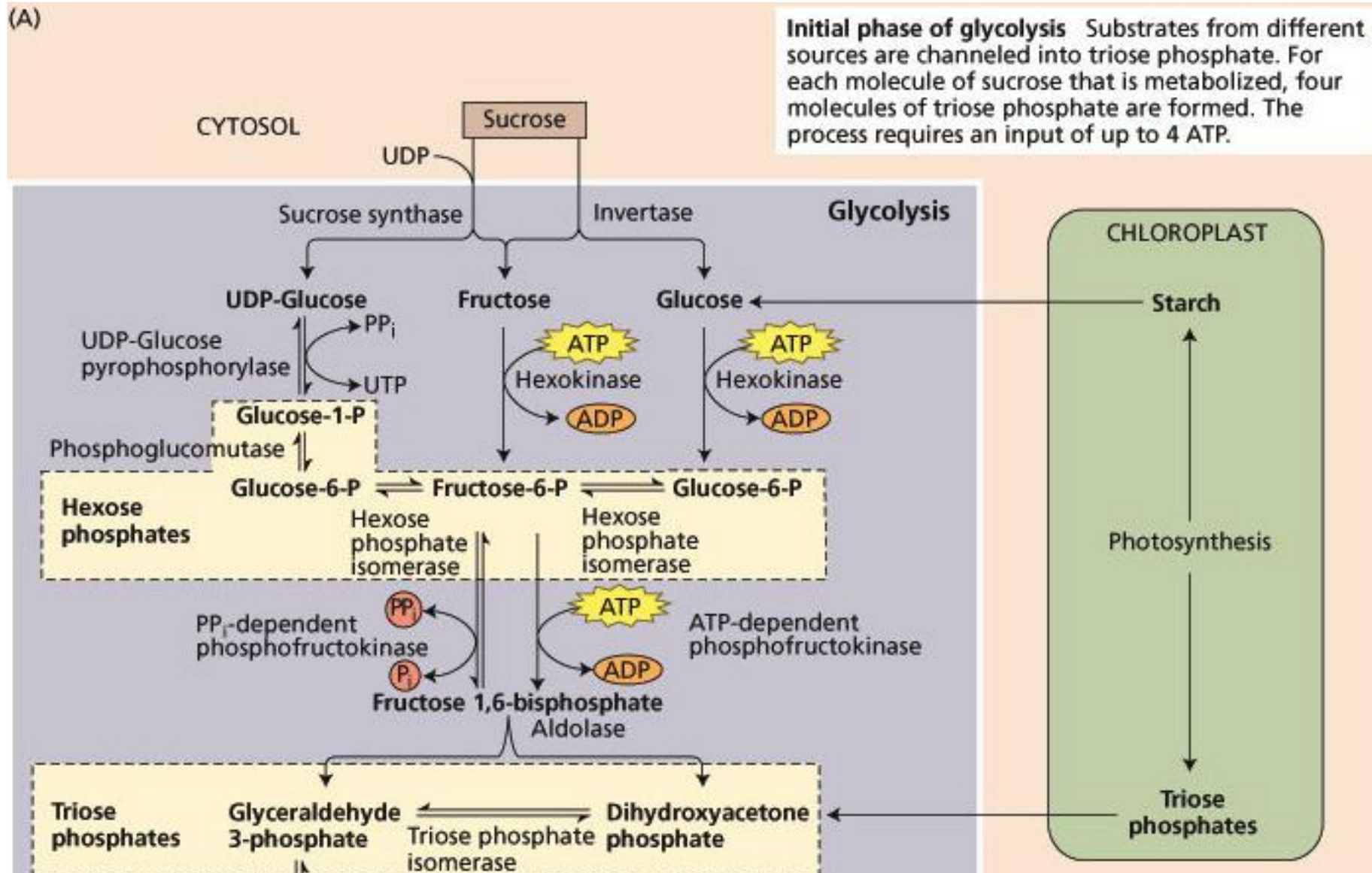


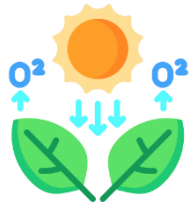
Glicólise

- ❖ A sacarose, principal substrato para a respiração vegetal, é degradada por ação de duas enzimas: sintase da sacarose e a invertase (invertase alcalina e a invertase ácida).
- ❖ A sintase da sacarose e a invertase alcalina são localizadas principalmente no citosol.
- ❖ A invertase ácida é encontrada associada às paredes celulares e aos vacúolos.
- ❖ A importância destas enzimas depende do local onde a sacarose está sendo metabolizada.

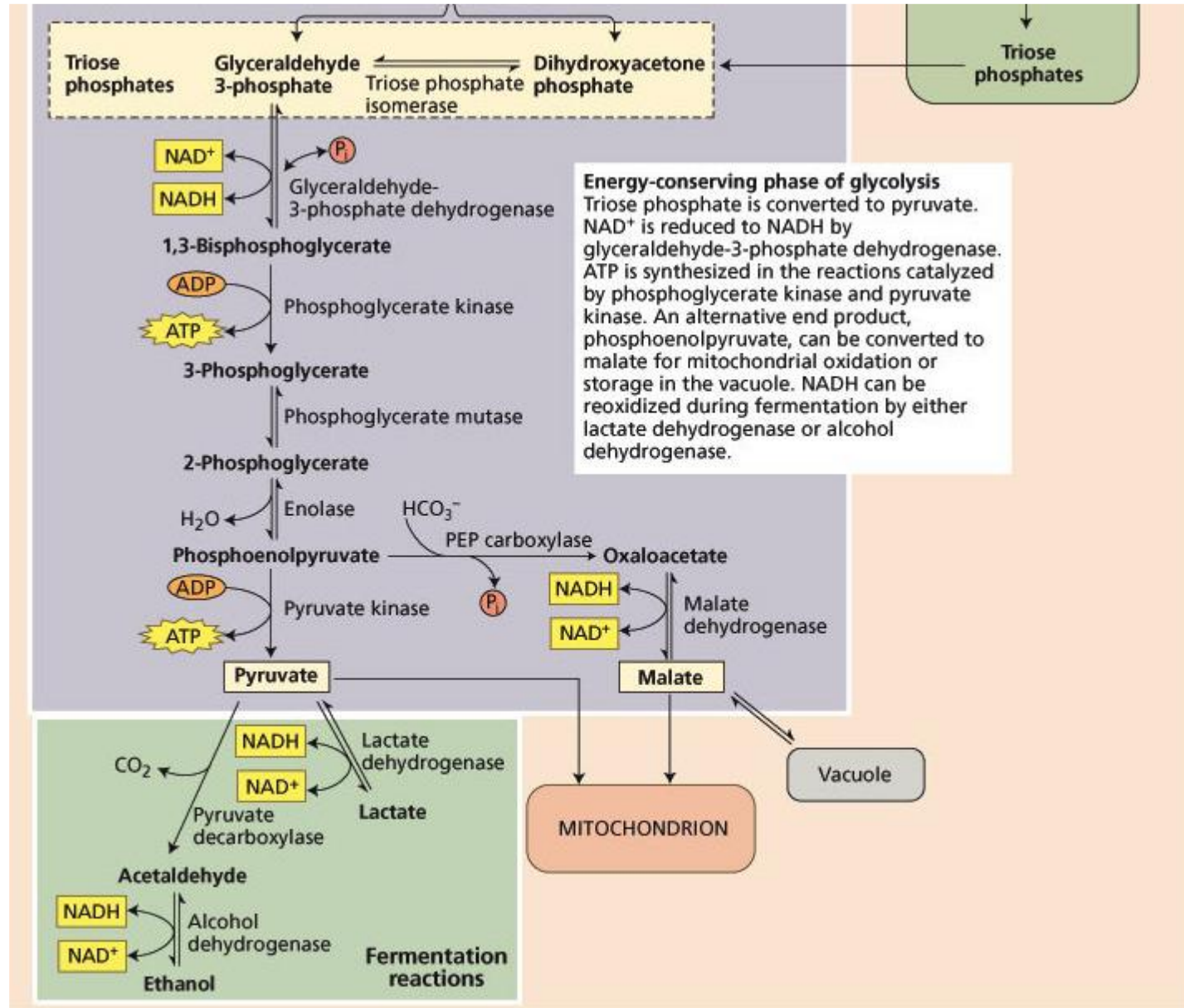


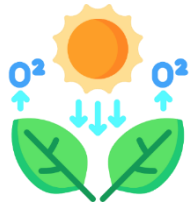
Reações da Glicólise e Fermentação





Reações da Glicólise e Fermentação





Reações anapleróticas ou de suplementação

❖ *No final da glicólise, as plantas apresentam duas vias alternativas para o metabolismo do fosfoenolpiruvato (PEP):*

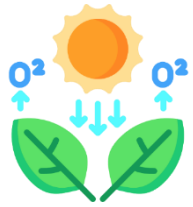


1 – PEP carboxilase; 2 – desidrogenase do malato

(malato é transportado para a mitocôndria ou armazenado no vacúolo);

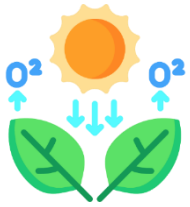


(a **fosfatase do PEP** se localiza no vacúolo e sua atividade aumenta em condições de deficiência de fósforo).



Funções da Glicólise

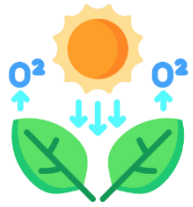
1. Converter uma sacarose em 4 moléculas de piruvato;
2. Produzir ATP (fosforilação ao nível de substrato) e NADH;
3. Produzir compostos que são precursores para a biossíntese de componentes celulares:
 - Hexose-fosfato → Parede celular;
 - Triose-fosfato → Ácidos graxos, gorduras, óleos;
 - Triose-fosfato → Serina, cisteína → proteína;
 - PEP + CO₂ → AOA → ASP → Arginina e outros aminoácidos, além de pirimidinas e alcaloides;
 - Piruvato → Alanina, etanol e lactato;
4. Produzir piruvato (presença de O₂) → Mitocôndria → Através do ciclo de Krebs e CTE produz ATP e outros compostos intermediários importantes para a biossíntese de componentes celulares.



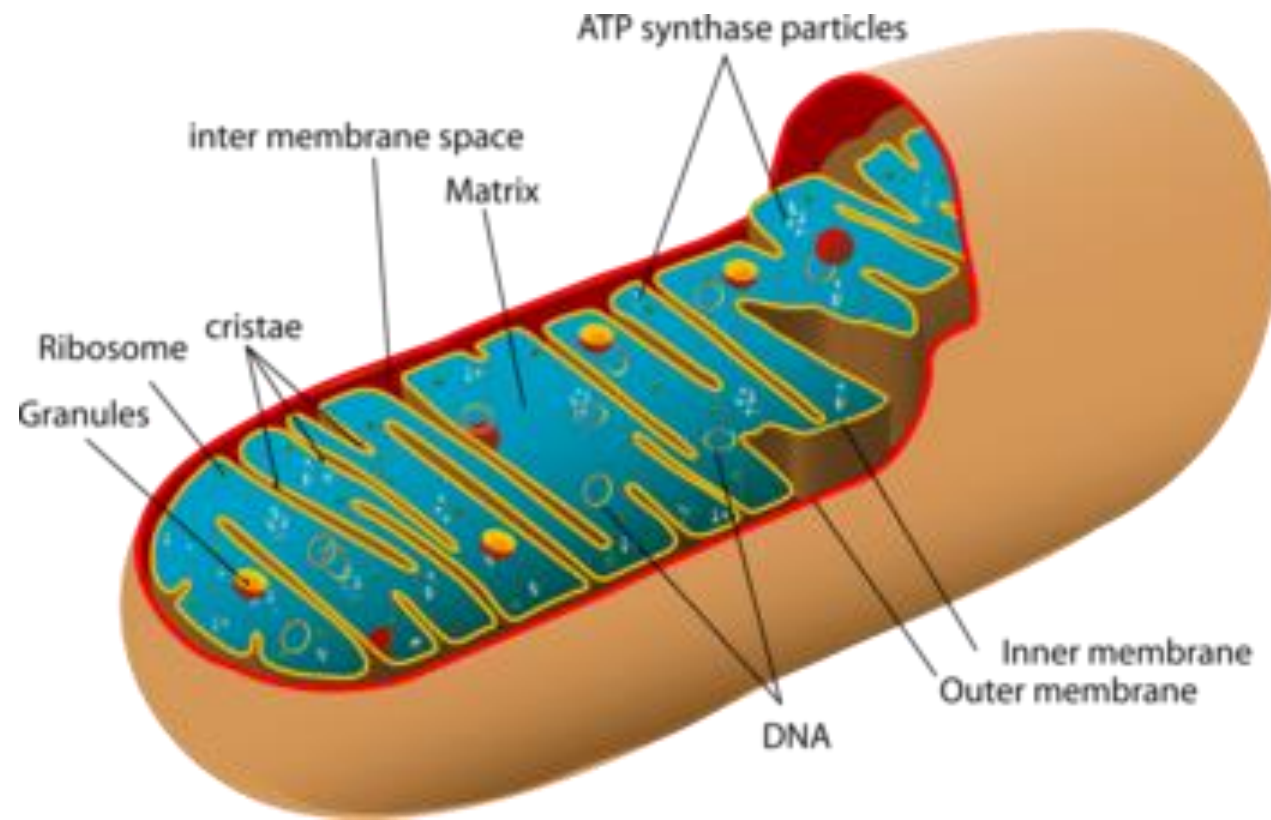
Ciclo do ácido cítrico

- ❖ • Em 1937, o inglês Hans A. Krebs propôs um ciclo de reações para explicar como o piruvato é degradado em mitocôndrias de músculo de peito de pombo.
- ❖ • Ele denominou este caminho metabólico de ciclo do ácido cítrico ou ciclo do ácido tricarboxílico. Denominado também de ciclo de Krebs.
- ❖ • No início da década de 1950 foi demonstrado que o ciclo de Krebs ocorria também em mitocôndrias vegetais.





Ciclo do ácido cítrico



CARACTERÍSTICAS

- ❖ *Herança materna*
- ❖ *Semiautônoma*
- ❖ *Amplamente compartimentada*
- ❖ *O ciclo de Krebs ocorre na matriz mitocondrial*
- ❖ *O DNA encontra-se na matriz mitocondrial*

Ação de uma enzima Málica

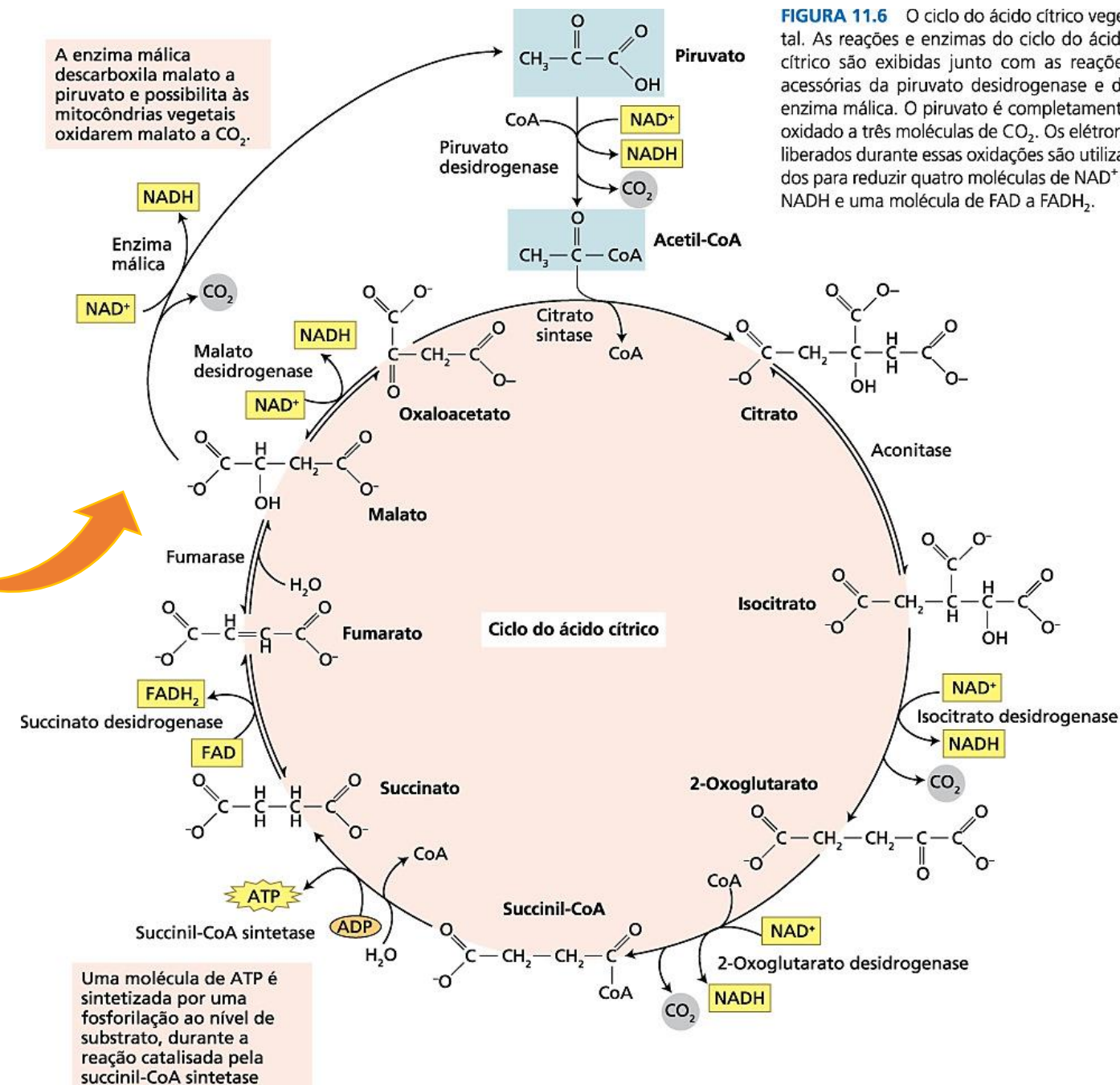
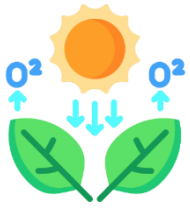
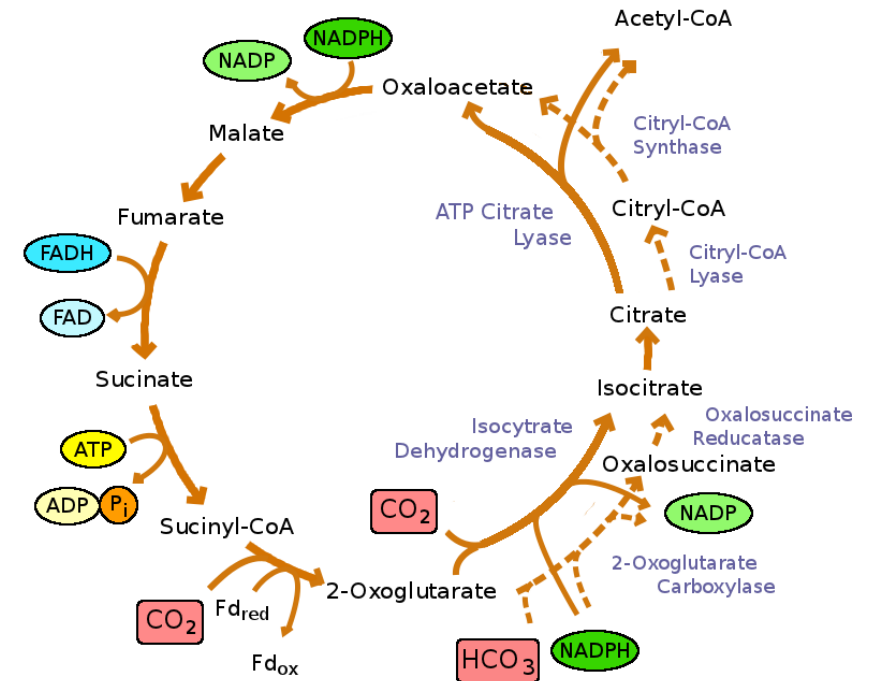


FIGURA 11.6 O ciclo do ácido cítrico vegetal. As reações e enzimas do ciclo do ácido cítrico são exibidas junto com as reações acessórias da piruvato desidrogenase e da enzima málica. O piruvato é completamente oxidado a três moléculas de CO_2 . Os elétrons liberados durante essas oxidações são utilizados para reduzir quatro moléculas de NAD^+ a NADH e uma molécula de FAD a FADH_2 .



Principais funções do ciclo de Krebs

1. Produção de doadores de elétrons (NADH e FADH₂) que serão oxidados na CTE com a produção de ATP;
2. Síntese direta de 1 ATP por volta do ciclo (fosforilação ao nível do substrato);
3. Formação de esqueletos de carbono que podem ser utilizados na síntese de aminoácidos e compostos mais complexos.



Ciclo de Krebs

É UM PROCESSO AERÓBICO

OCORRE NO CITOPLASMA

CORRESPONDE A UMA ETAPA DA RESPIRAÇÃO CELULAR

TEM 8 ETAPAS

TEM UM BALANÇO ENERGÉTICO

6 NADH
2 GTP
2 FADH₂
2 CO₂

2 MOLÉCULAS PRECURSORAS

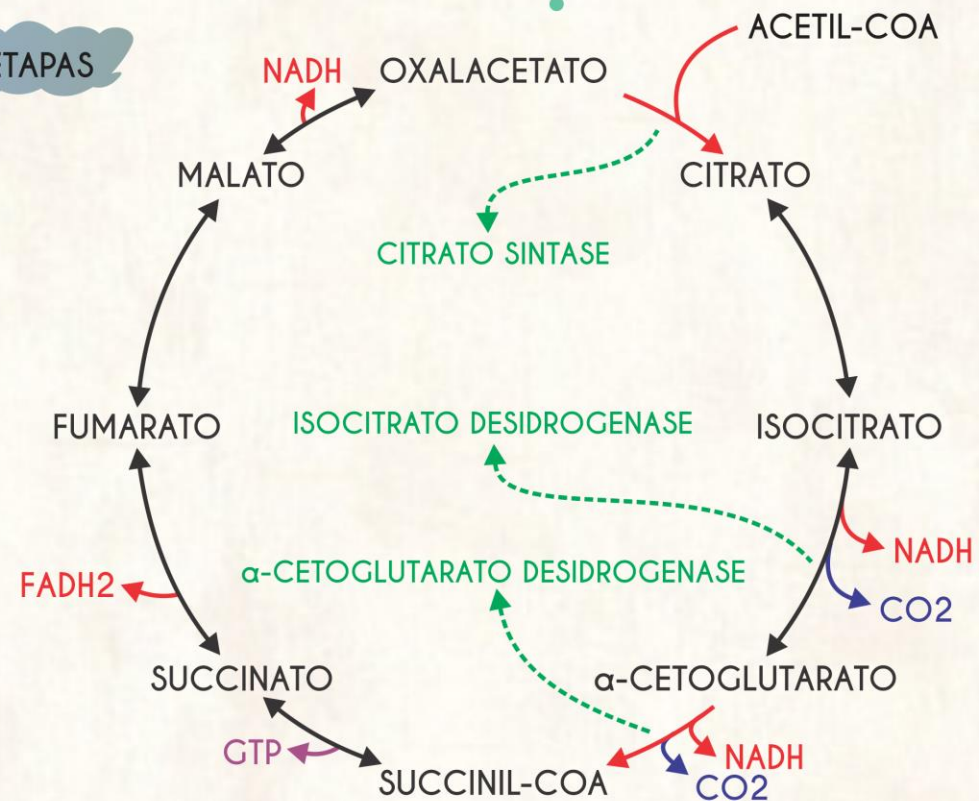
OXALACETATO

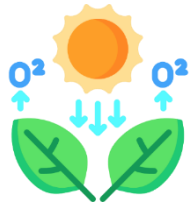
ACETIL-COA

VEIO DA OXIDAÇÃO DO PIRUVATO ATRAVÉS DA DESCARBOXILAÇÃO OXIDATIVA DO PIRUVATO

Isabela Santos Pouza
Turma XXIV A

NESSE CICLO, HÁ LIBERAÇÃO DE ENERGIA E OCORRE 2X





Fosforilação Oxidativa

- ❖ *Na glicólise e no ciclo de Krebs, a oxidação dos substratos é feita por NAD^+ ou FAD .*
- ❖ *A quantidade desses cofatores na célula é limitada e as reações da glicólise e do ciclo de Krebs cessariam se não houvesse um mecanismo de reoxidação de NADH e FADH_2 .*
- ❖ *Pode-se afirmar que em todos os organismos aeróbicos o oxigênio molecular (O_2) é o agente oxidante.*

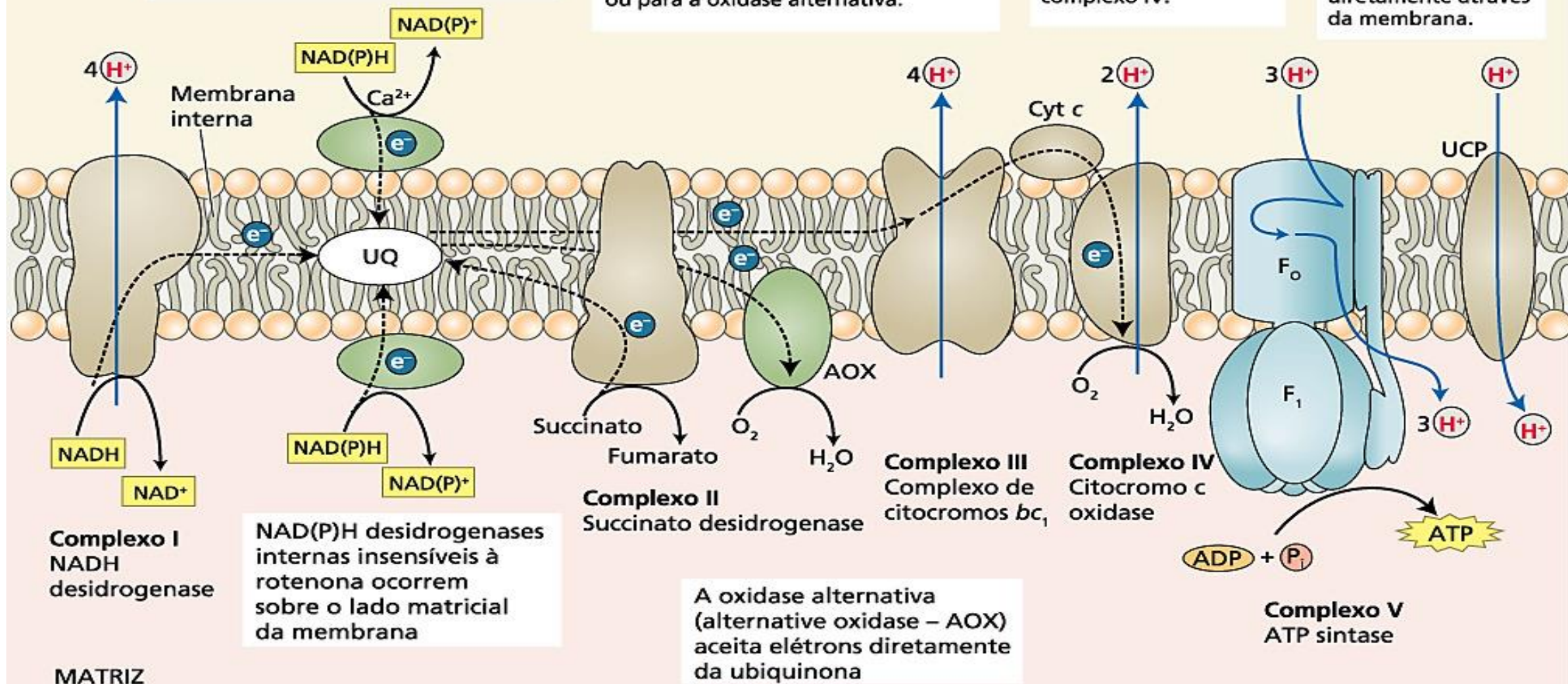
ESPAÇO INTERMEMBRANA

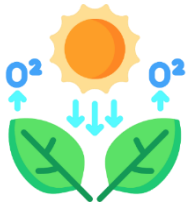
NAD(P)H desidrogenases externas (insensíveis à rotenona) podem aceitar elétrons diretamente do NADH ou NADPH produzido no citosol.

O *pool* de ubiquinona (UQ) se difunde livremente dentro da membrana interna e serve para transferir elétrons para o complexo II ou para a oxidase alternativa.

O citocromo c é uma proteína periférica que transfere elétrons do complexo III para o complexo IV.

A proteína desacopladora (uncoupling protein – UCP) transporta H^+ diretamente através da membrana.

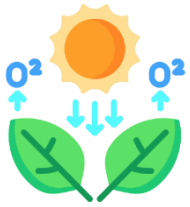




Fosforilação Oxidativa

❖ *Principal função da CTE*

- ✓ *O fluxo de elétrons para o O₂ com a formação de H₂O, proporciona a formação de ATP, que é denominada de fosforilação oxidativa. Nesta operação, se dá a reoxidação de NADH e FADH₂.*



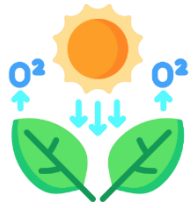
Fosforilação Oxidativa

❖ Inibidores da CTE

- ✓ Complexo I > Rotenona, piericidina
- ✓ Complexo II > Malonato
- ✓ Complexo III > Antimicina
- ✓ Complexo IV > Cianeto, azida e CO
- ✓ Complexo V > Dinitrofenol, NH₄, detergentes

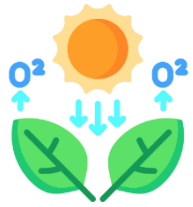


Câmaras de gás de Auschwitz



Fermentação em Plantas

- ❖ *Embora as plantas superiores sejam organismos aeróbicos obrigatórios, seus tecidos ou órgãos podem estar sujeitos a condições anaeróbicas.*
- ❖ *Situações típicas ocorrem:*
 1. *Quando suas raízes estão em condições de solos alagados;*
 2. *No início do processo de germinação de sementes grandes;*
 3. *No rebrotamento de tubérculos;*
 4. *Sob condições de estresses hídrico e salino.*

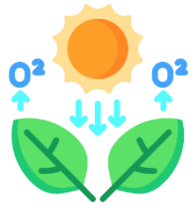


Fermentação em Plantas

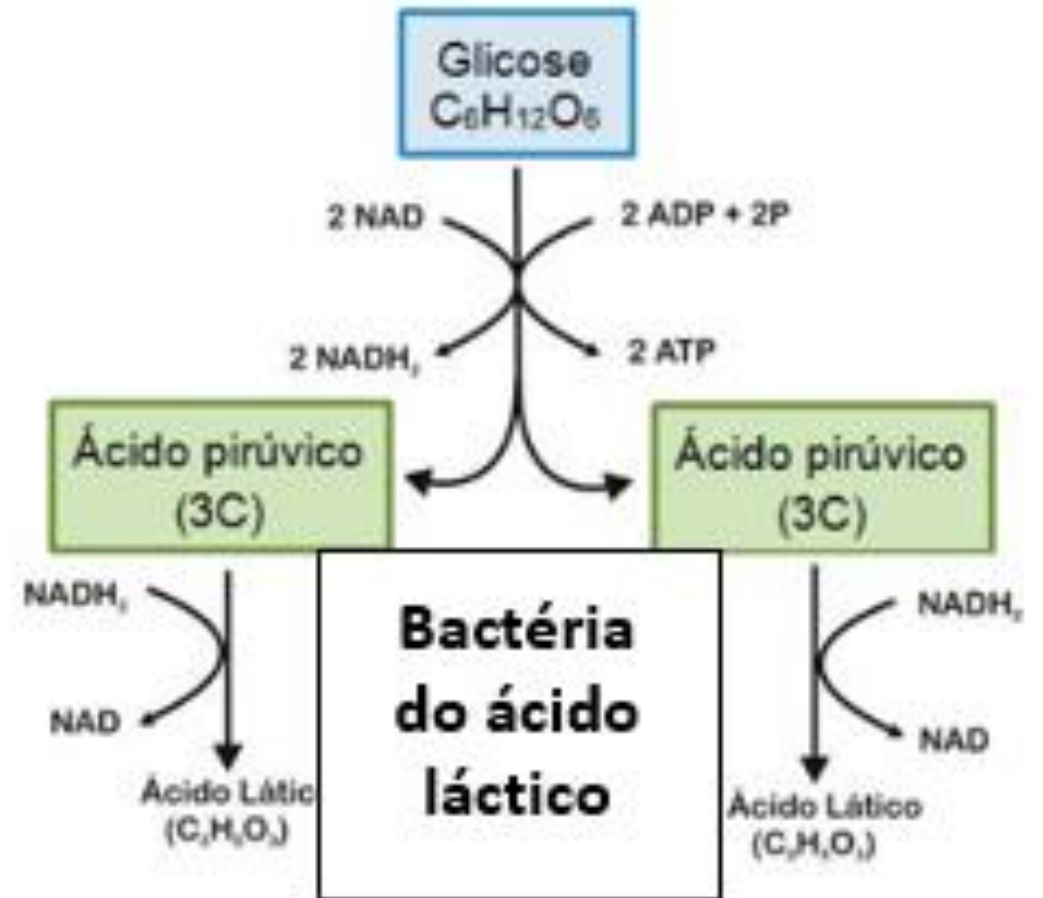
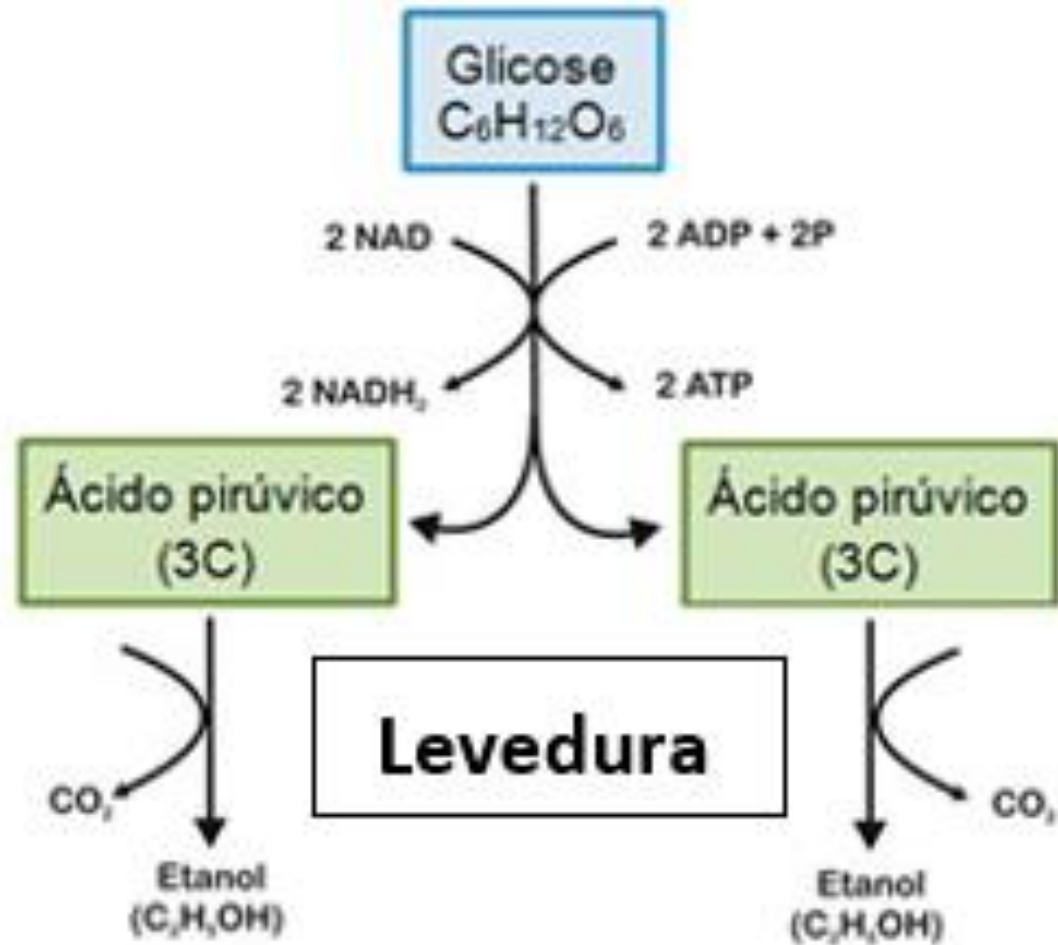
❖ Importância do O₂

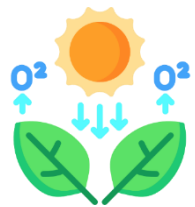
- ✓ *Alagamento > Impede as raízes de adquirirem oxigênio*
- ✓ *Câimbras > Falta de oxigênio no tecido muscular*
- ✓ *Condição fisiologicamente perigosa:
Organismo não gera energia!*





Metabolismo Fermentativo





Estratégias de Superação à Ausência de Oxigênio

✓ *Aerênquima*

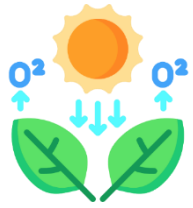


✓ *Lenticelas*

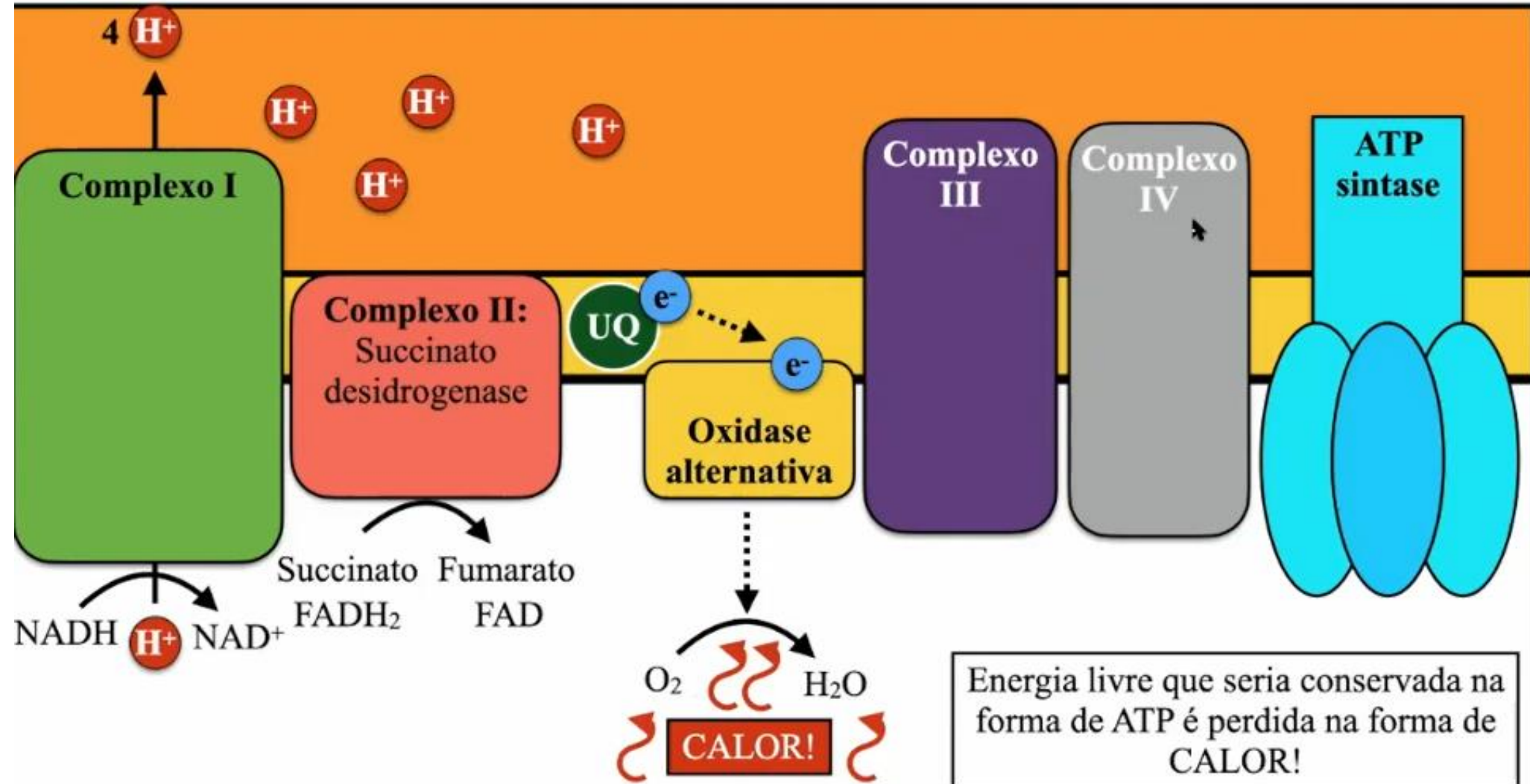


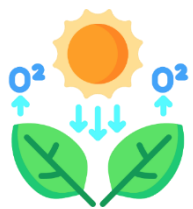
✓ *Pneumatóforos*





Geração de Calor na Mitocôndria

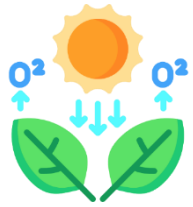




Balanço Energético da Respiração

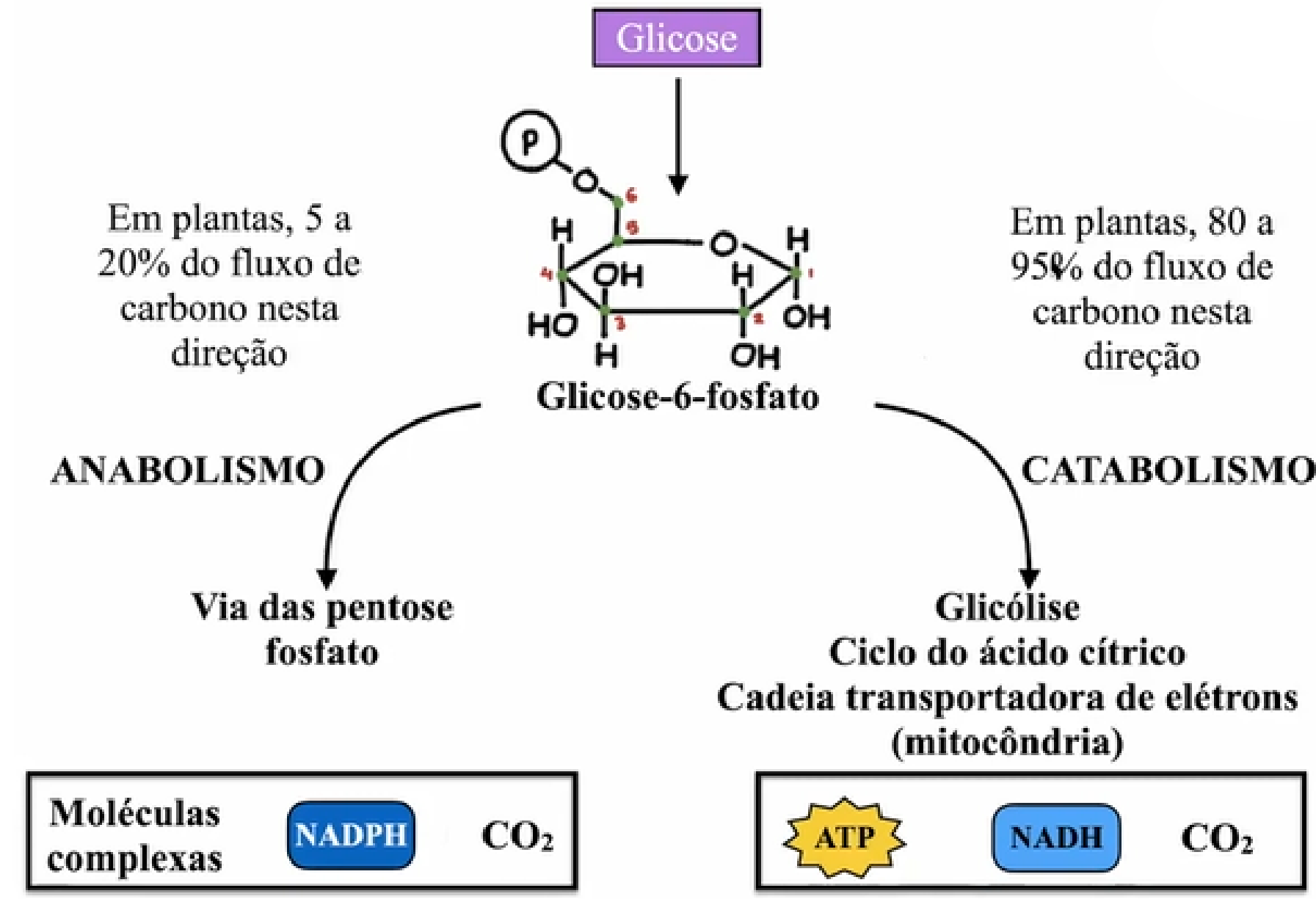
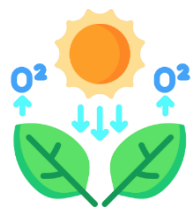
Produção máxima de ATP citosólico a partir da oxidação completa da Sacarose a CO₂ por via da glicólise, ciclo do ácido cítrico e CTE.

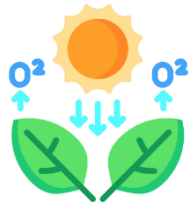
<i>Reação parcial</i>	<i>ATP por Sacarose</i>	
Glicólise		
4 Fosforilações a nível de substrato		4
4 NADH	4X1,5	6
Matriz mitocondrial		
4 NADH	4X2,5	10
Ciclo do ácido cítrico		
4 Fosforilações a nível de substrato		4
4 FADH2	4X1,5	6
12 NADH	12X2,5	30
TOTAL		60



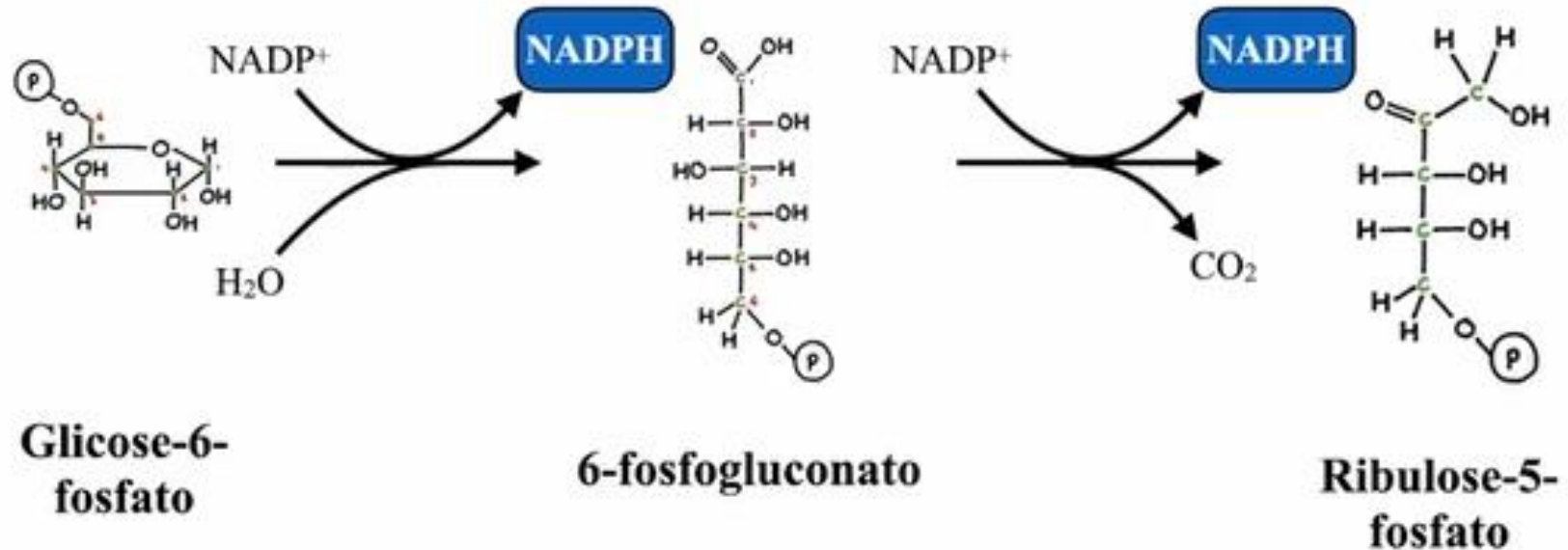
Via das pentose fosfato

- ❖ *Durante as décadas de 1930 – 1950, vários bioquímicos (Horecker & Racker, Dichens, Lipman e Warburg) demonstraram a existência de uma outra via de oxidação da glicose em levedura e em tecidos animais.*
- ❖ *Após 1950, os fisiologistas Gibbs e Axelrod & Beevers demonstraram que as plantas superiores também possuíam esta via oxidativa, que é conhecida como caminho oxidativo da pentose fosfato (COPF), caminho da hexose monofosfato ou caminho do ácido fosfogluônico.*



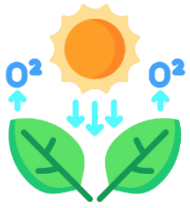


Via das pentose fosfato



Somente na fase oxidativa veremos a geração de moléculas de NADPH!

As duas reações da fase oxidativa são IRREVERSÍVEIS!



Via das pentose fosfato

1. Via alternativa de oxidação de glicose;

2. Produzir NADPH:

- *Produção ATP através da CTE;*
- *Biossíntese de ácidos graxos e isoprenoides;*
- *Redução da glicose a sorbitol;*
- *Outras reações biossintéticas.*

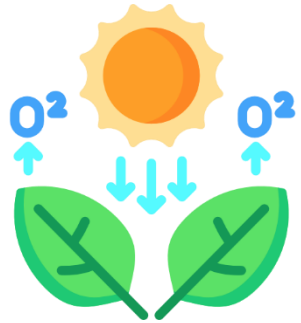
3. Produzir eritrose-4-fosfato:

- *Biossíntese de aminoácidos aromáticos e compostos fenólicos (antocianinas, lignina, flavonóides, fitoalexinas) e auxinas.*

4. Produzir ribose-5-fosfato:

- *Produção de ribose: DNA/RNA*
- *Produção de nucleotídeos: NADH, NADPH, FAD, FMN;*
- *Produção de ATP*





Fisiologia de Plantas Cultivadas

Obrigada!