

Fisiologia de Plantas
de Interesse
Agronômico & suas
Moléculas

Organização

Profa. Eng. Agr. Patricia Chaves de Oliveira

Universidade Federal do Oeste do Pará






Dra. Aldenize Ruela Xavier- Reitora UFOPA

Dr. Thiago Almeida Vieira- Diretor Instituto de
Biodiversidade e Florestas

Dra. Maria Lita Padinha- Coordenadora Curso
Bacharelado em Agronomia

Dra. Patricia Chaves de Oliveira- Prof. Disciplina de
Fisiologia Vegetal





Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/Ufopa

F537 Fisiologia de plantas de interesse agrônomo & suas moléculas [livro eletrônico]./
Patrícia Chaves de Oliveira (org.). – Santarém, Pará: Ufopa, 2025.
135 p.: il.

Outros autores: Arthur Spínola, Carlos Jennings, Denise Vieira Farias, Edyandra Brito Batista, Evelyn Da Silva Moura, Geovani Lima Almeida, Hellem Marinês Andrade Duarte, Jheine Cristiane Sima, Jullyane Emanuelle de Souza Lopes, Laenna Morgana Cunha da Silva, Luana Oliveira Guimarães, Lucas Batista Siqueira, Michele Braga Ferreira do Rosário, Manoel Gleizer C. de Souza, Paulo Áquila Alvarenga Araujo, Sarah Conceição C. Carvalho, Vinicius dos Santos Fernandes.

Bibliografias.

Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/>
ISBN: 978-85-65791-83-0 (E-book)

Esta obra é produto da disciplina de Fisiologia vegetal do Curso de Agronomia-IBEF-Ufopa, seus autores são alunos do curso de Agronomia.

1. Fisiologia vegetal. 2. Fotossíntese em plantas. 3. Processo respiratório-plantas. I. Oliveira, Patrícia Chaves de. II. Spínola, Arthur. III. Jennings, Carlos. IV. Farias, Denise Vieira. V. Batista, Edyandra Brito. VI. Moura, Evelyn Da Silva. VII. Almeida, Geovani Lima. VIII. Duarte, Hellem Marinês Andrade. IX. Sima, Jheine Cristiane. X. Lopes, Jullyane Emanuelle de Souza. XI. Silva, Laenna Morgana Cunha da. XII. Guimarães, Luana Oliveira. XIII. Siqueira, Lucas Batista. XIV. Rosário, Michele Braga Ferreira do. XV. Souza, Manoel Gleizer C. de. XVI. Araujo, Paulo Áquila Alvarenga. XVII. Carvalho, Sarah Conceição C. XVIII. Fernandes, Vinicius dos Santos. XIX. Título.

CDD: 23 ed. 571.20981

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440



PREFÁCIO

A fisiologia vegetal é um dos campos mais interessantes da Botânica. Interessada em investigar o funcionamento das plantas a nível metabólico e fisiológico em função de suas interações com os eco e agroecossistemas, é complexa e cativante. Neste contexto e no bojo da disciplina de Fisiologia Vegetal do Curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), os discentes elaboraram esta obra, a qual está distribuída em quatro (4) capítulos e trata de temas como o processo de respiração, o estresse hídrico e seus ajustamentos osmóticos, a fotossíntese de plantas C3 e de plantas C4. Em todos os capítulos, as moléculas envolvidas nas reações bioquímicas dos processos fisiológicos são mostradas em suas estruturas bi e tridimensionais, com o intuito de ressaltar a indissociabilidade entre química, bioquímica e fisiologia vegetal. Esta obra representa ainda formas de aprendizado alternativos, por meio de produção de obras técnico-científicas como esta, onde os discentes tornam se ativos e sujeitos em seus próprios processos de ensino-aprendizado.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- Fisiologia & Química dos Processos Respiratórios em Plantas. Edyandra Brito Batista, Jullyane Emanuelle de Souza Lopes, Laenna Morgana Cunha da Silva, Vinicius dos Santos Fernandes

CAPÍTULO 2- Fisiologia & Química dos Processos de Ajustamento Osmótico em Plantas. Hellem Marinês Andrade Duarte; Jheine Cristiane Sima; Michele Braga Ferreira do Rosário; Manoel Gleizer C. de Souza

CAPÍTULO 3- Fisiologia & Química da Fotossíntese em Plantas C3. Elane Viegas Sousa, Ezio Andrei Laurindo Oliveira, Geovani Lima Almeida, Luana Oliveira Guimarães, Lucas Batista Siqueira, Sarah Conceição C. Carvalho

CAPÍTULO 4- Fisiologia & Química da Fotossíntese em Plantas C4. Arthur Spinola, Carlos Jennings, Denise Vieira Farias, Evelyn Da Silva Moura, Paulo Aquila Alvarenga Araujo

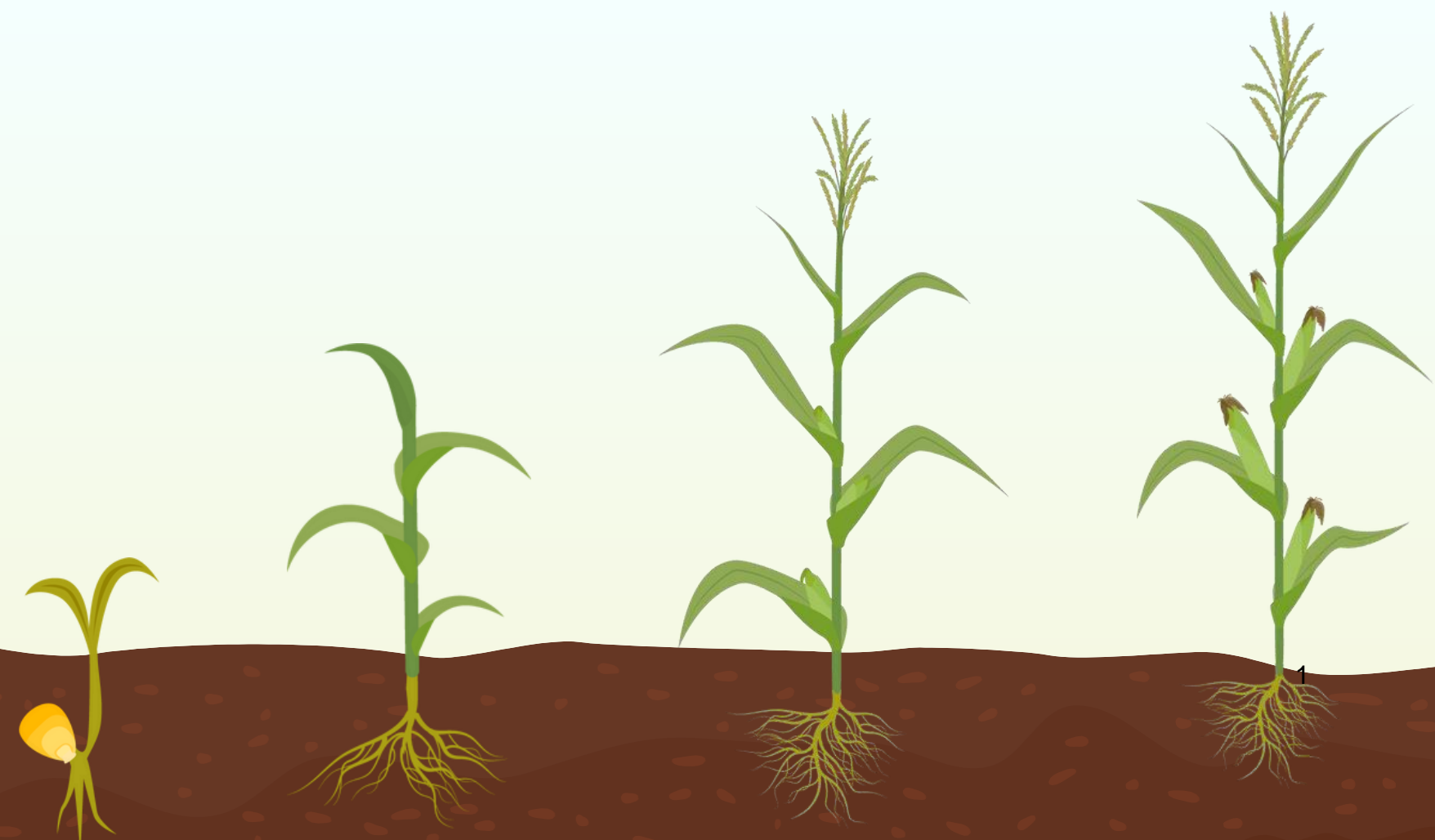


CAPÍTULO 1



A QUÍMICA DA RESPIRAÇÃO PARA PLANTAS DE INTERESSE AGRONÔMICO

Discente: Edyandra Brito Batista
Jullyane Emanuelle de Souza Lopes
Laenna Morgana Cunha da Silva
Vinicius dos Santos Fernandes

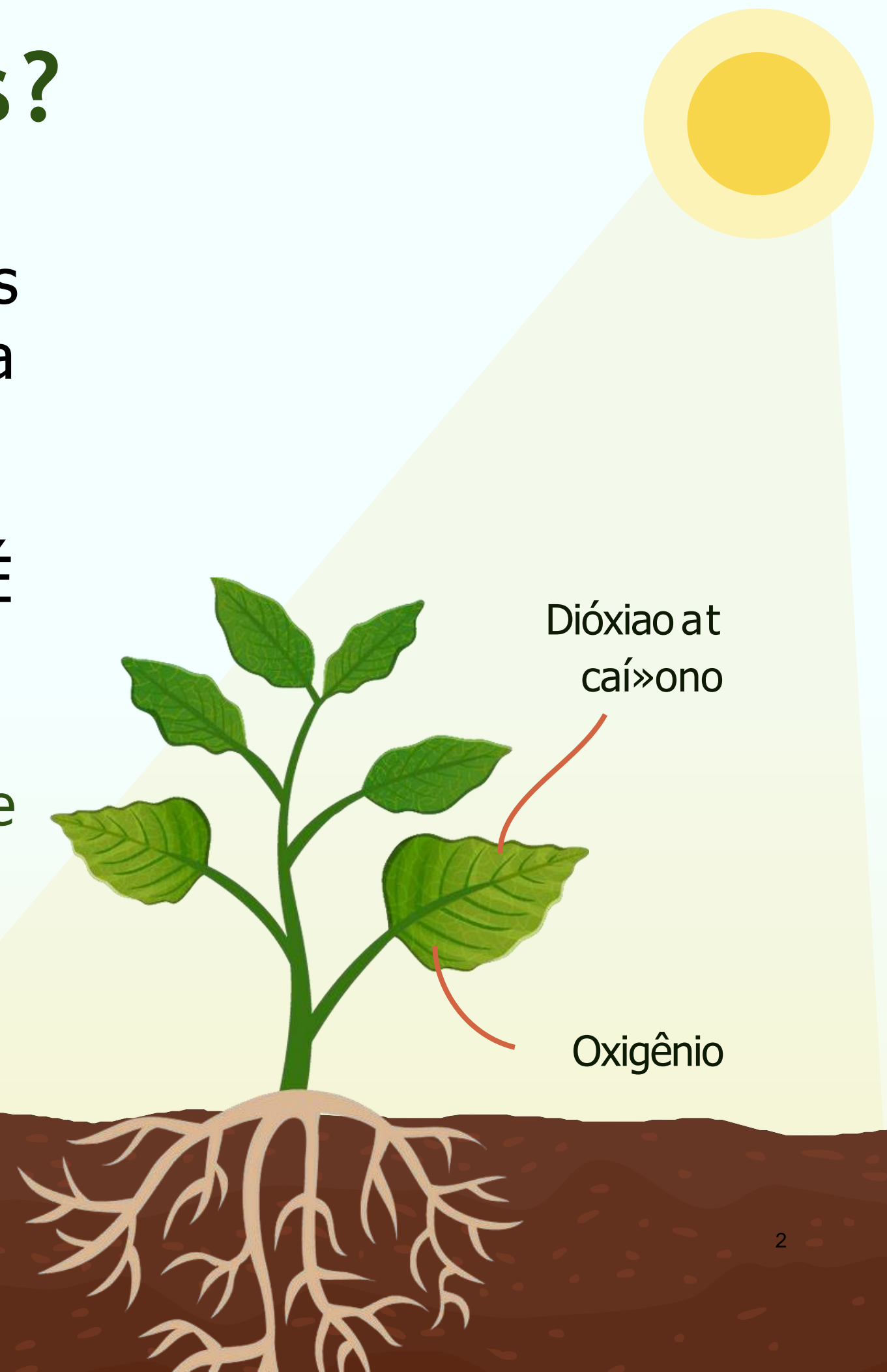


O que é a respiração das plantas?

6 íts»iíacÉo ctlulaí É uÉ conjunio at ítacõts »ioquíÉicas
qut ocoíítÉ nas cÉlulas aas »lanias »aía li»tíaí tntígia
aíÉaztnaaa na glicost.

O 6LP (iíifosfaio at aatnosina) »íoaúziao ntsst »íoctssso É
uuilizaao t É aivtísas aivviaaats Étia»ólicas.

EÉ »lanias at initítsst agiónôÉico, coÉo soa→, Éilko e
→iíioz, a íts»iíacÉo ctlulaí gaíanit o cítsciÉtnio sauaÉvtl t
a »íoaucÉo at »ioÉassa.



IMPORTÂNCIA DA RESPIRAÇÃO CELULAR PARA AS PLANTAS

Impactar a Produção de Culturas

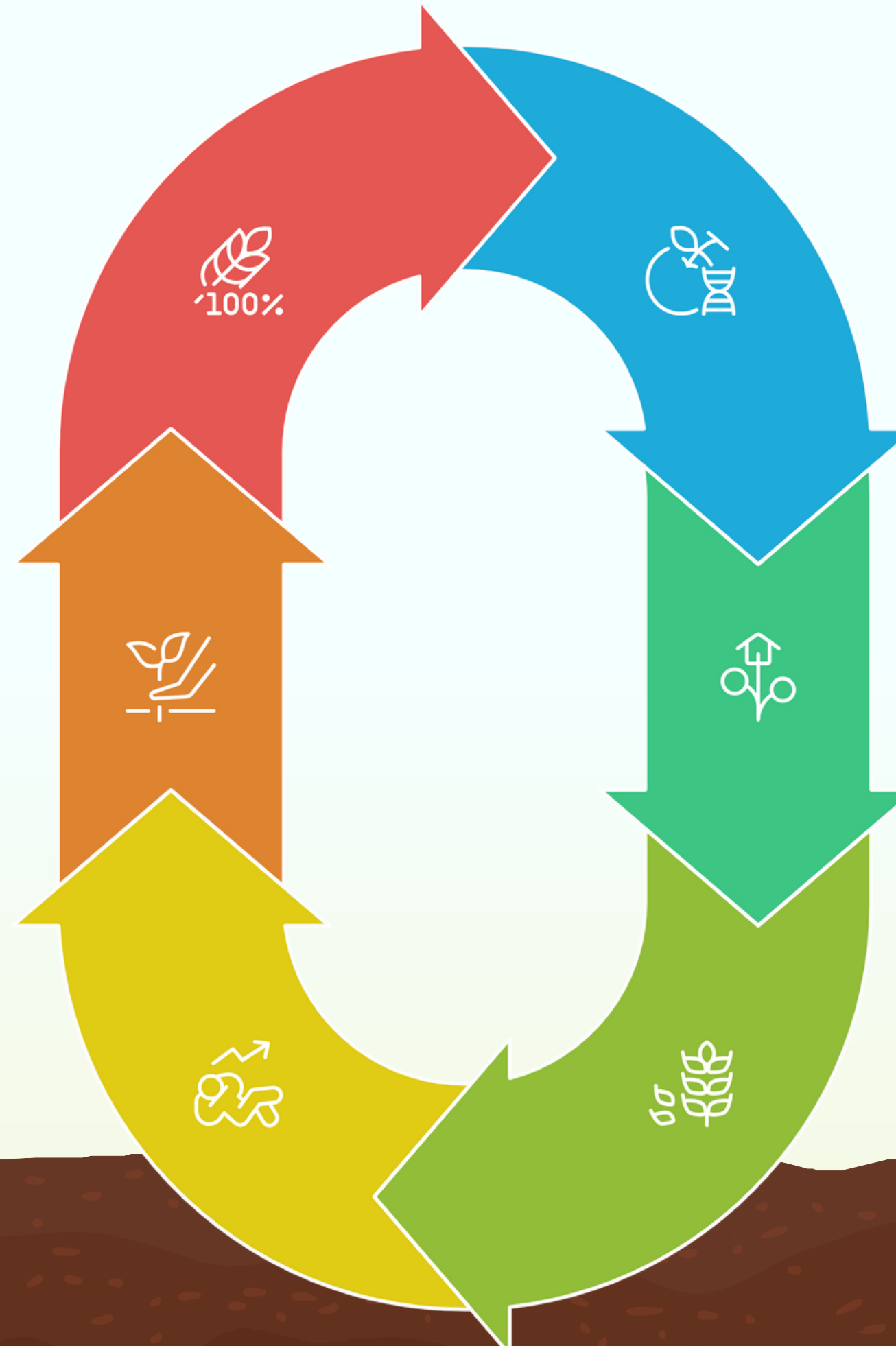
A eficiência respiratória afeta os rendimentos das culturas

Manter a Fotossíntese

A respiração apoia a continuidade da fotossíntese

Adaptar ao Estresse

A respiração ajuda as plantas a se adaptarem ao estresse ambiental



Produzir ATP

A respiração celular gera ATP para o crescimento das plantas

Desenvolver Raízes

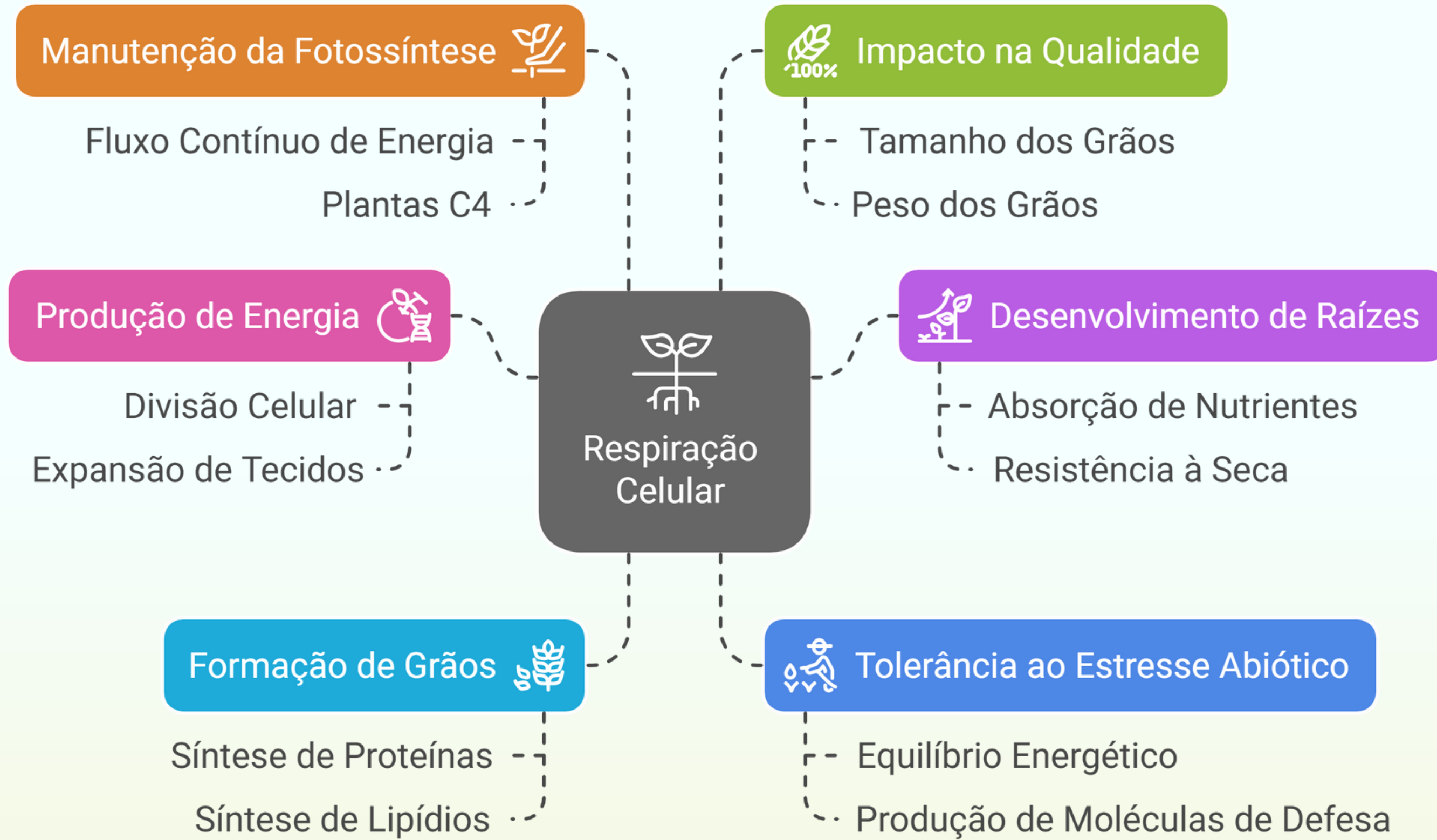
A energia apoia o desenvolvimento do sistema radicular

Formar Grãos

A energia é usada na formação e enchimento de grãos



AS FUNÇÕES ESPECÍFICAS DA RESPIRAÇÃO EM CADA PARTE DA PLANTA



PROCESSOS ENVOLVIDOS NA RESPIRAÇÃO



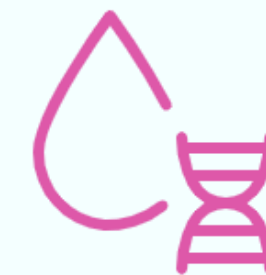
Glicólise

A glicose é quebrada em piruvato no citoplasma



Ciclo de Krebs

O piruvato é processado na matriz mitocondrial para gerar transportadores de elétrons



Fosforilação Oxidativa

Os transportadores de elétrons geram ATP na membrana mitocondrial interna



Etapas da respiração celular

1ª Etapa: Glicólise (Citosol → SÉ →)

- Quantidade de glicose é duas moléculas de gliceraldeído.
- Produção líquida de 2 ATP e gliceraldeído-3-P.

2ª Etapa: Ciclo do ácido Cítrico (Mitocôndria →)

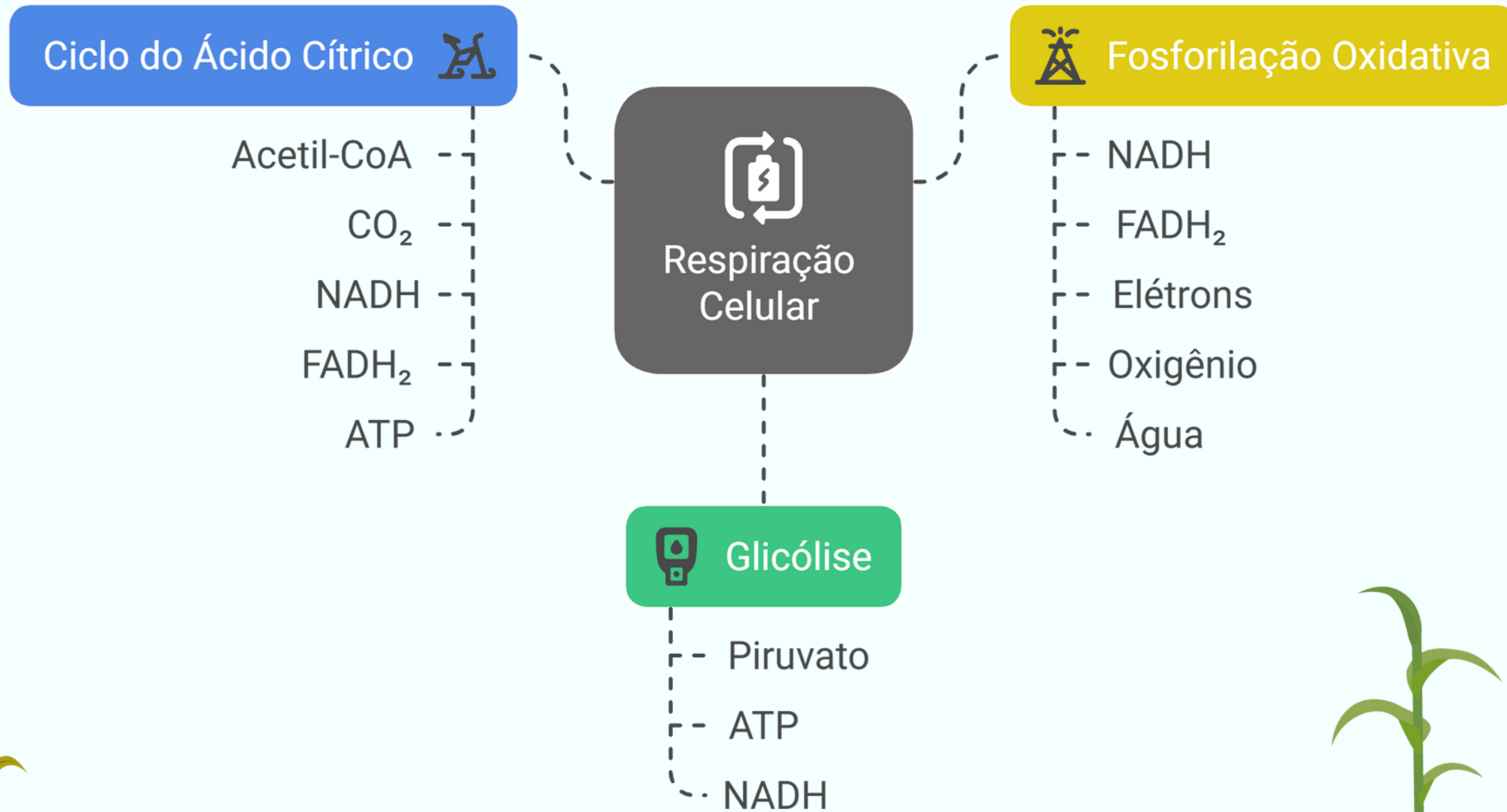
- O gliceraldeído é convertido em acetil-CoA.
- O ciclo gera CO₂, NADH, FADH₂, e ATP.

3ª Etapa: Fosforilação oxidativa (Mitocôndria →)

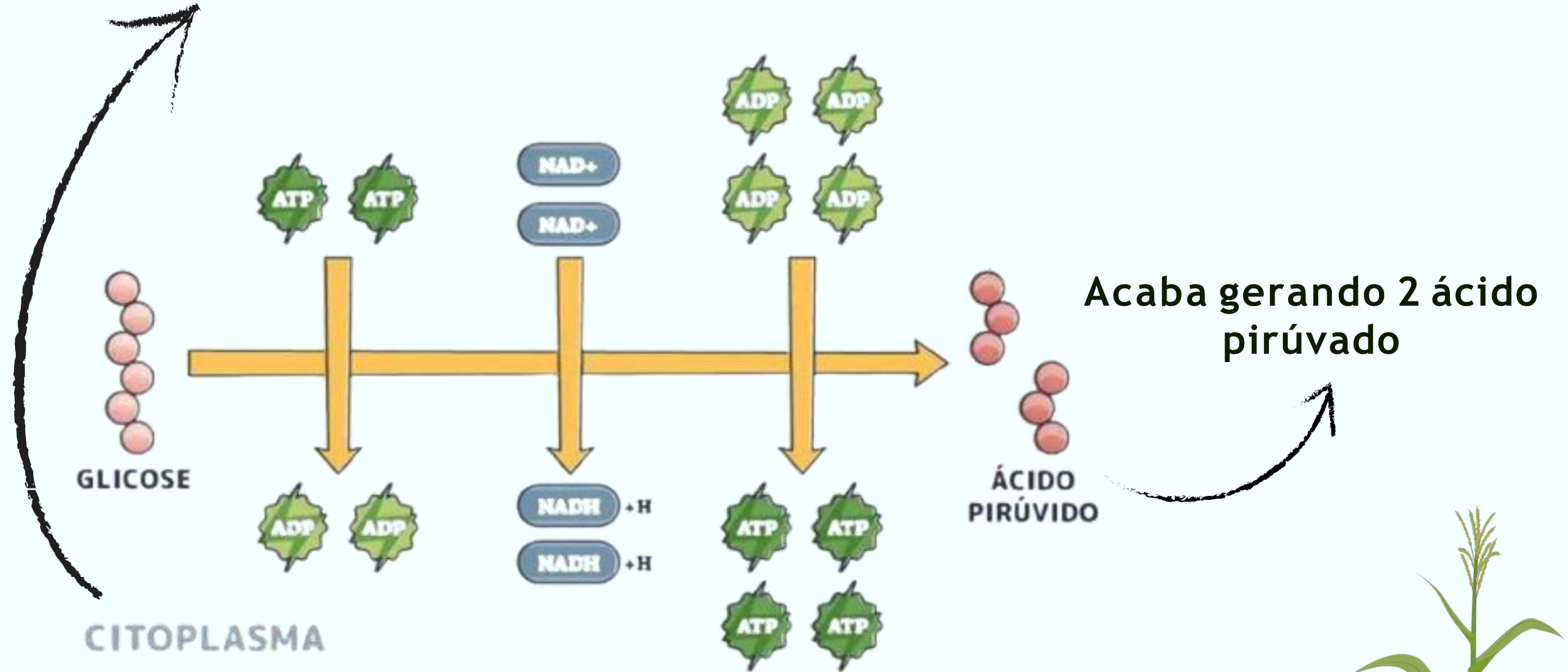
- NADH e FADH₂, íons prótons e elétrons são usados para gerar ATP.
- Produção de água a partir de 6 O₂ → 6 H₂O.
- O oxigênio atua como aceptor final de elétrons, formando água.



Moléculas envolvidas na respiração celular

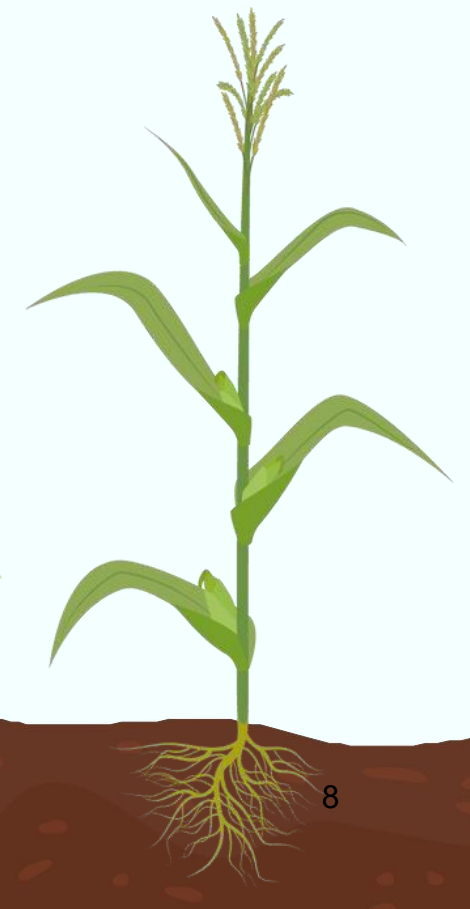


Glicólise



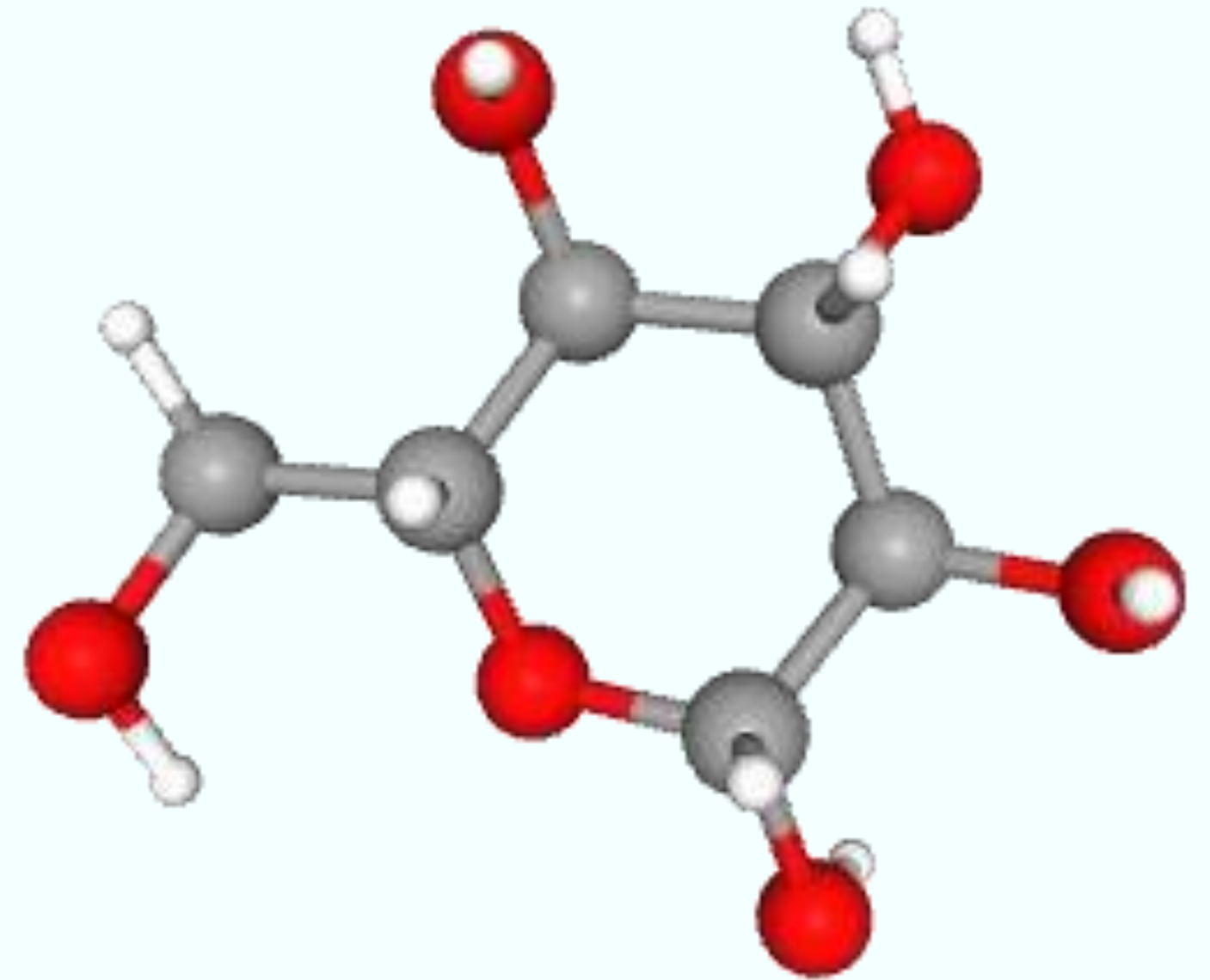
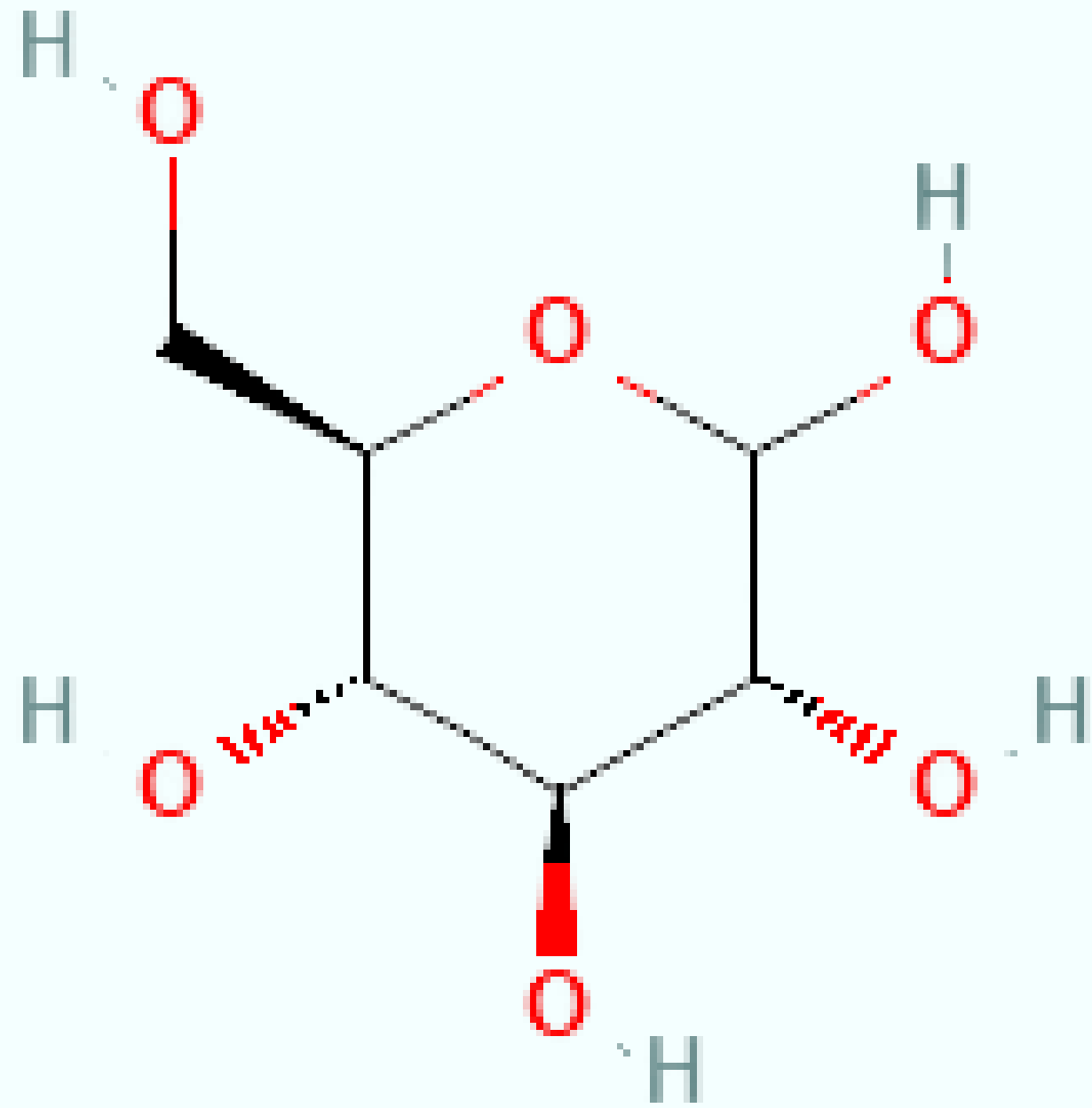
Acaba gerando 2 ácido pirúvado

Inicia a quebra da glicose para fornecer energia



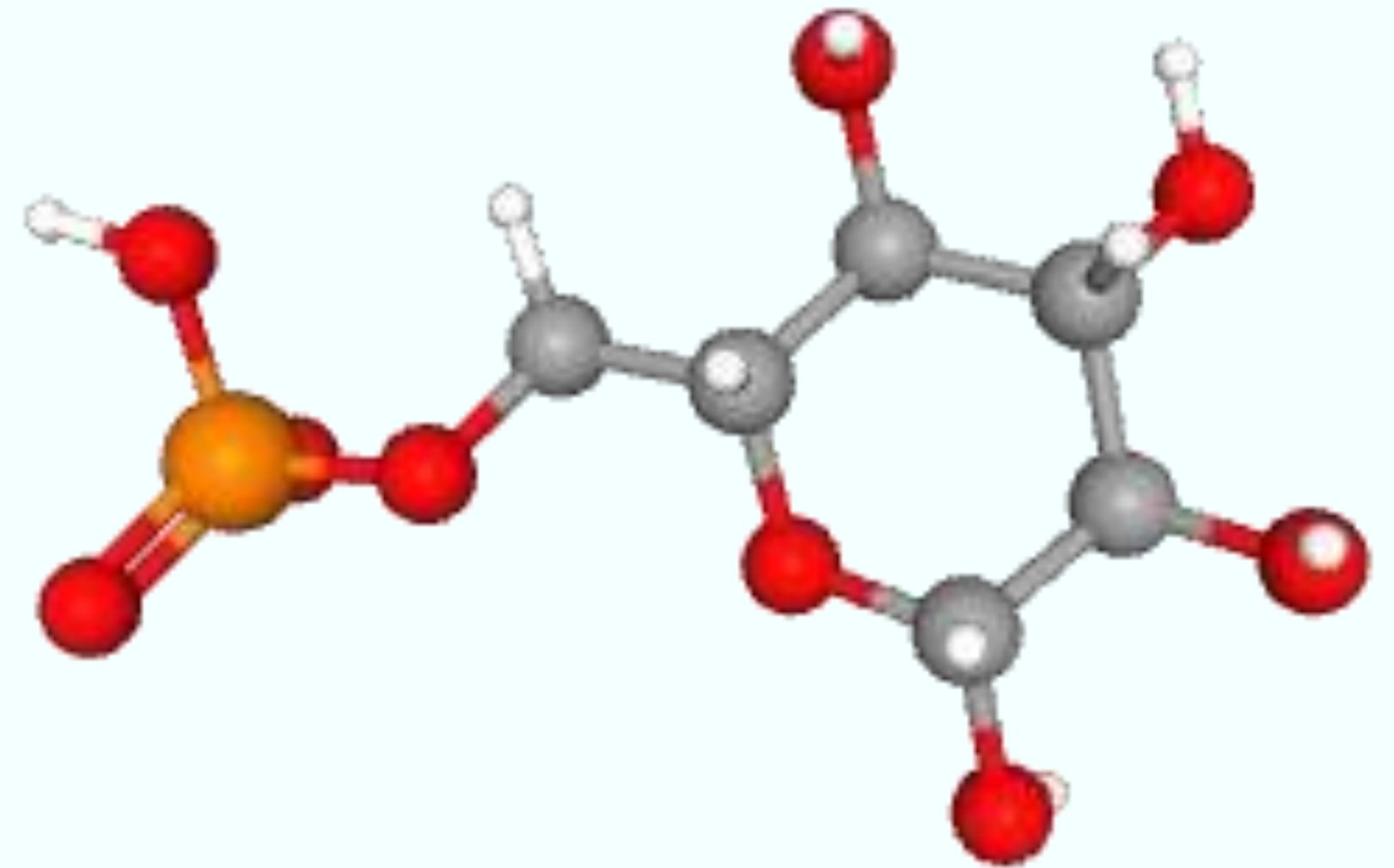
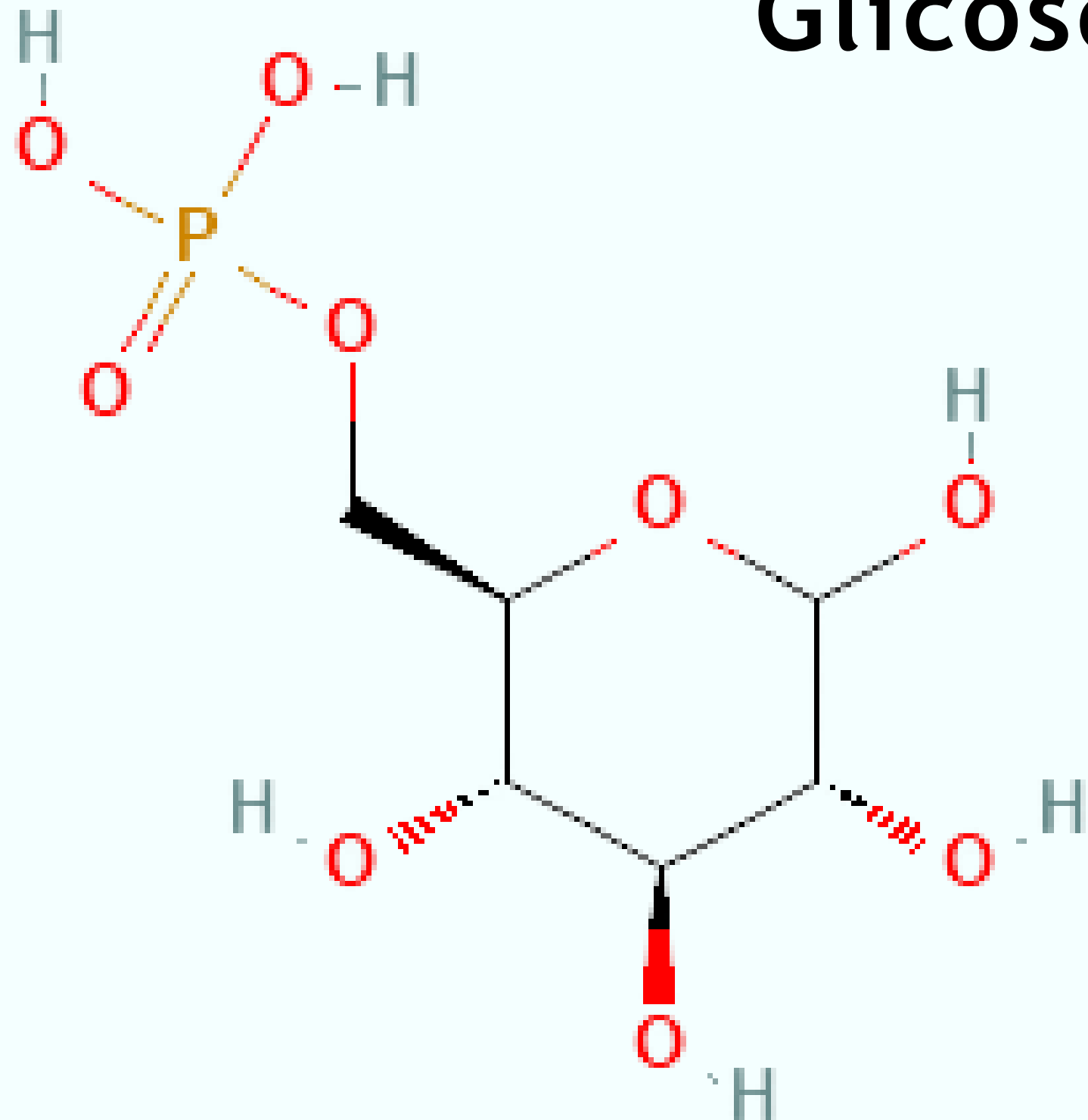
Moléculas da Glicólise

Glicose



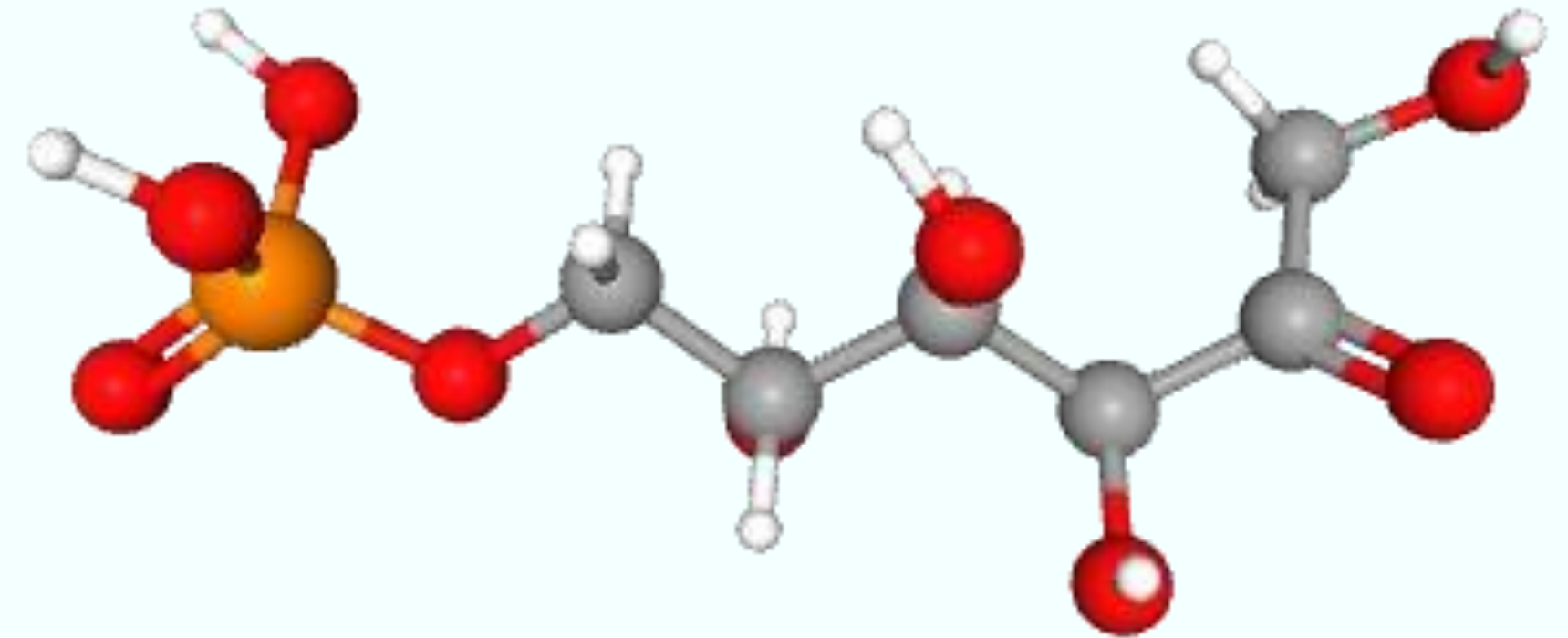
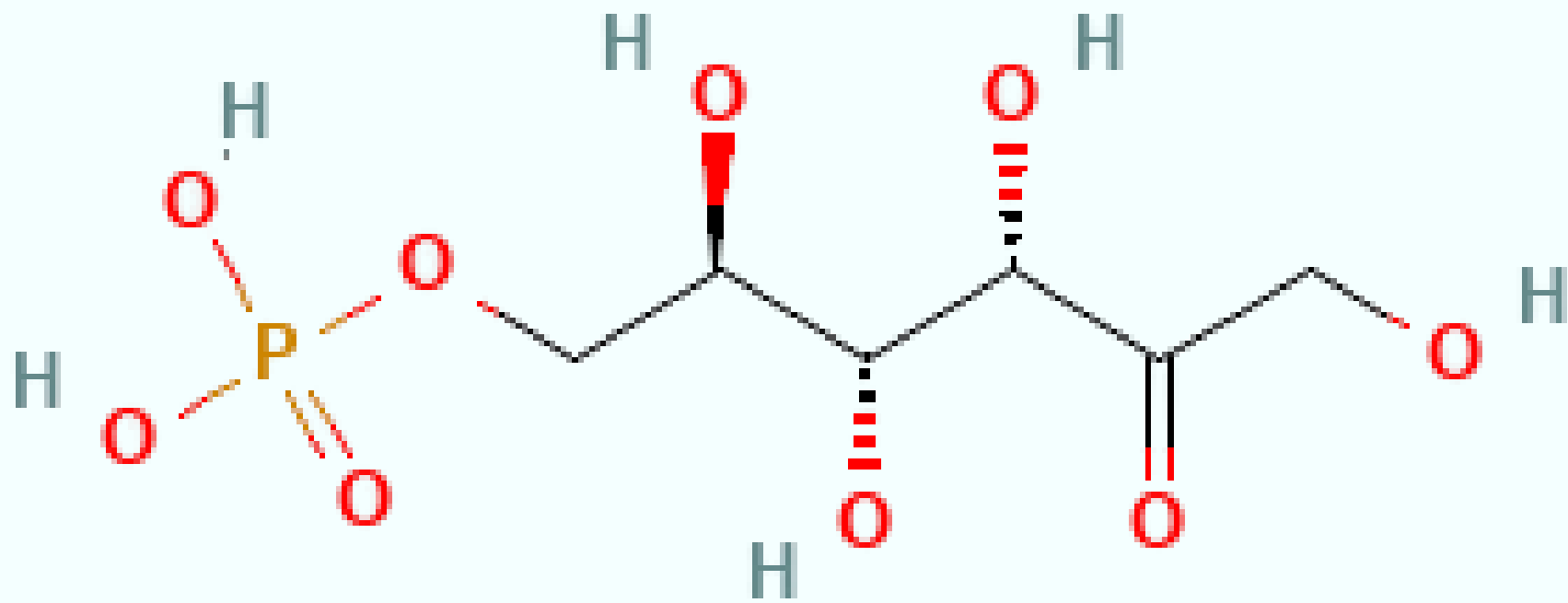
- Fórmula Molecular: $C_6H_{12}O_6$
- Peso Molecular: 180.16 g/mol

Glicose-6-fosfato



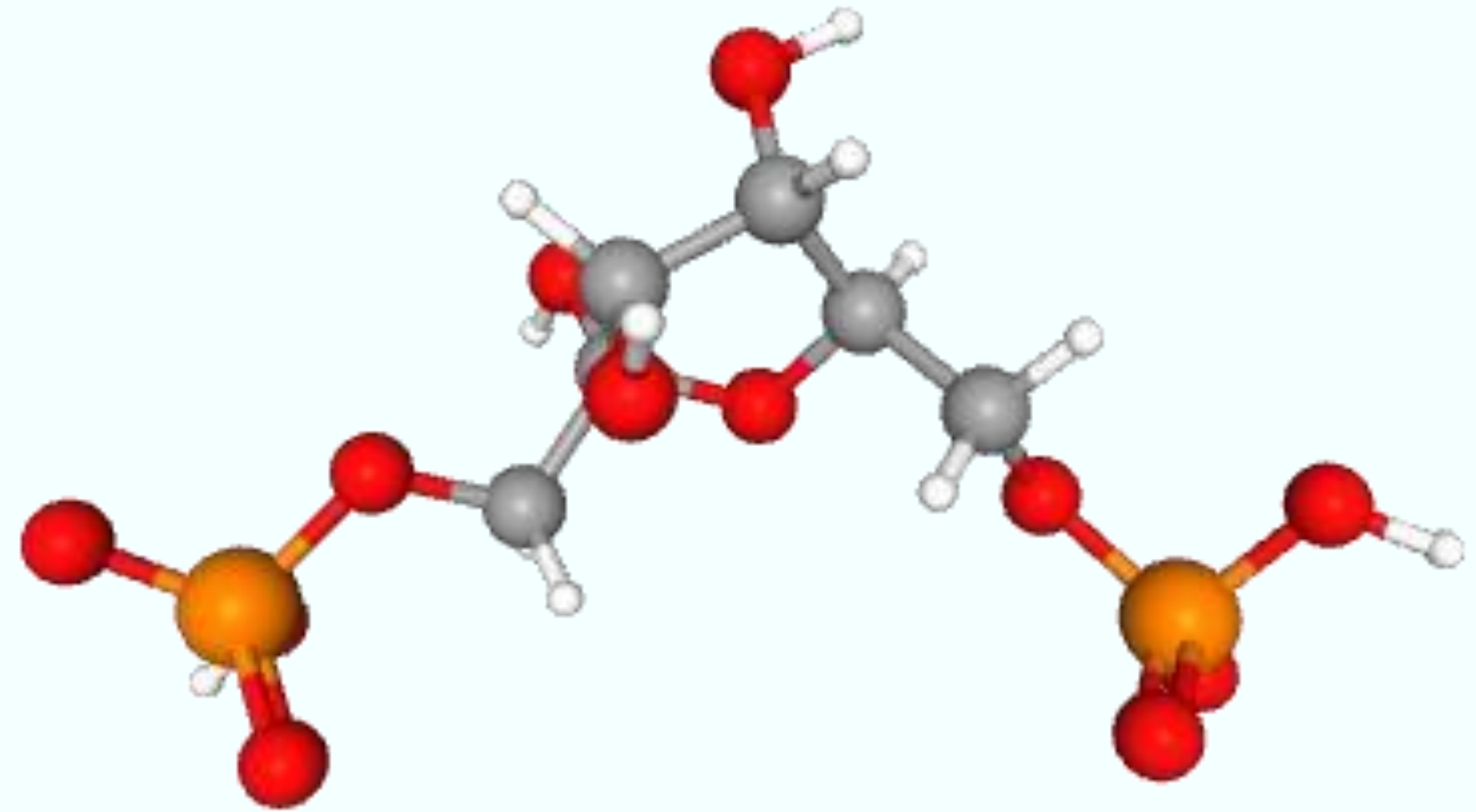
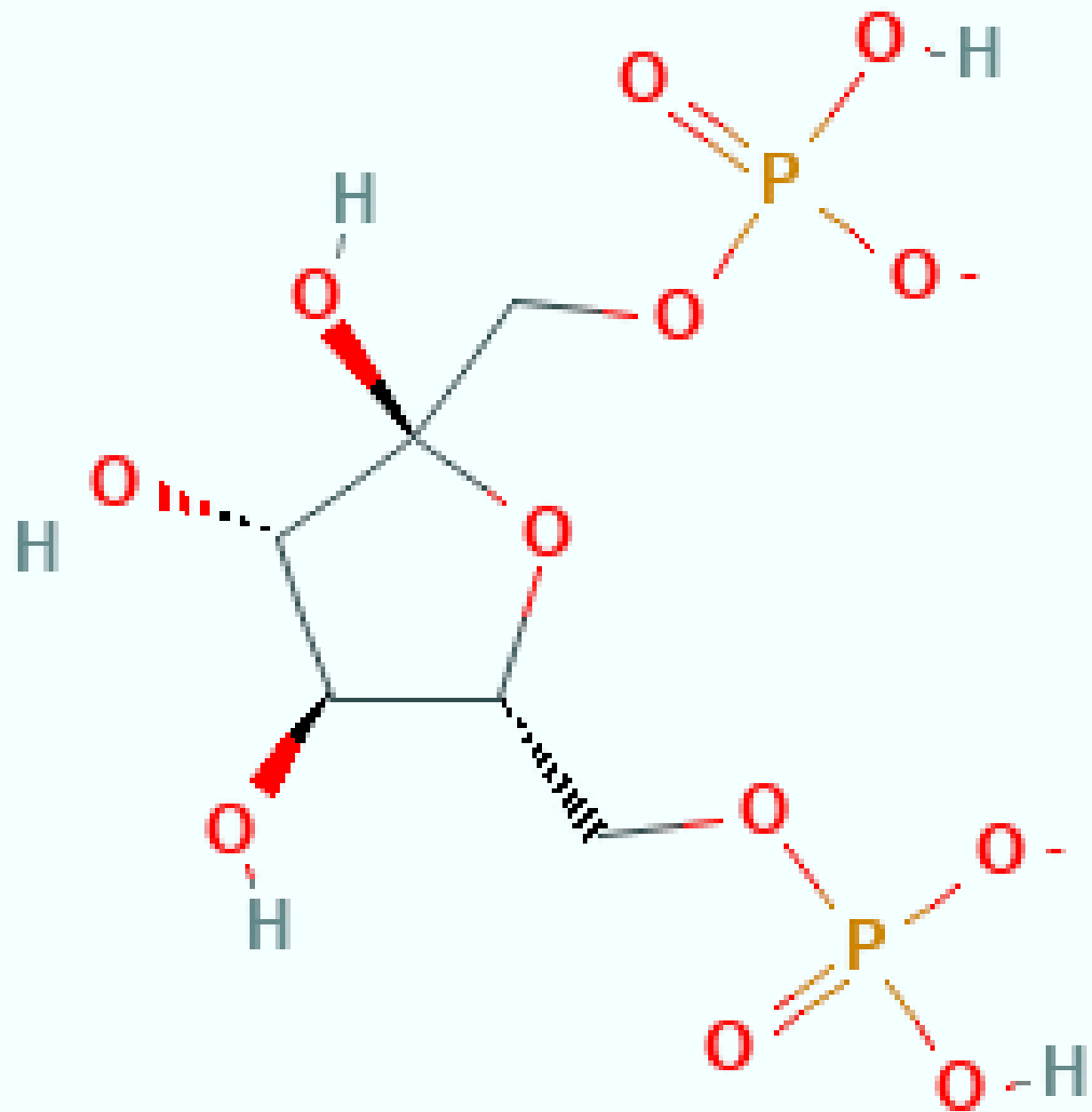
- Fórmula Molecular: $C_6H_{13}O_9P$
- Peso Molecular: 260.14 g/mol

Frutose-6-fosfato



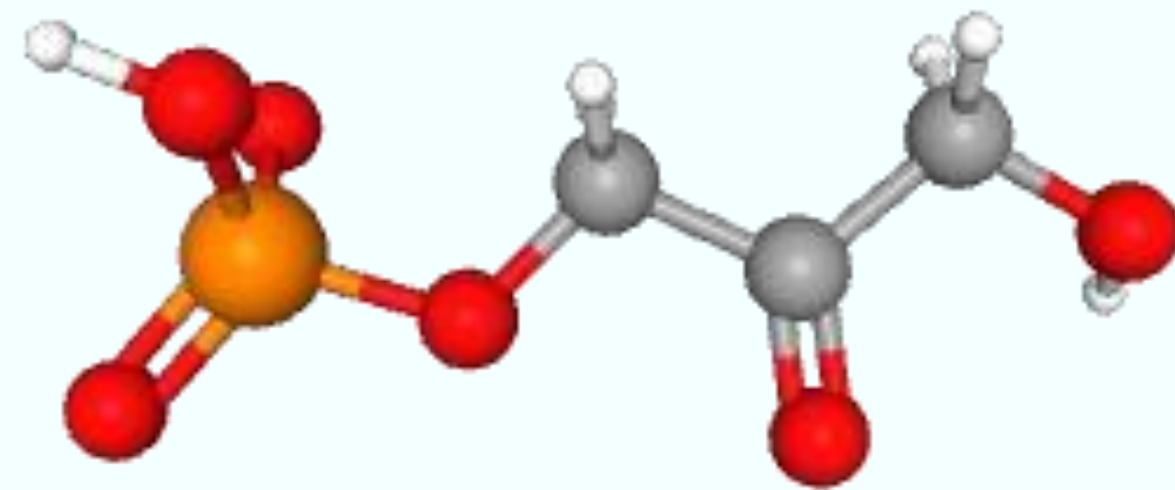
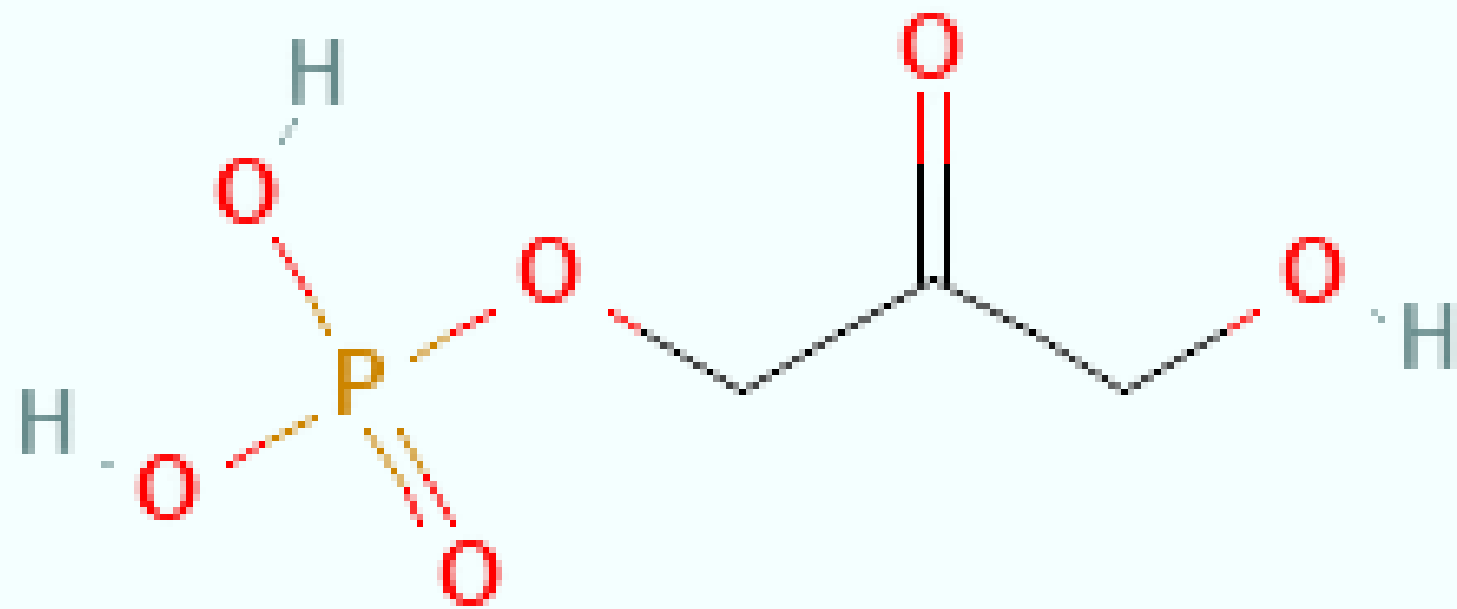
- Fórmula Molecular: C₆H₁₃O₉P
- Peso Molecular: 260.14 g/mol

Frutose-1,6-bisfosfato



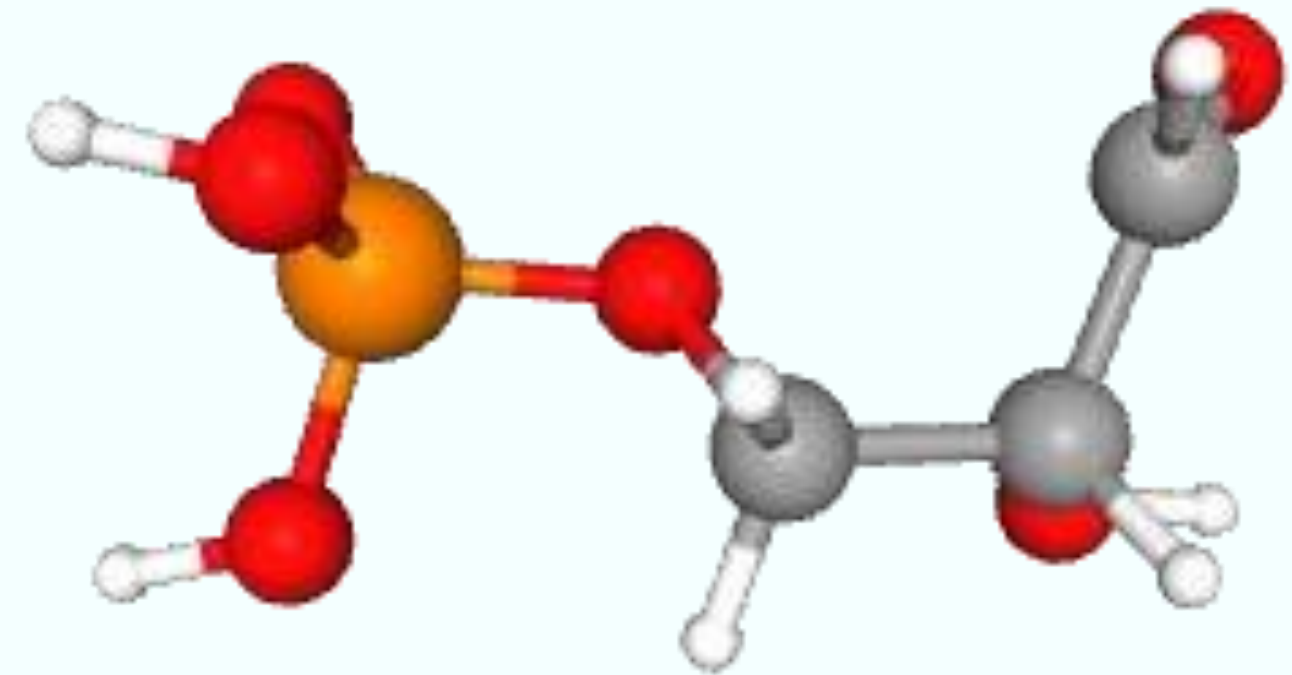
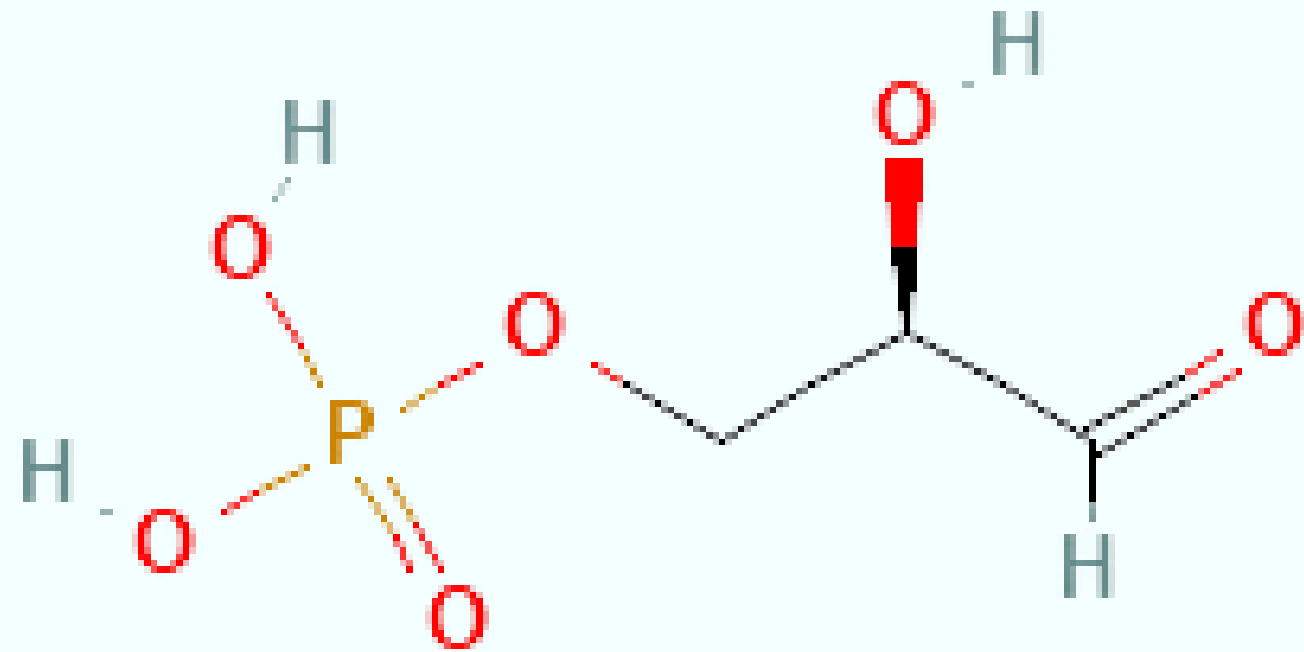
- Fórmula Molecular: $C_6H_{12}O_{12}P_2$ -2
- Peso Molecular: 338.10 g/mol

Dihidroxiacetona fostato



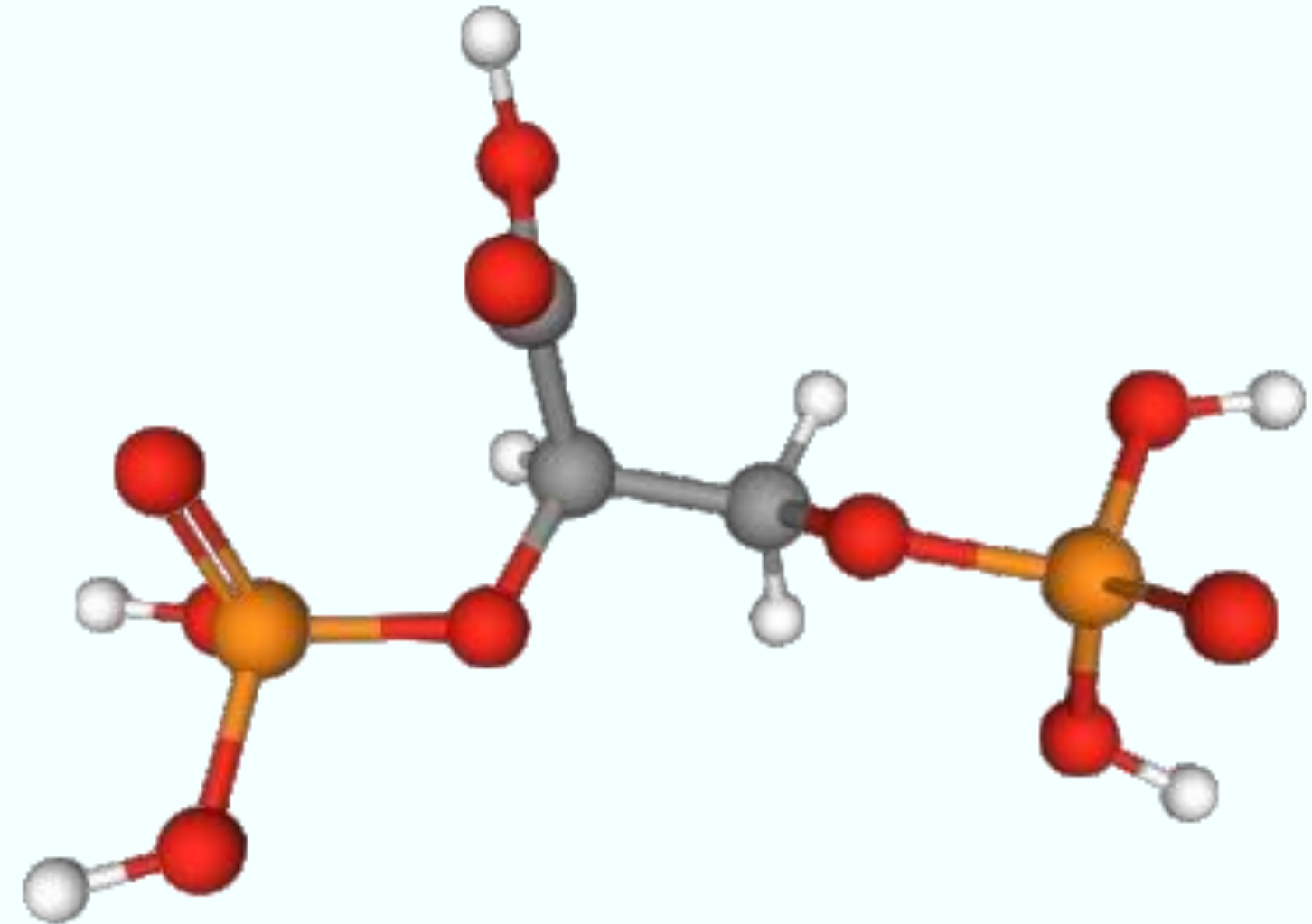
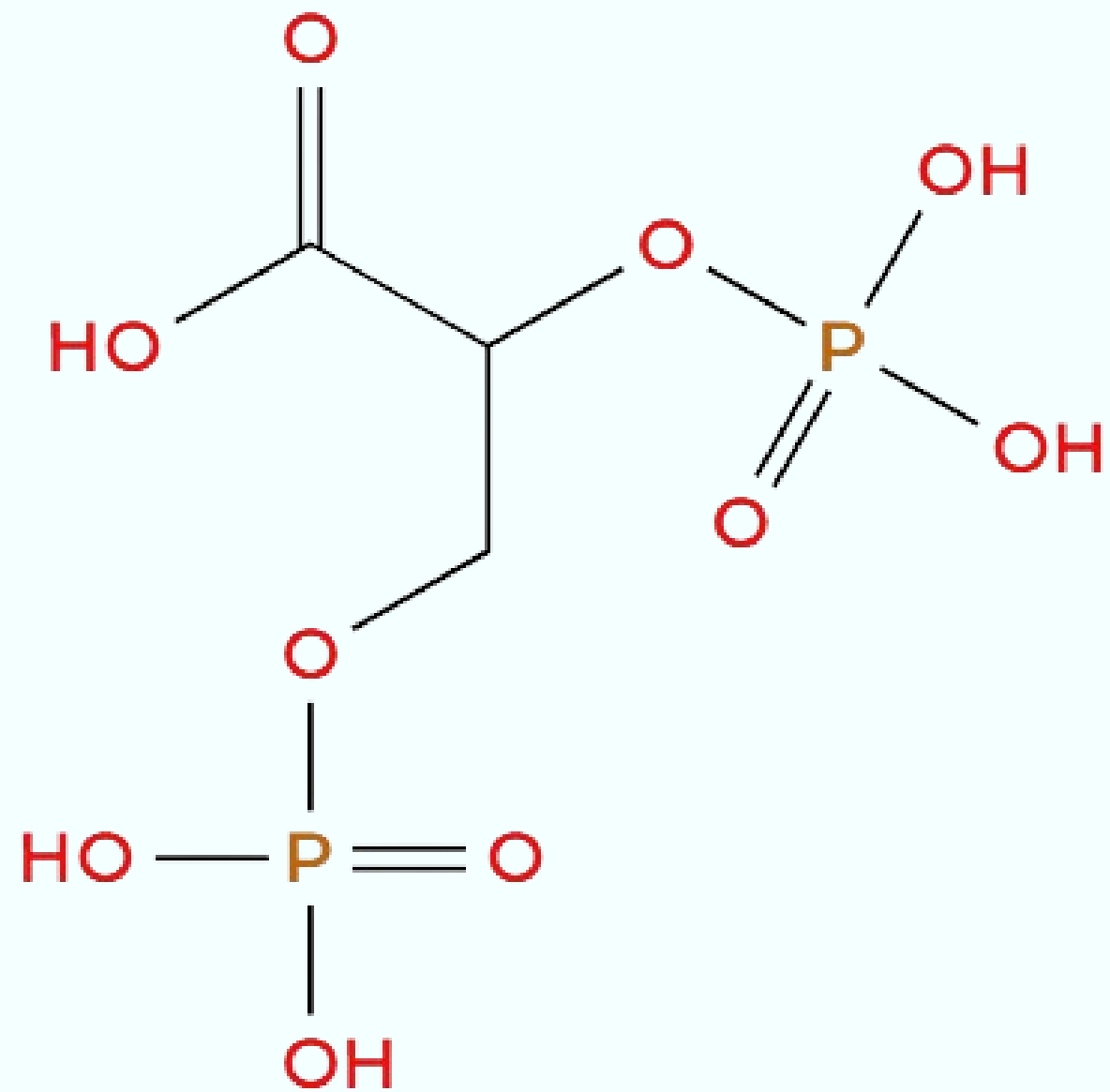
- Fórmula Molecular: C₃H₇O₆P
- Peso Molecular: 170.06 g/mol

Gliceraldeído-3-fosfato



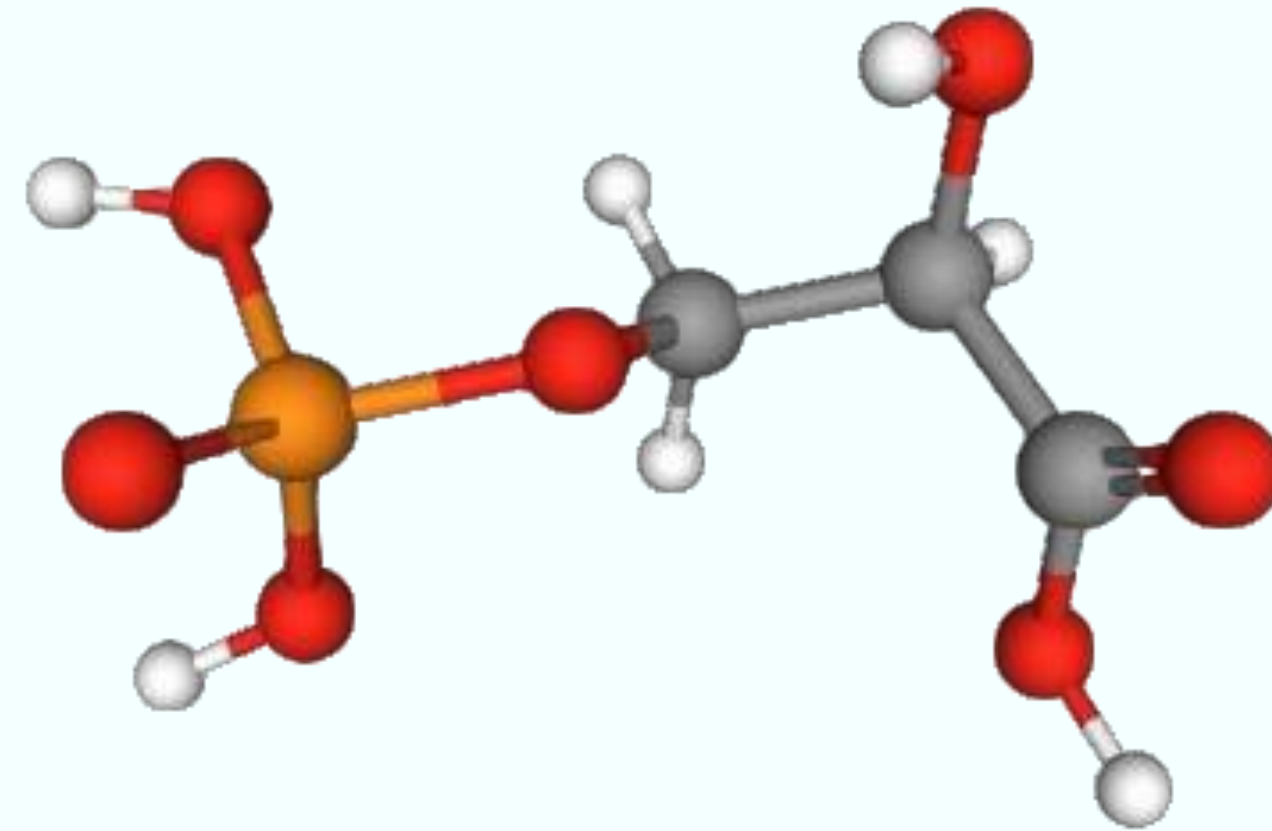
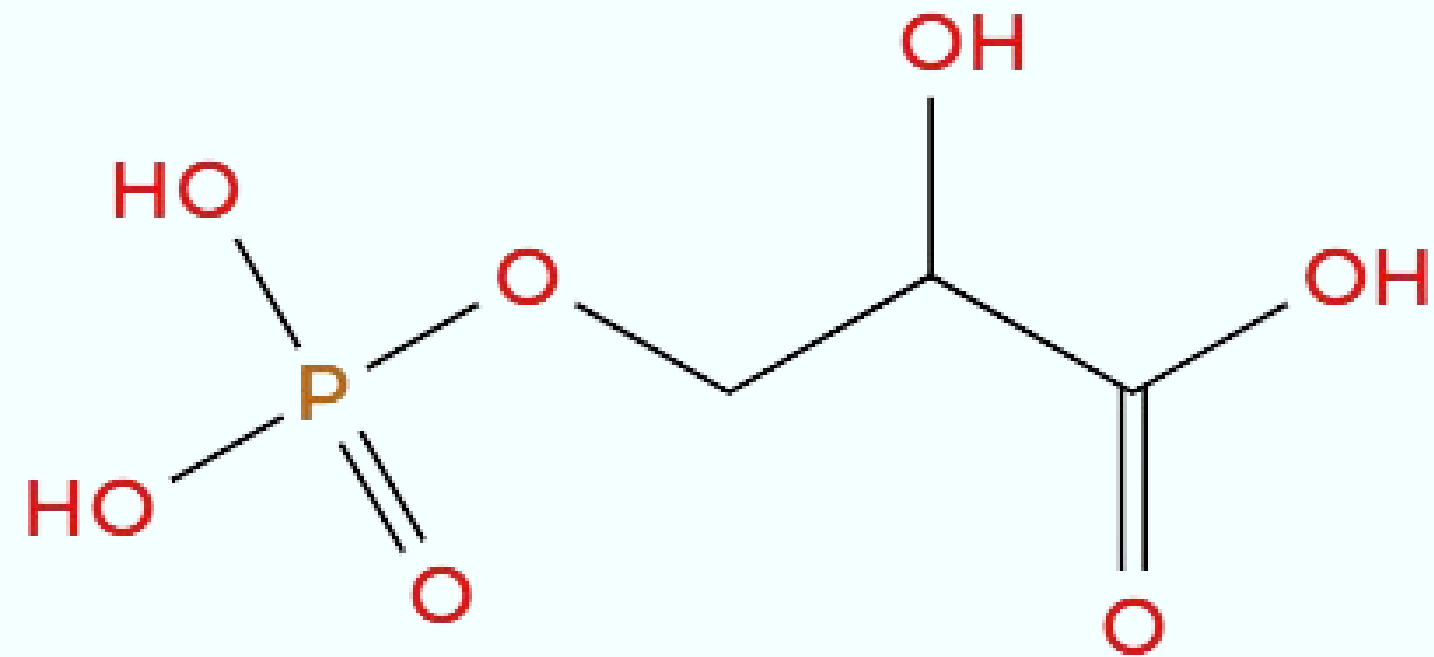
- Fórmula Molecular: C₃H₇O₆P
- Peso Molecular: 170.06 g/mol

1,3-difosfoglicerato



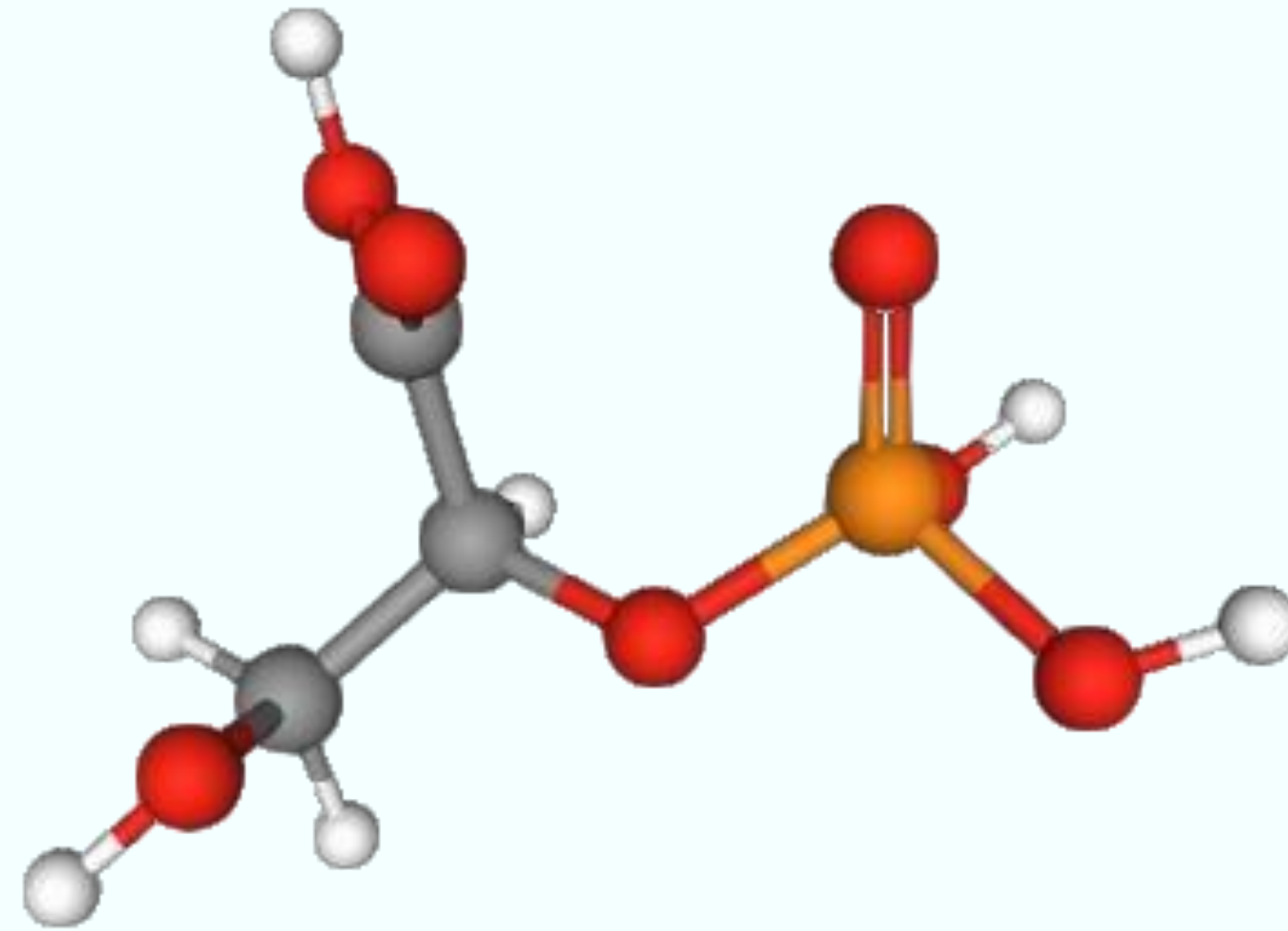
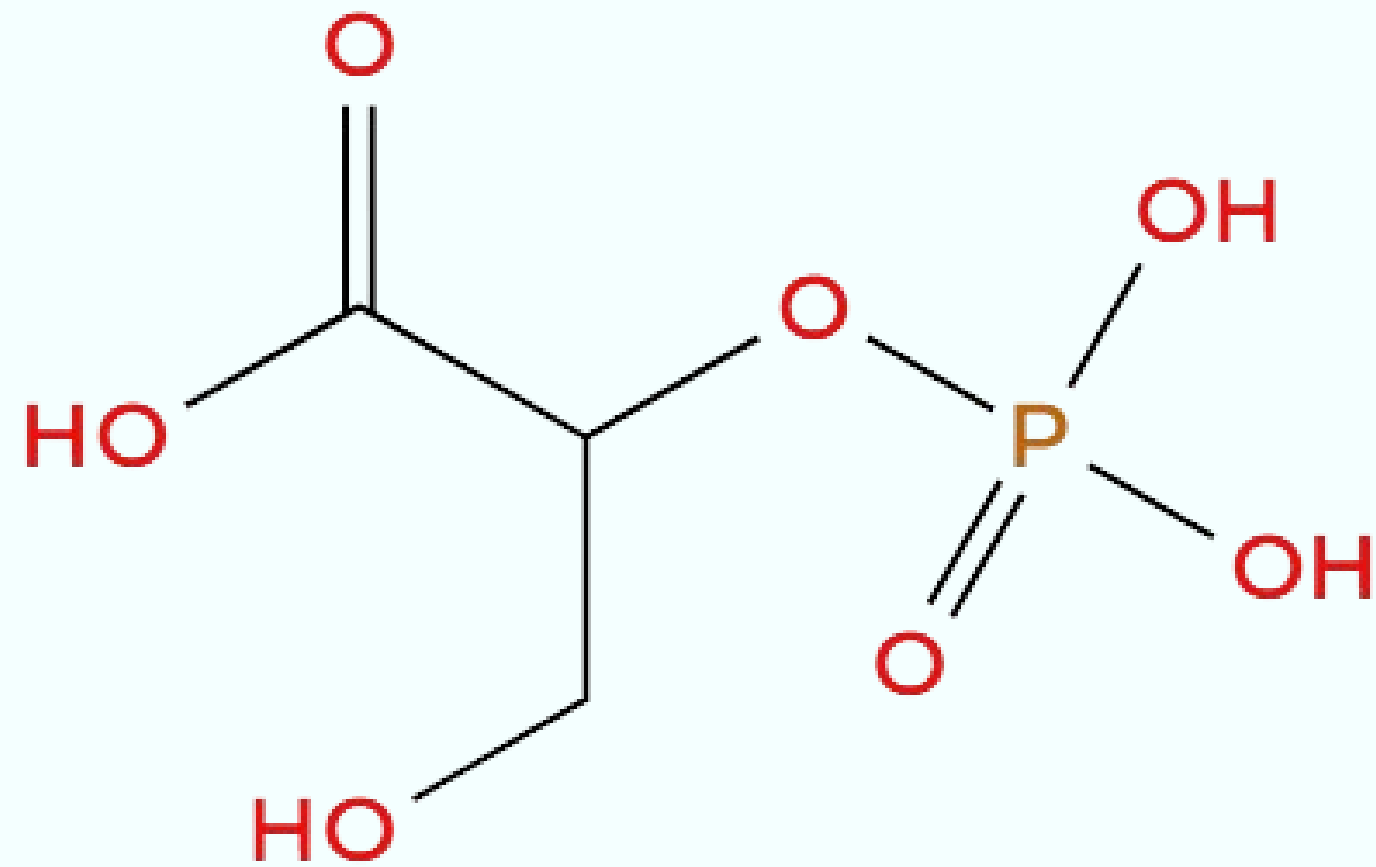
- Fórmula Molecular: C₃H₆O₁₀P₂-2
- Peso Molecular: 264.02 g/mol

3-fosfoglicerato



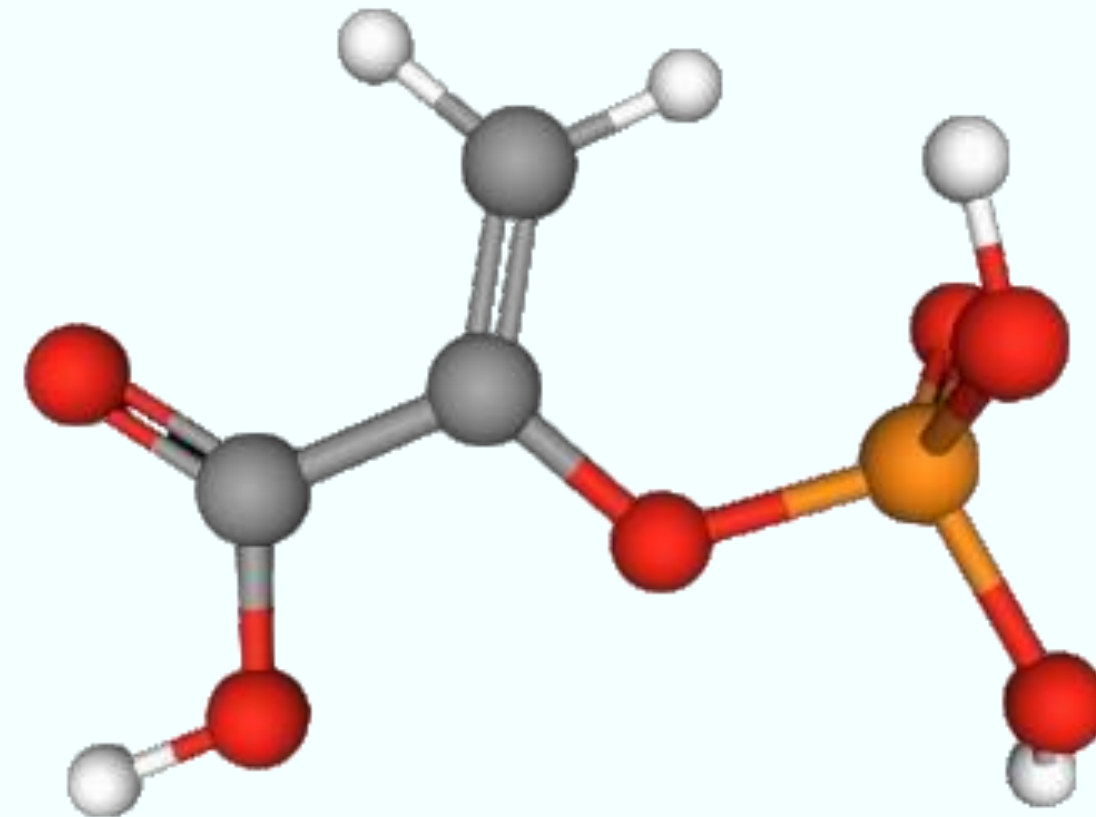
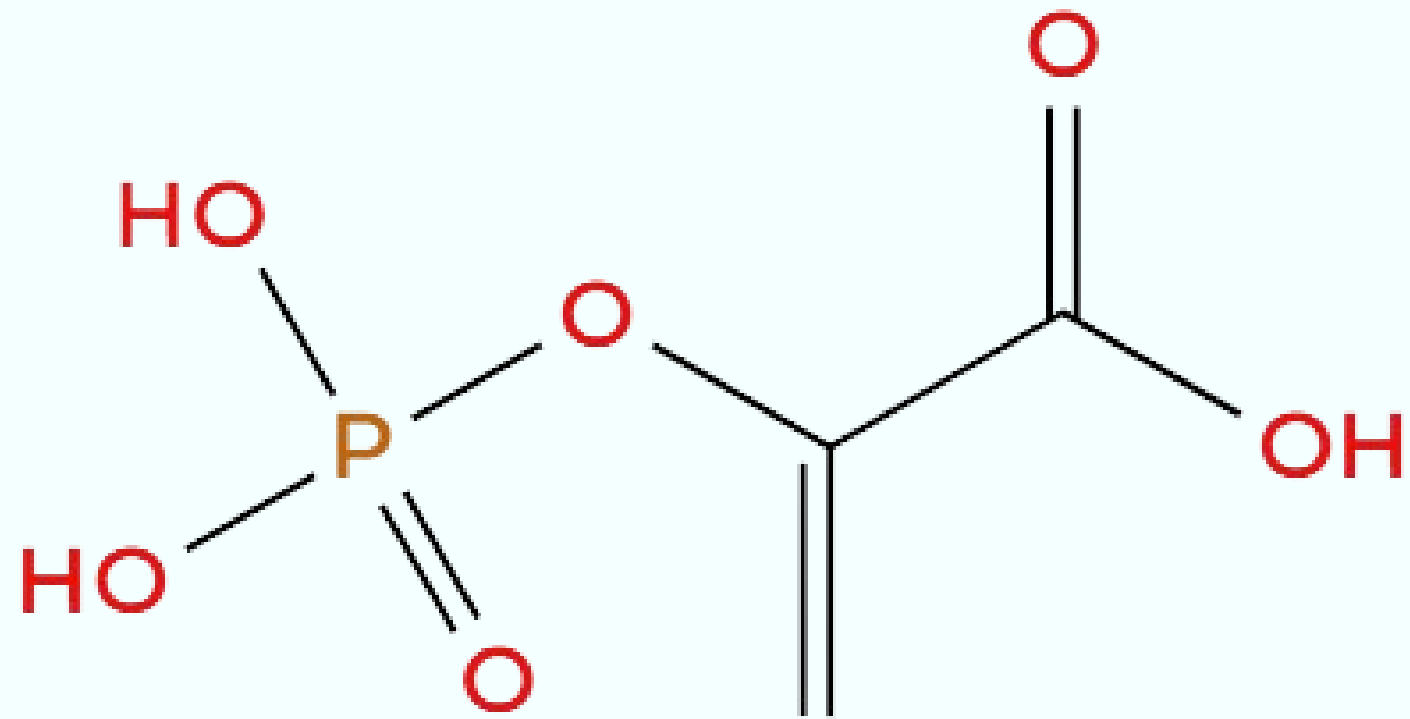
- Fórmula Molecular: $C_3H_4O_7P$ -3
- Peso Molecular: 183.03 g/mol

2-fosfoglicerato



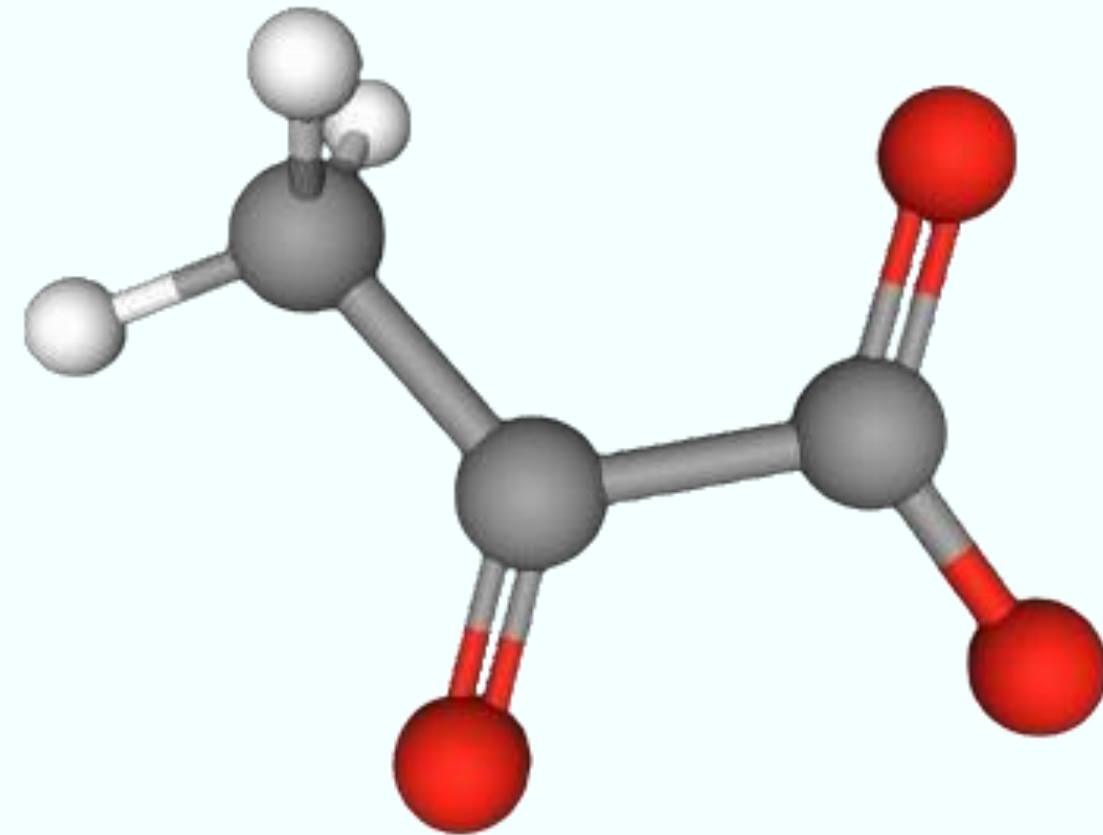
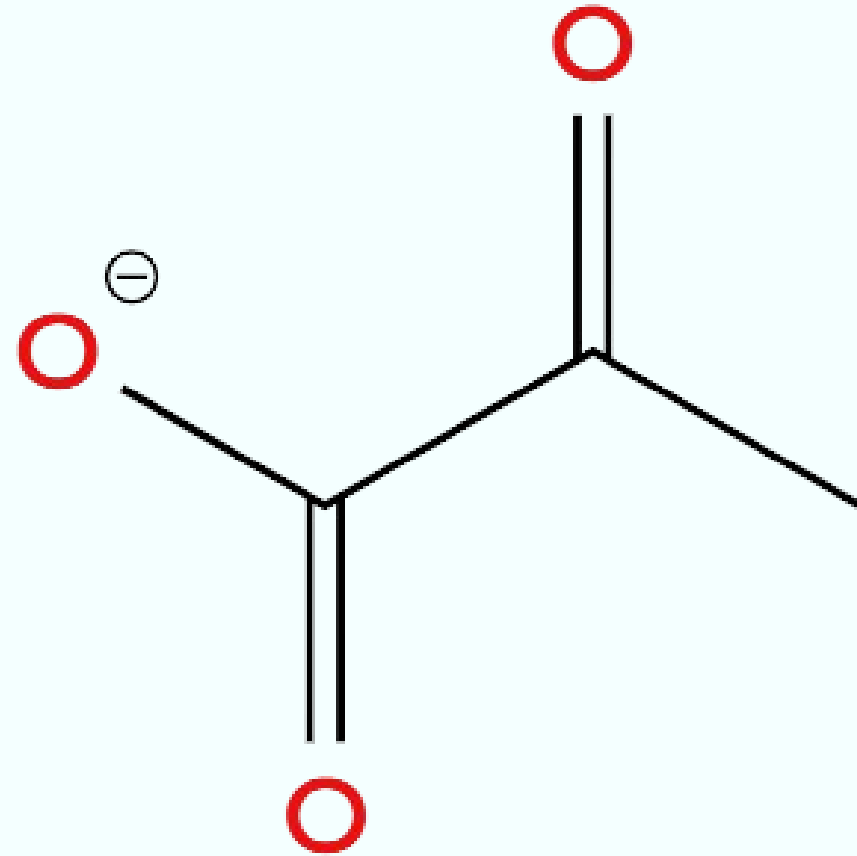
- Fórmula Molecular: $C_3H_7O_7P$
- Peso Molecular: 186.06 g/mol

Fosfoenolpiruvato



- Fórmula Molecular: [C3H5O6P](#)
- Peso Molecular: 168,04 g/mol

Piruvato

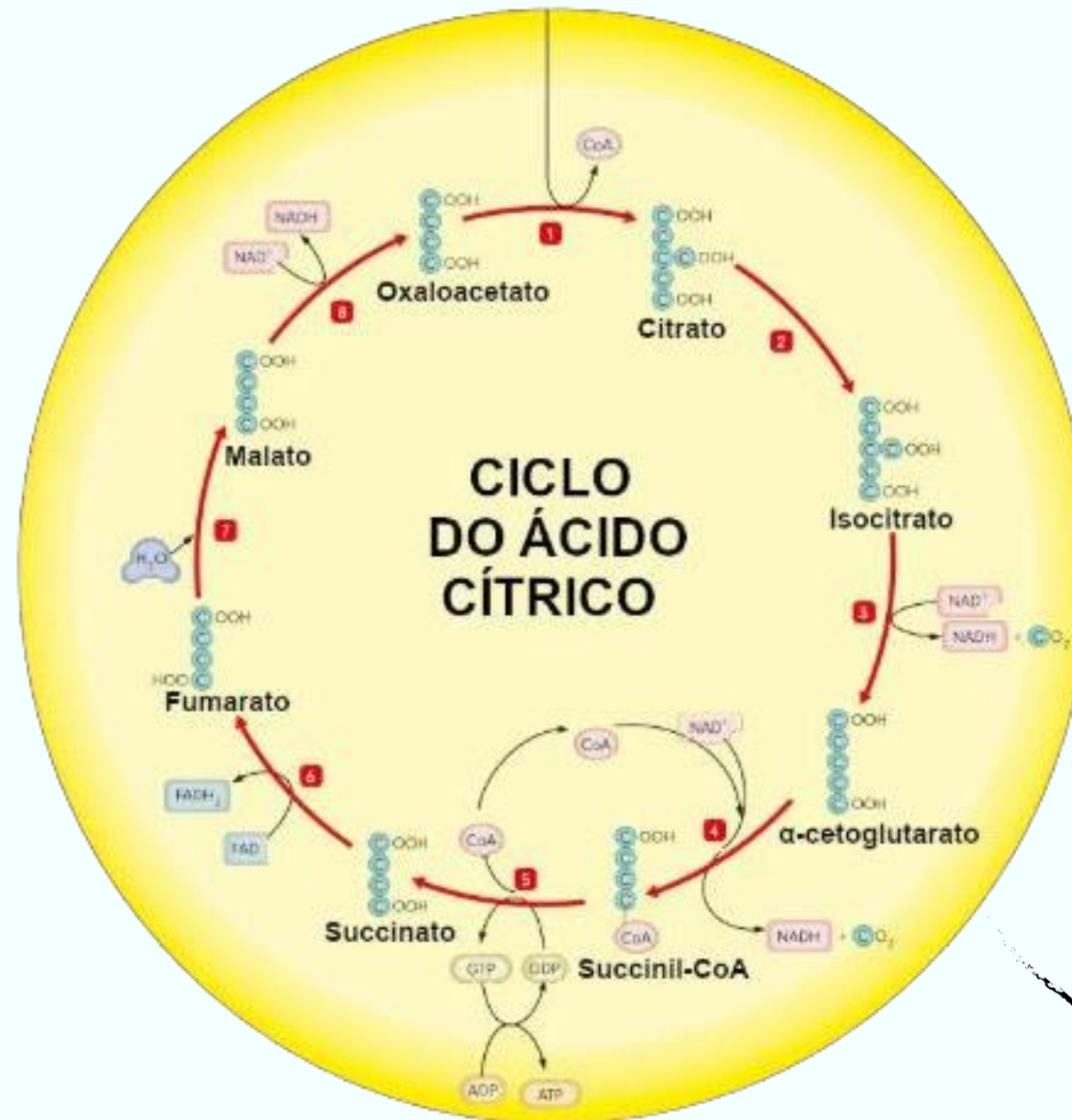


- Fórmula Molecular: C₃H₃O₃⁻
- Peso Molecular: 87.05 g/mol

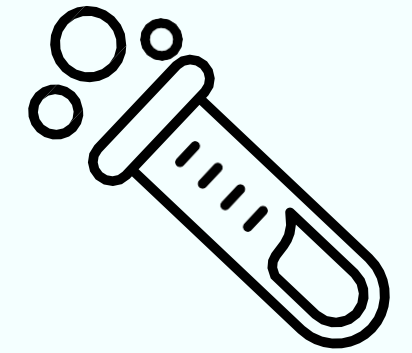
Ciclo do Ácido Cítrico - Localização

Moléculas envolvidas:

- Ácido Pirúvico
- NAD⁺
- FAD
- O₂

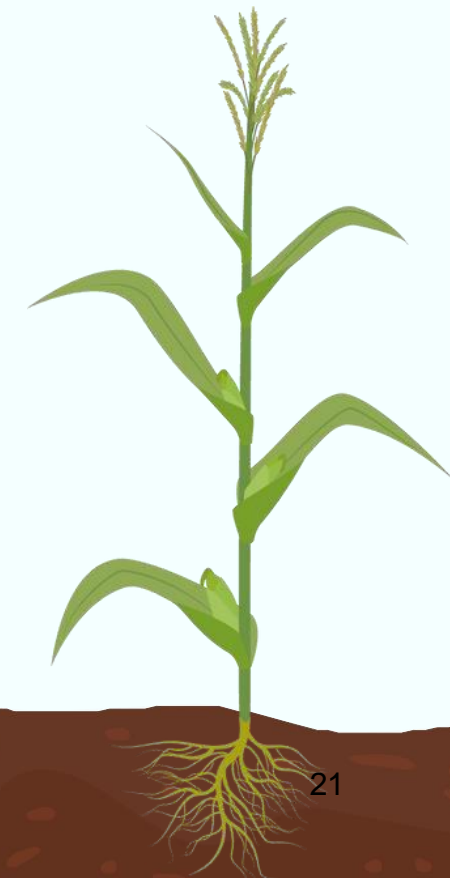


Matriz Mitocondrial



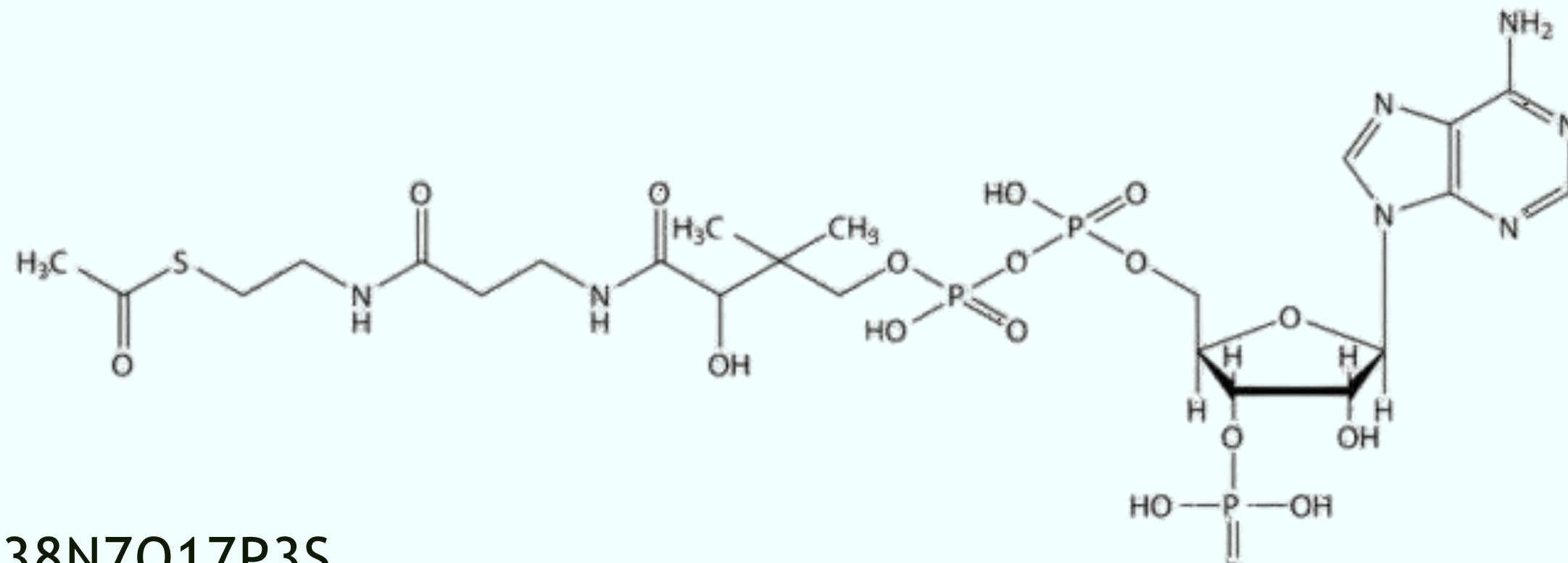
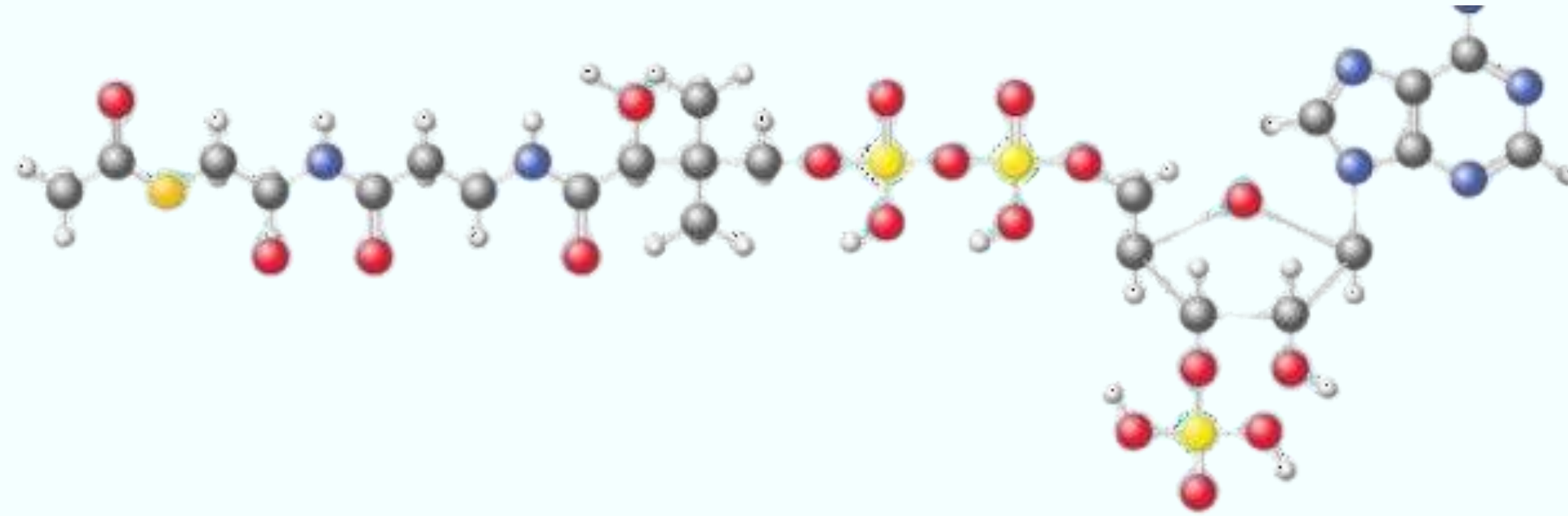
Produtos Gerados:

- 6 CO₂
- 8 NADH
- 2 FADH₂
- 2 ATP



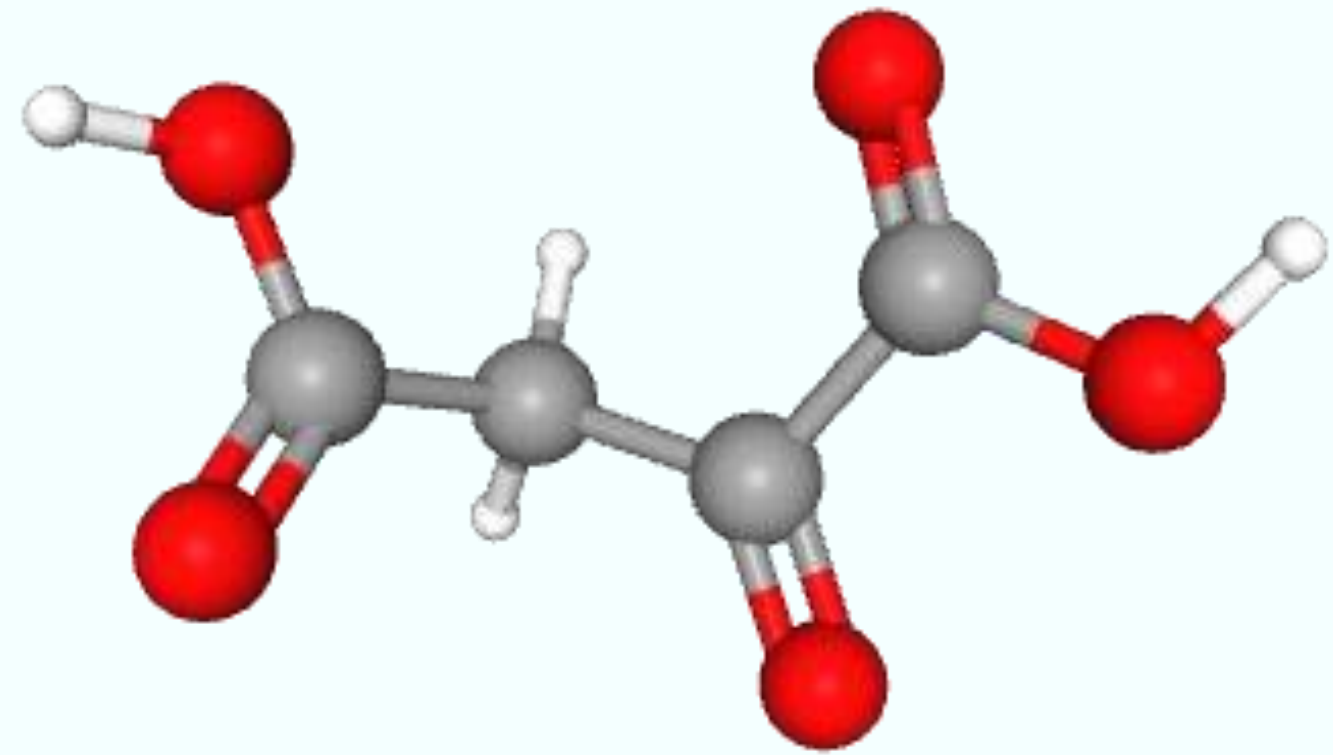
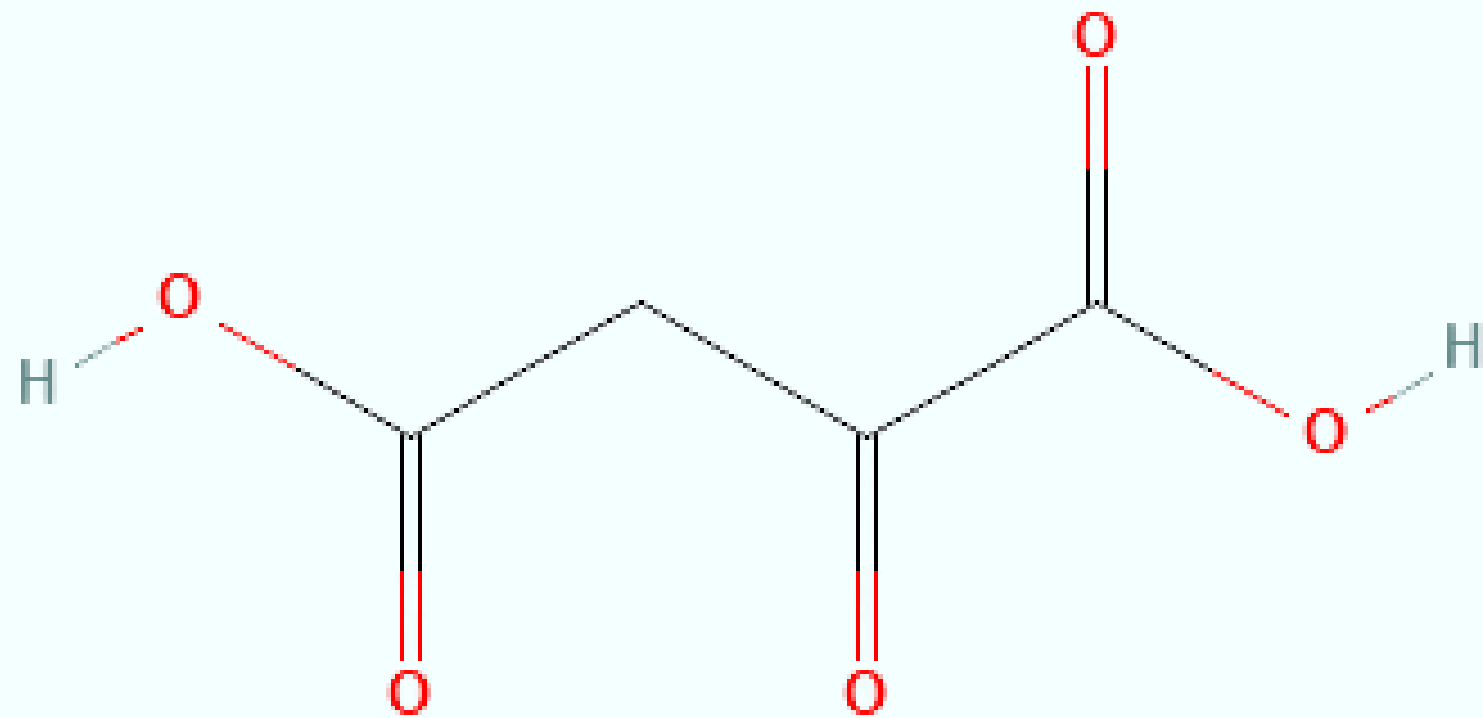
Moléculas do Ciclo do Ácido Cítrico

Acetil Coenzima A - Acetil-CoA



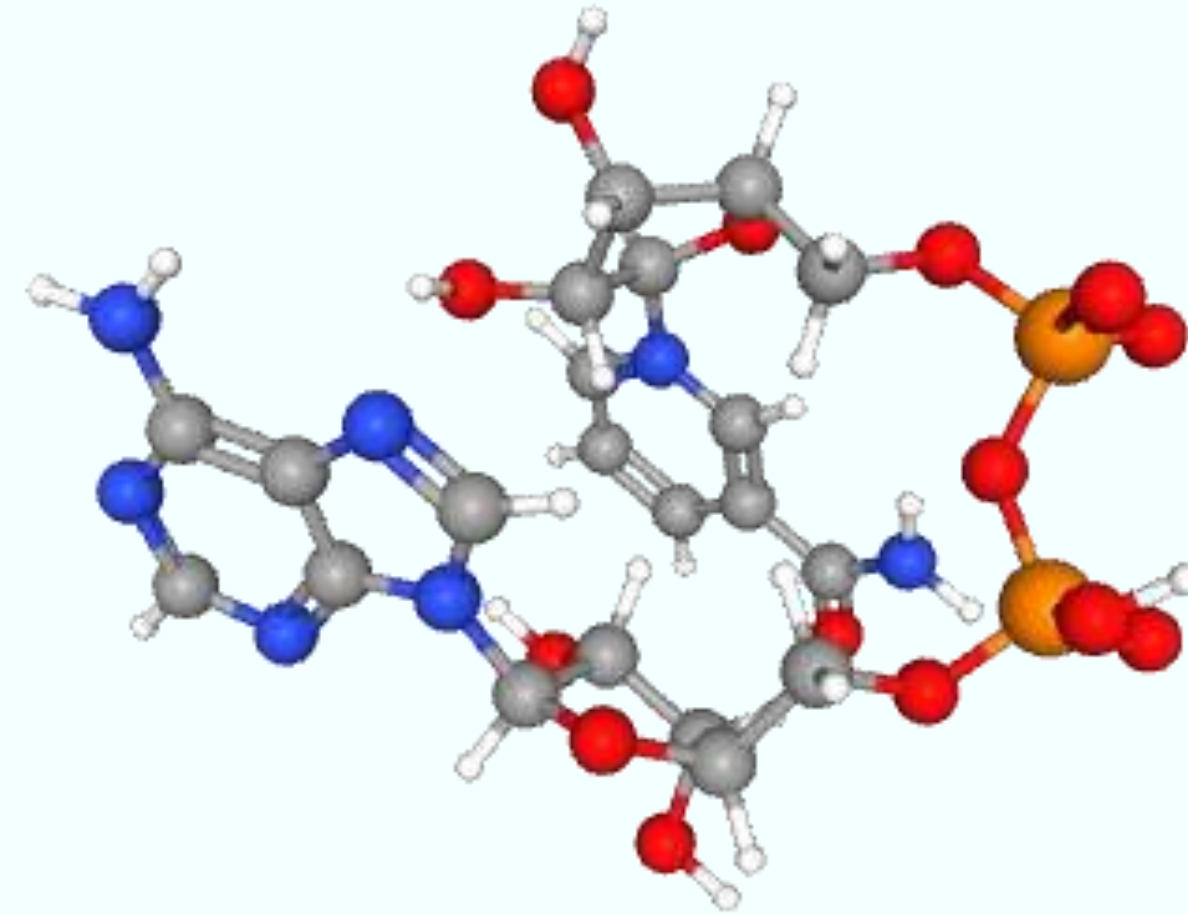
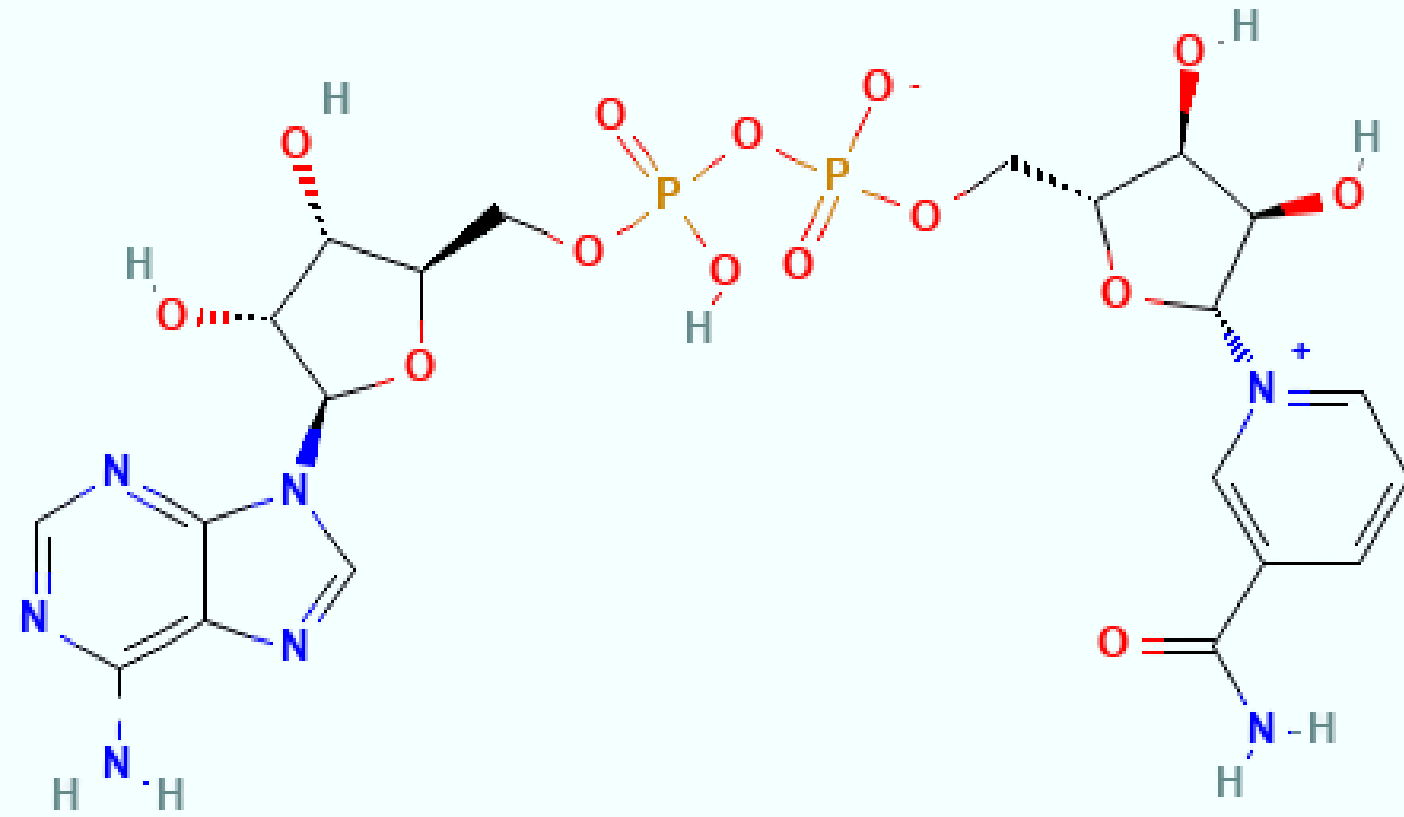
- Fórmula: C₂₃H₃₈N₇O₁₇P₃S
- Peso Molecular: 809,5 g/mol.

Ácido Oxaloacético - Oxaloacetato



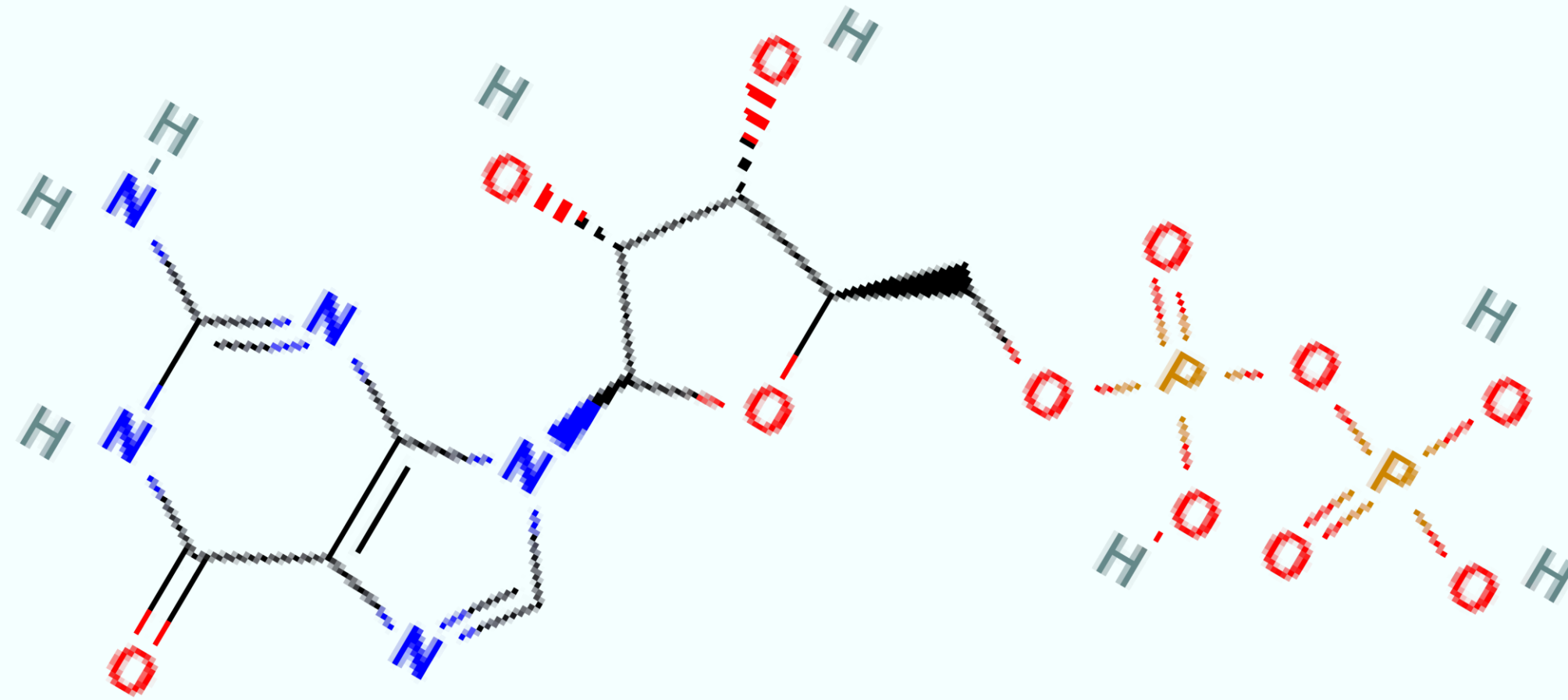
- Fórmula: $C_4H_4O_5$
- Peso Molecular: 132,07 g/mol.

Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo - NAD⁺ ou Nadide



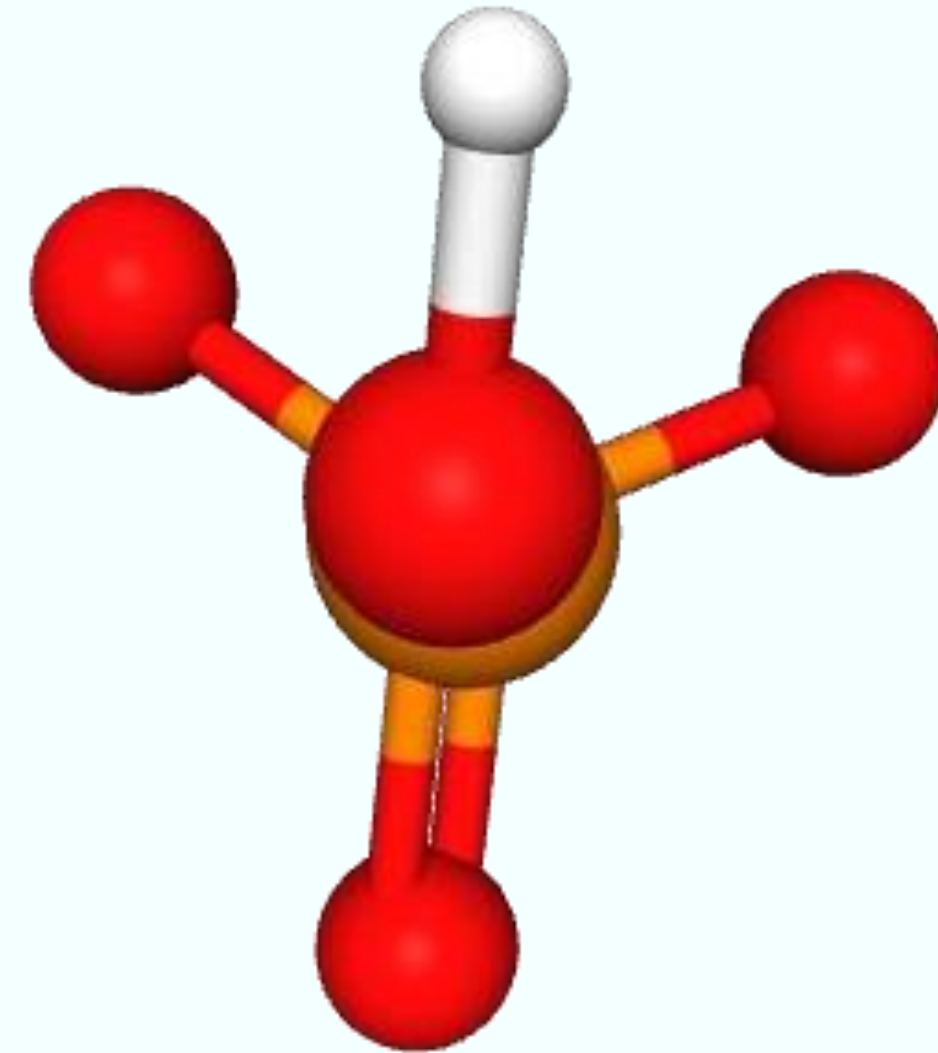
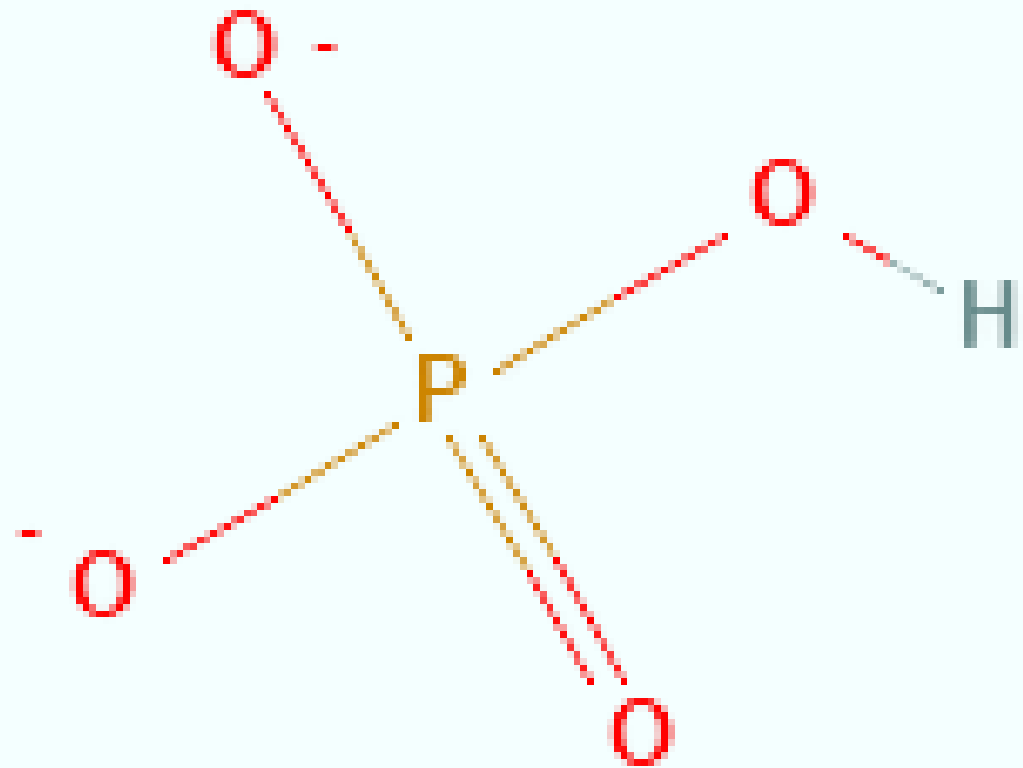
- Fórmula: [C₂₁H₂₇N₇O₁₄P₂](#)
- Peso Molecular: 663,4 g/mol

Guanosina 5'-difosfato - GDP



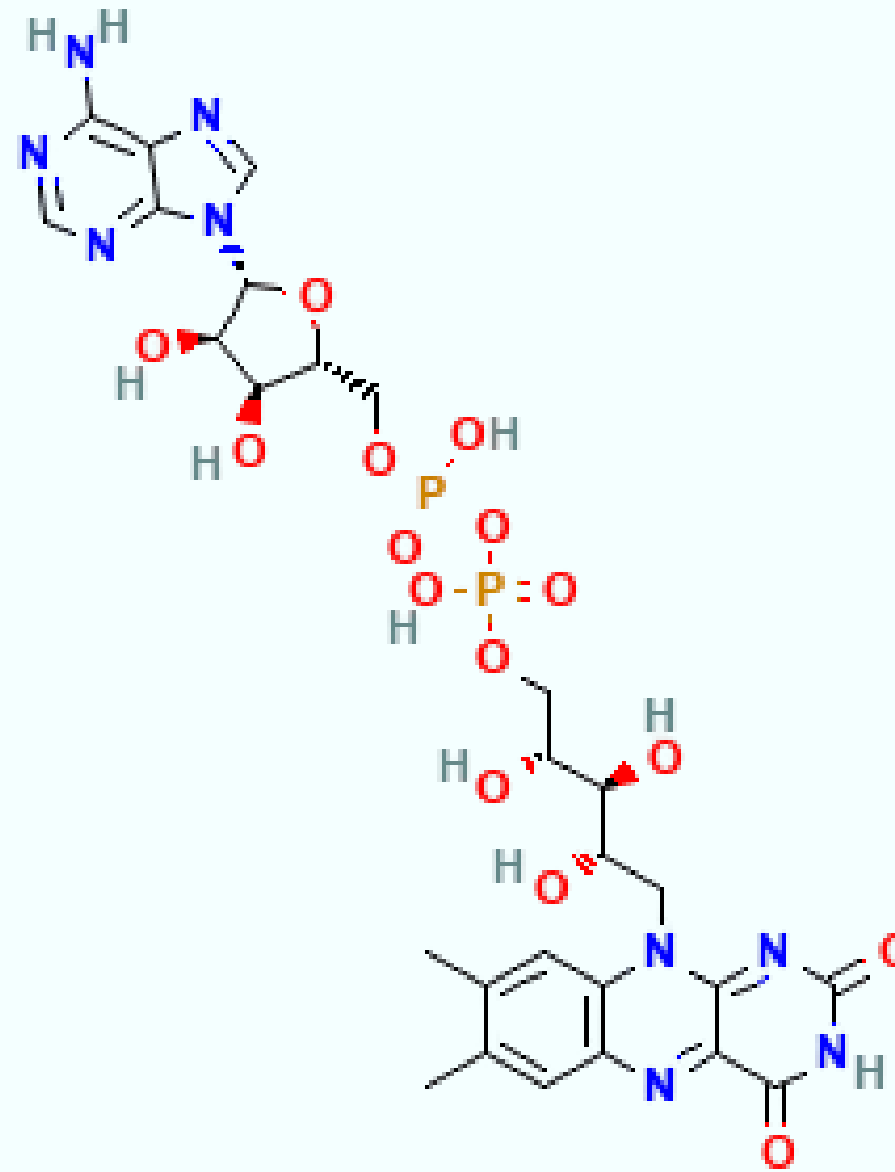
- Fórmula: [C10H15N5O11P2](#)
- Peso Molecular: 443,20 g/mol

Hidrogenofosfato - Pi



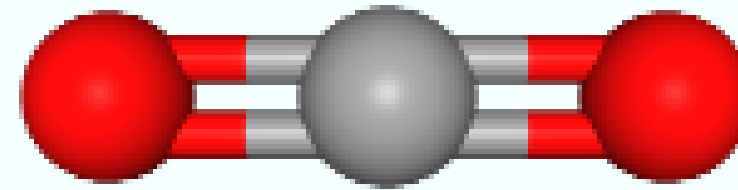
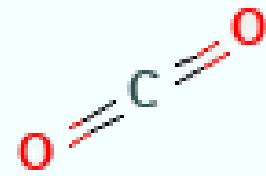
- Fórmula: [HO4P-2](#)
- Peso Molecular: 95,979g/mol

FAD - Flavina-Adenina Dinucleotídeo



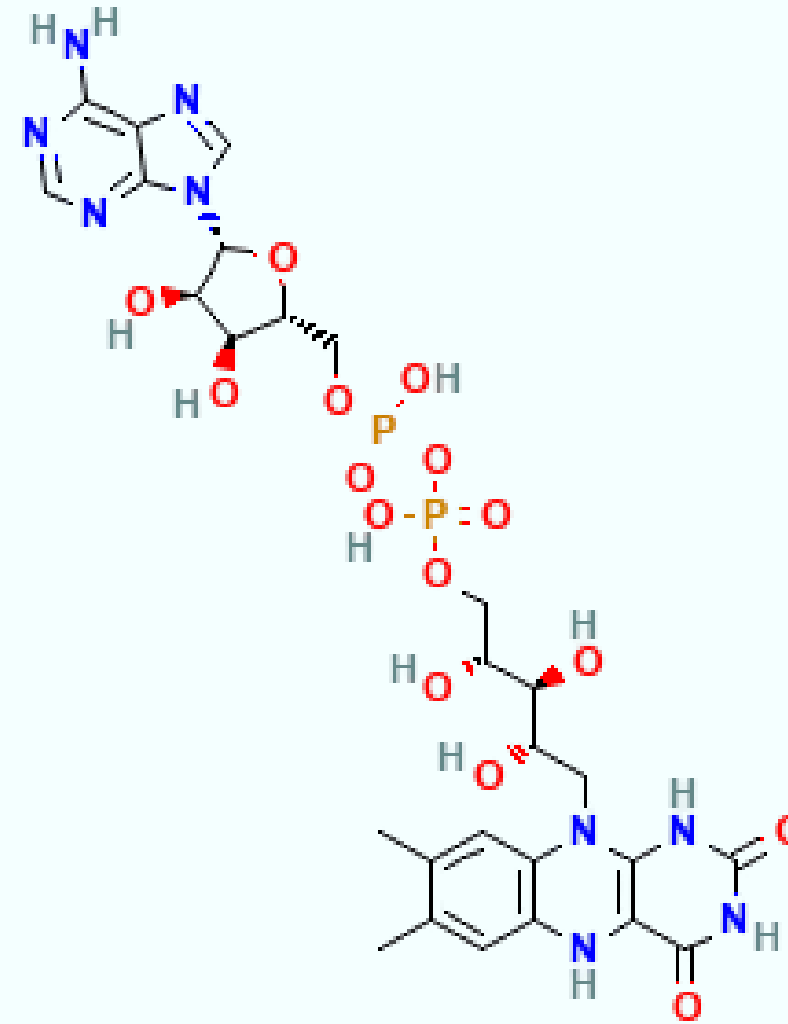
- Fórmula: $C_{27}H_{33}N_9O_{15}P_2$
- Peso Molecular: 785,55 g/mol

CO₂ - Dióxido de carbono



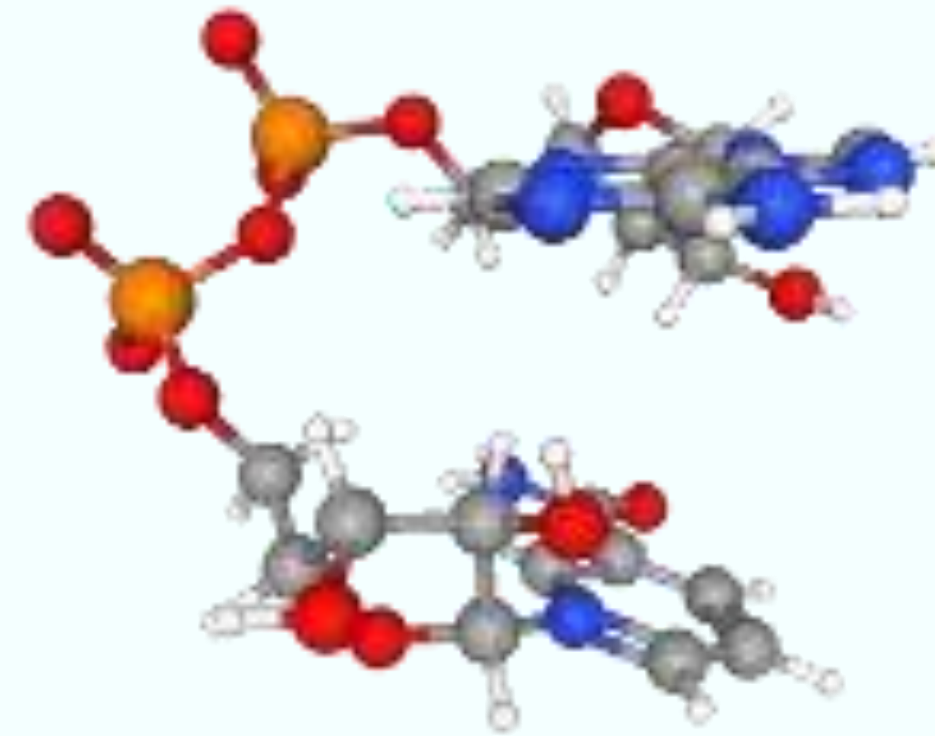
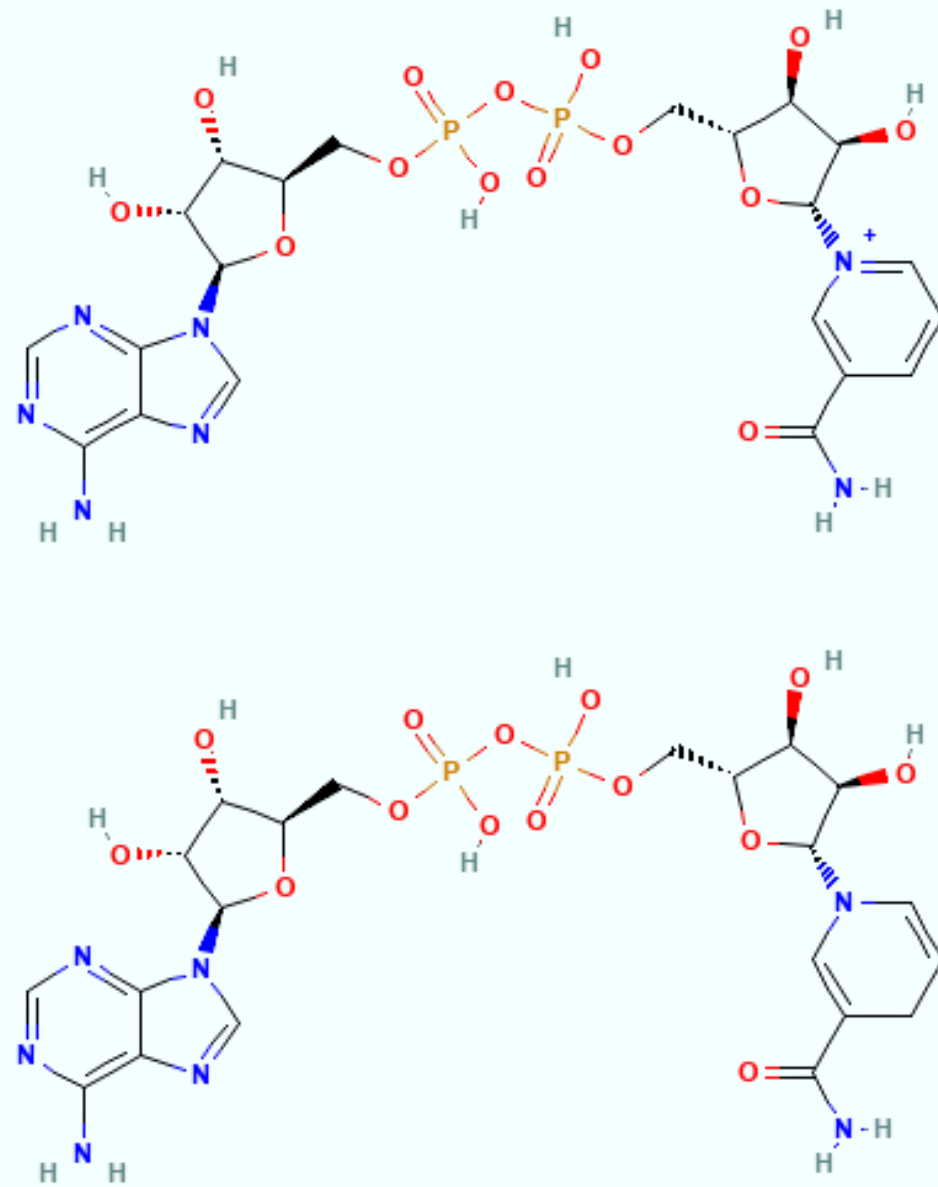
- Fórmula: CO₂
- Peso Molecular: 44,009 g/mol

FADH2 - Flavina Adenina Dinucleotídeo reduzido



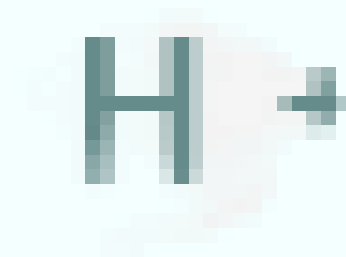
- Fórmula: C₂₇H₃₅N₉O₁₅P₂
- Peso Molecular: 787,06 g/mol

NADH - Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo reduzido



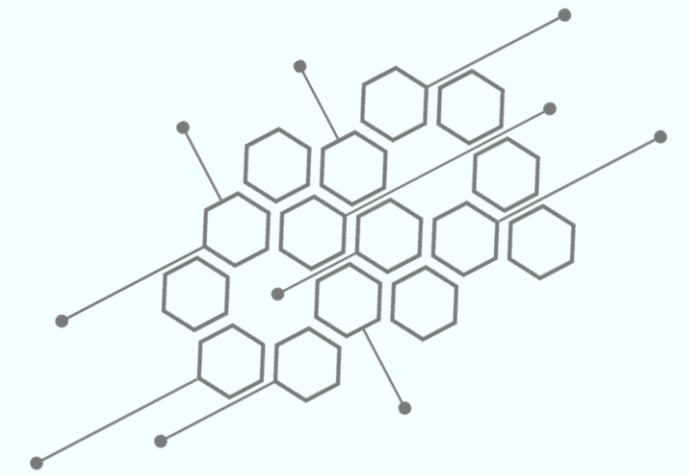
- Fórmula: C₂₁H₂₇N₇O₁₄P₂
- Peso Molecular: 1329,09 g/mol

H⁺ Íon Hidrogênio

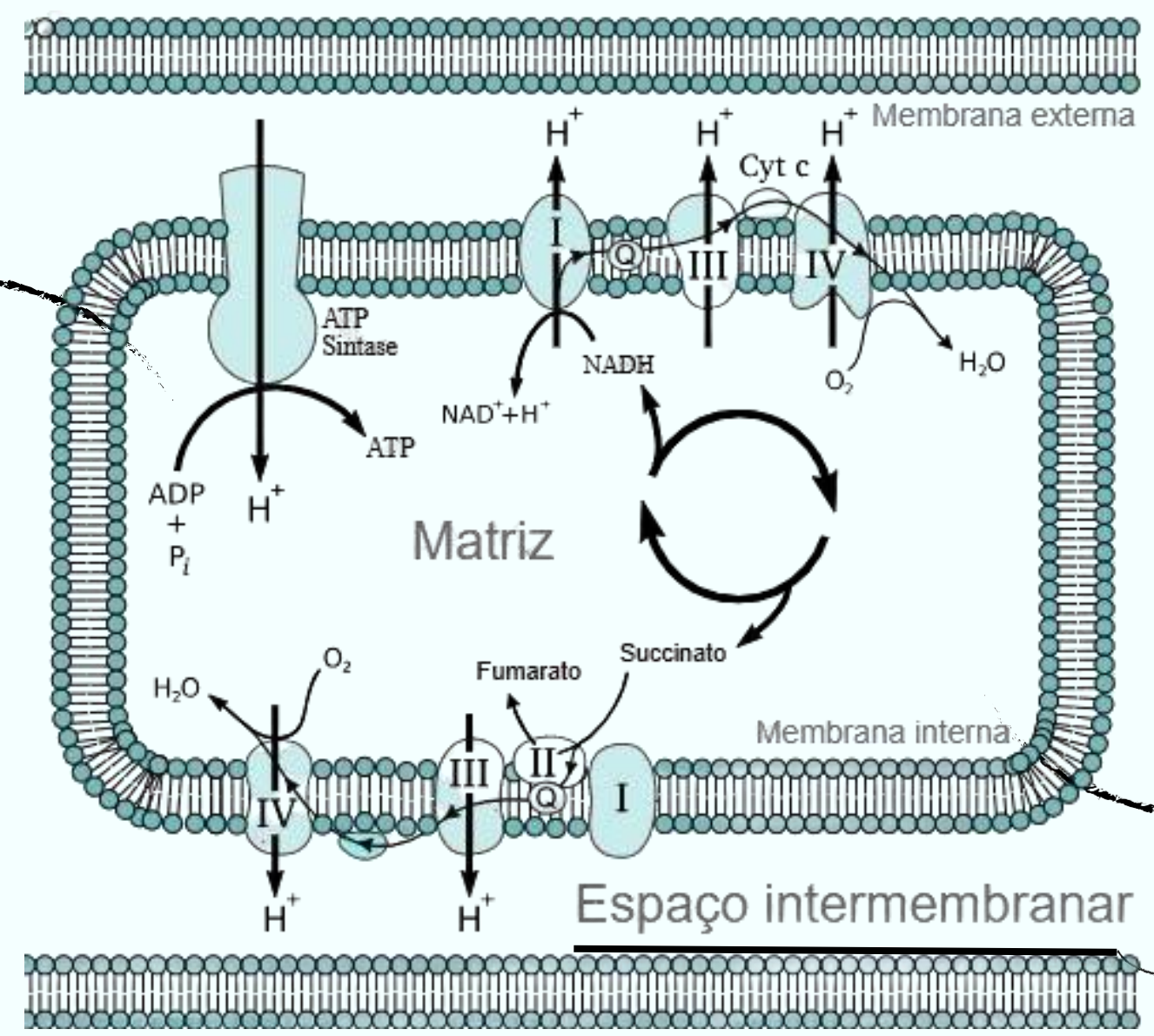


- Fórmula: H⁺
- Peso Molecular: 1,0080 g/mol

Fosforilação Oxidativa

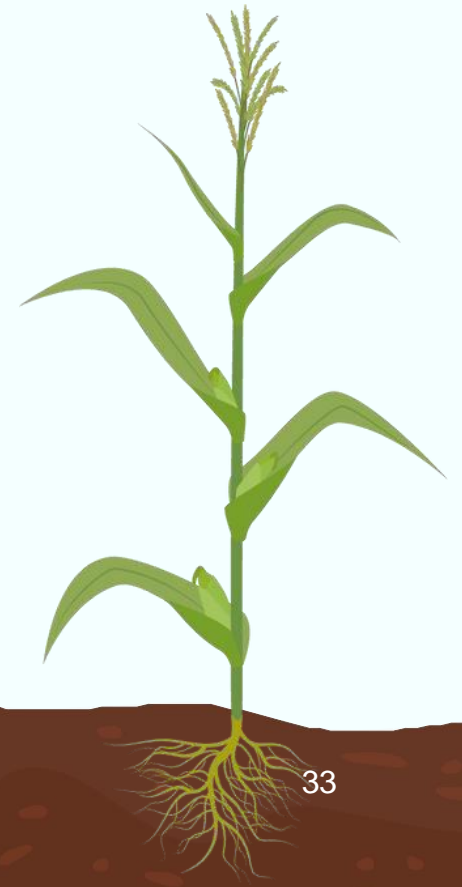


- Moléculas envolvidas:
- NADH
 - FADH₂
 - O₂



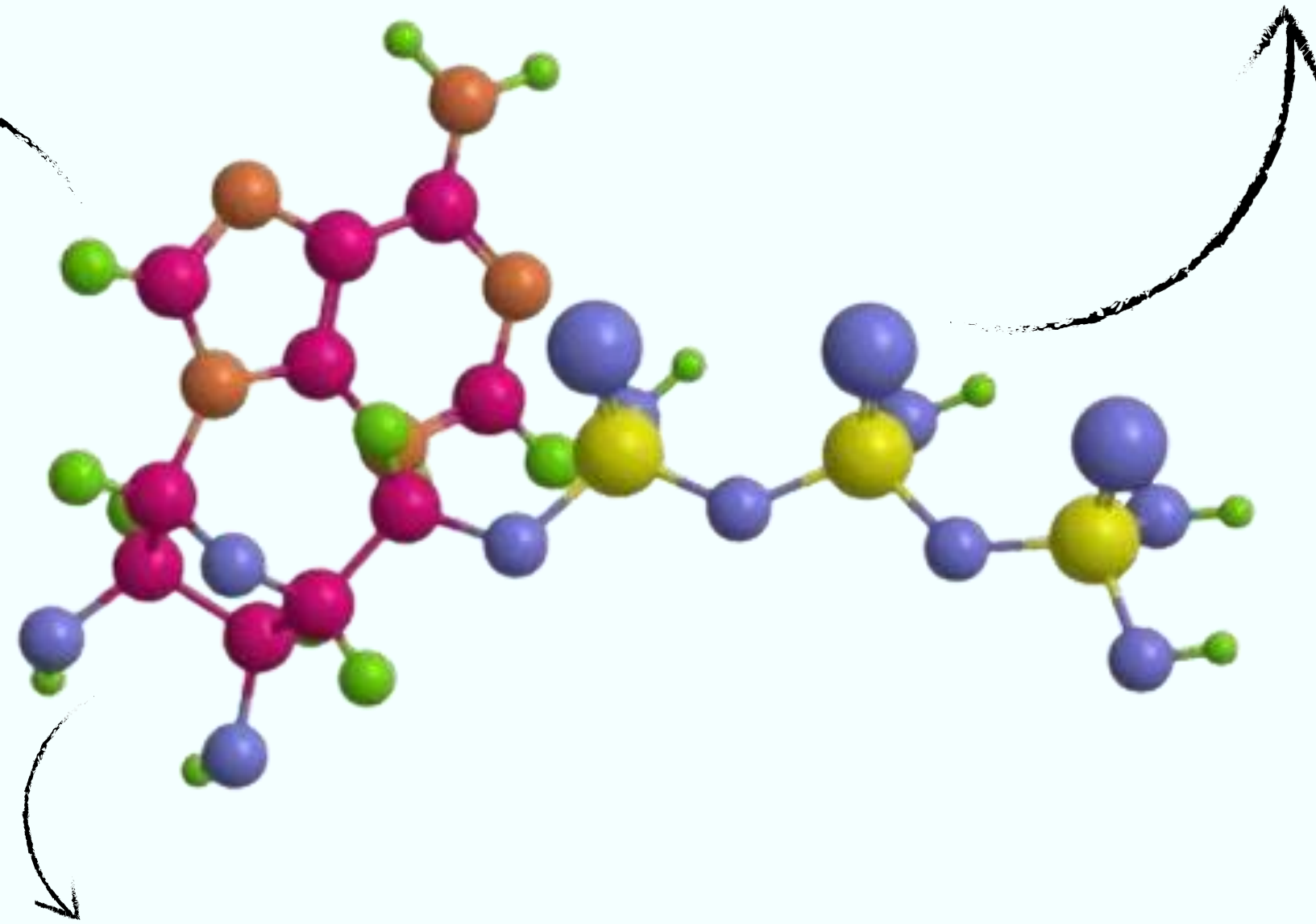
- Produtos Gerados:
- ATP
 - H₂O

Localização:
Mitocôndrias



Moléculas de Alta Energia - ATP

Principal fonte de energia para as células



Curiosidade--->O corpo humano recicla seu próprio peso em ATP diariamente, pois cada molécula é reutilizada milhares de vezes para fornecer energia às funções vitais.



IMPORTANCIA DA RESPIRAÇÃO NAS PLANTAS

- A eficiência da fotossíntese nas plantas é diretamente proporcional à quantidade de moléculas orgânicas, como a glicose, que as plantas utilizam para seus processos vitais. A eficiência da fotossíntese depende da quantidade de luz que a planta recebe, sendo afetada por fatores como a disponibilidade de água e nutrientes.

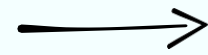
As condições ambientais: a eficiência da fotossíntese é diretamente ligada ao crescimento das plantas, o que é influenciado por fatores como a disponibilidade de luz na fotossíntese das plantas e a quantidade de nutrientes disponíveis.

REAÇÃO QUÍMICA DA RESPIRAÇÃO

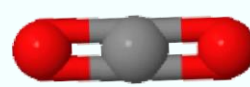
Glicose
(C₆H₁₂O₆)



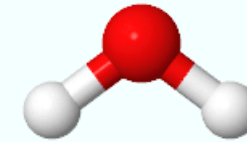
oxigênio
(O₂)



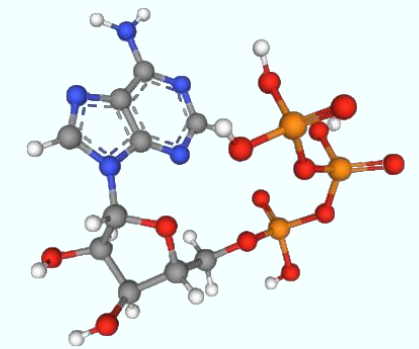
dióxido de
carbono (CO₂)



água
(H₂O)

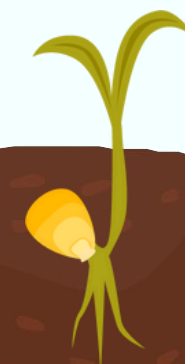
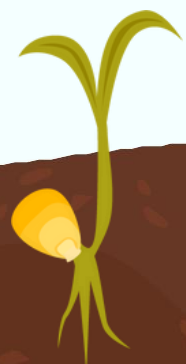


ATP



A glicose reage com o oxigênio nas células, liberando dióxido de carbono, água e ATP, essencial para as atividades celulares.

A equação geral da respiração é:
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$$



RESPIRAÇÃO AERÓBICA vs RESPIRAÇÃO ANARÓBICA

Respiração Aeróbica (com oxigênio)

- Mais eficiente - Produz até 36 ATP por molécula de glicose.
- Ocorre nas mitocôndrias após a glicólise.
- Produtos finais: CO₂ (dióxido de carbono), H₂O (água) e ATP.
- Favorece o crescimento e metabolismo saudável da planta.

Equação geral:
 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$

Respiração Anaeróbica (sem oxigênio)

- Menos eficiente - Produz apenas 2 ATP por glicose.
- Ocorre no citoplasma e não envolve mitocôndrias.
- Produtos finais: Etanol (em algumas plantas) ou ácido lático + CO₂ + ATP.
- Comum em solos encharcados, onde o oxigênio é limitado.

Equação da fermentação alcoólica:
 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + ATP$

Equação da fermentação láctica:
 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2ATP$



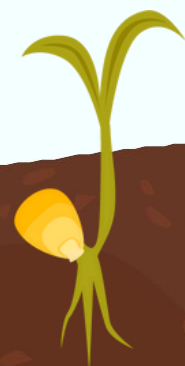
RESPIRAÇÃO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE

Impacto do Estresse na Respiração

- Fatores como seca, altas temperaturas e baixa oxigenação afetam a taxa respiratória.
- As plantas adaptam seus processos bioquímicos para economizar energia e sobreviver.

Temperaturas Elevadas

- Aceleram o metabolismo, mas podem desestabilizar enzimas.
- Aumentam a produção de EROs (Espécies Reativas de Oxigênio), que causam danos celulares.
- As plantas ativam mecanismos antioxidantes para se proteger.



Estresse Hídrico

- Aumenta a taxa de respiração para manter funções celulares.
- Pode levar ao consumo excessivo de energia, prejudicando o crescimento.

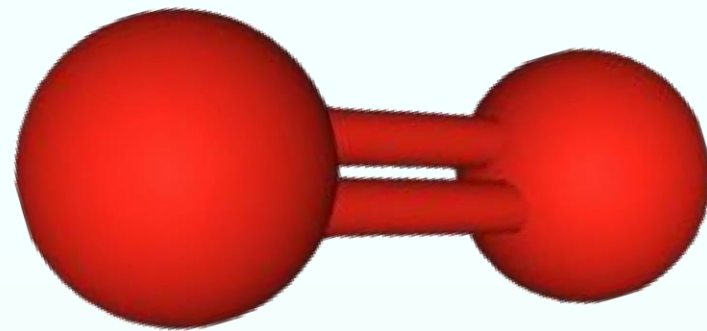
Mudanças na Química Metabólica

- O estresse pode reduzir a eficiência da produção de ATP.
- Algumas plantas ativam vias respiratórias alternativas para compensar as perdas energéticas.



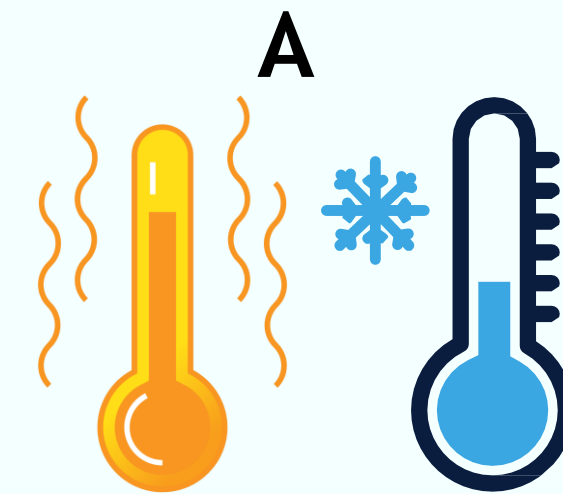
Reguladores da Respiração nas Plantas

OXIGÊNIO (O₂)



A respiração diminui com a diminuição do oxigênio disponível. Sob circunstâncias em que não há oxigênio, ocorre respiração anaeróbica.

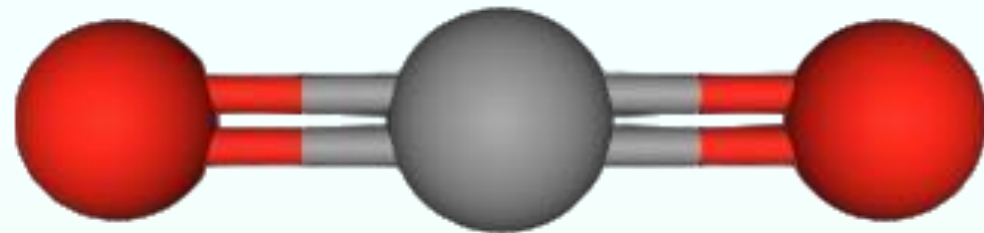
TEMPERATUR



Em temperaturas baixas a taxa de respiração diminui. Em temperaturas de congelamento, a respiração quase cessa. No calor a taxa de respiração aumenta. Em temperaturas muito altas os tecidos são danificados, prejudicando a respiração.

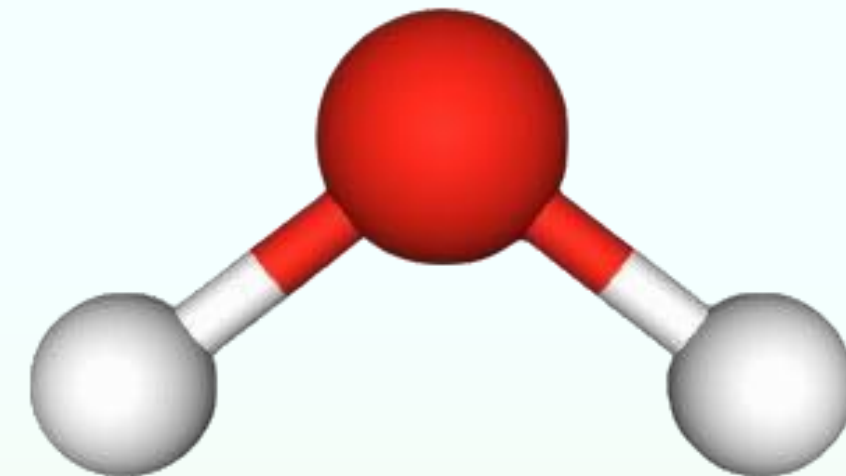
Reguladores da Respiração nas Plantas

DIOXIDO DE CARBONO (CO₂)



Quanto maior a concentração de dióxido de carbono, menor a taxa de respiração.

ÁGUA (H₂O)



O tecido seco, derivado da falta de água, tem uma taxa de respiração mais baixa que o tecido hidratado.

Estratégias para Melhorar a Respiração

1

Promover uma respiração mais eficiente desenvolvidas por meio de programas de melhoramento genético;



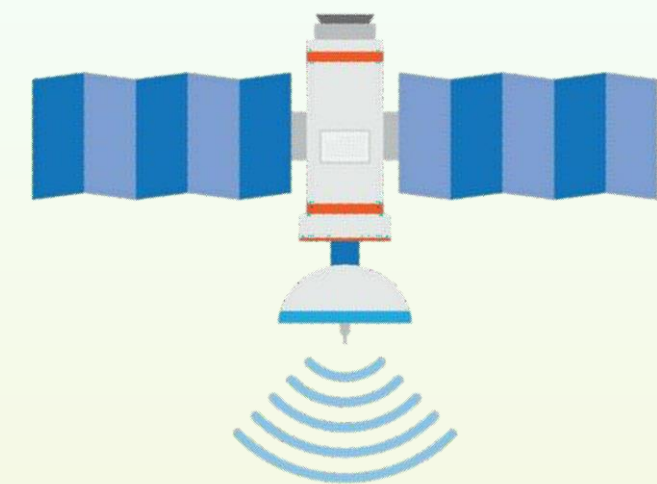
2

Melhora na aeração do solo para otimizar a respiração aeróbica;



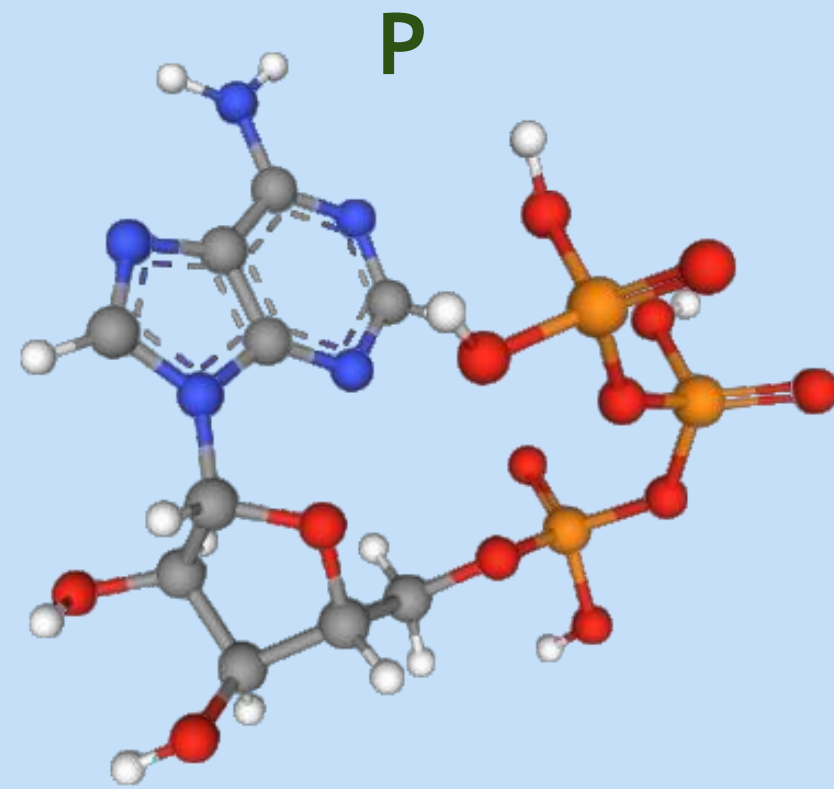
3

Uso de tecnologias para monitoramento da respiração nas lavouras.



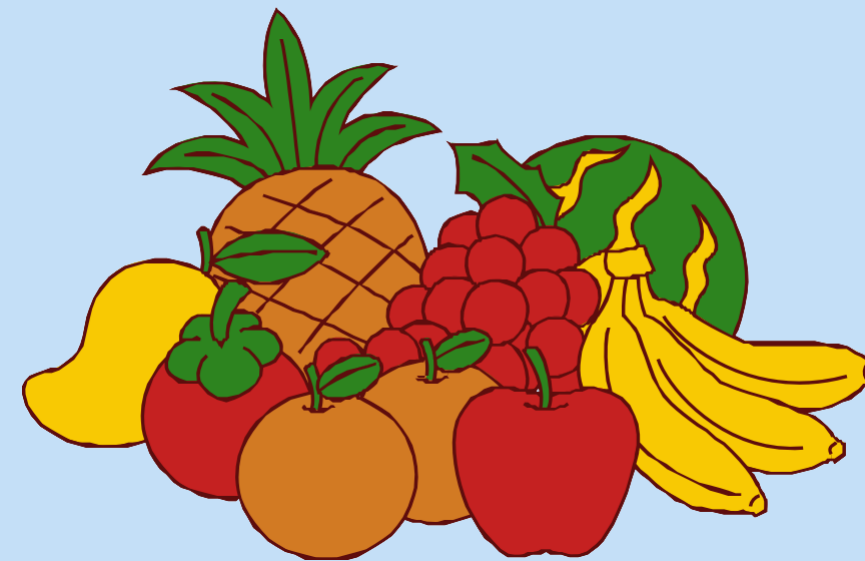
Implicações para a Produção Agrícola

ATP



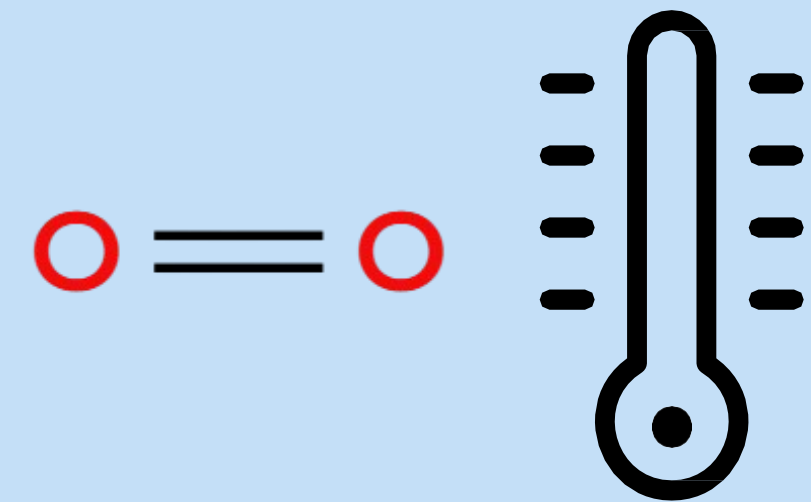
A ineficiência na respiração afeta a produção de ATP, o que desencadeia em uma menor produtividade e crescimento das plantas.

Pós colheita



A respiração se estende pós colheita, resultando em perdas de qualidade e quantidade de produtos agrícolas, como frutas e hortaliças.

Fatores ambientais



Atingindo também fatores ambientais como: temperatura e disponibilidade de oxigênio.

Conclusão

A respiração em plantas de interesse agrônômico é um processo bioquímico essencial para a produção de energia, crucial para o crescimento, desenvolvimento e reprodução. A respiração aeróbica, mais eficiente, utiliza oxigênio para liberar ATP, enquanto a anaeróbica ocorre em condições de baixa disponibilidade de oxigênio, sendo menos eficiente e potencialmente tóxica. Fatores como temperatura, água, nutrientes, luz e gases atmosféricos influenciam a taxa respiratória. O conhecimento da química da respiração permite otimizar práticas agrícolas, como irrigação e fertilização, e reduzir o estresse das plantas. A pesquisa contínua nessa área é fundamental para desenvolver tecnologias e variedades mais eficientes e resistentes.



Referências

- 6GKOLÉCNICO. Kts»ííacÉo Ctlulaí: 6 Foíca Esconaiia nas Planias. Dis»onívtl tÉ: »ii»s://agíoitcnico.coÉ.»í/íts»ííacao-ctlulaí-tÉ-»lanias/. 6ctssotÉ: 28ftv. 2025.
- FENG, V. ti al. Mtc»anisÉs o»flani íts»ííaiion unatí tnvíionÉtnial sítss conaiiions. *Fíoniitís in Plani Scitnct*, v. 12, ». G32878, 2021. DOI: 10.338v/f»ls.2021.G32878.
- »ii»s://»u»c»tÉ.nc»i.niÉ.ni».gov/
- KEKB6UV, G. B. Fisiologia vtgtial. Kio at Jantiío: Guana»aía Koogan, 2004. 452 ».
- L6IZ, L.; OLIVEIK6, K. F. Kts»ííaiion ana gíowi» in cíó» »lanis: In flutnct o»íioic sítss. *Jouínal o»gíiculiuíal Scitnct*, v. 100, n. 7, ». 1423-1437, 2022. DOI: 10.1017/S002185vG21001243.
- MILLEK, G. ti al. Plani íts»ííaiion in íts»onst io tnvíionÉtnial sítsssts ana iÉ»licaiions foí agíonoÉy. *Plani P»ysiology*, v. 182, n. 3, ». v87-1004, 2020. DOI: 10.1104/»»»20.00354.
- K6VEN, P. H.; EVEKL, K. F.; BICHHOKN, S. E. Biologia vtgtial 7.ta. Kio at Jantiío: Guana»aía Koogan, 2007. 85G ».
- L6IZ, L.; ZEIGEK, E.; MOLLEK, I. M.; MUKPHV, G. *Plani »»»ysiology ana atvtlo»Étni*. G.ta. Sunatílana: Sinautí 6ssociaits, 2020.
- L6IZ, L.; ZEIGEK, E. Fisiologia vtgtial. 4.ta. Poíio 6ltgít: 6íiÉta, 2008. 820 ».
- ZHENG, D. M. ti al. LtÉ»tíaiuít íts»onsts o»íts»ííaiion in lig»i ana aaíknstss aít síÉilaí ana Éoaulaita »y taatvtlo»Étni. *Plani, Ctlí & EnviíonÉtni*, v. 45, n. 11, ». 32vO-3303, 2022.





CAPÍTULO 2



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA

INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTA - IBEF

BACHARELADO EM AGRONOMIA

FISIOLOGIA VEGETAL

A QUÍMICA DO AJUSTAMENTO OSMÓTICO EM PLANTAS DE INTERESSE AGRONÔMICO

DOCENTE: DRA. PATRÍCIA CHAVES DE OLIVEIRA

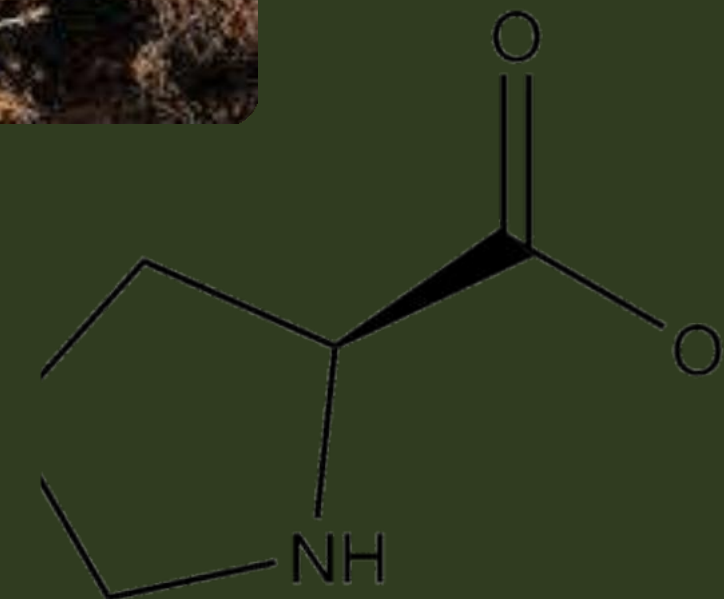
DISCENTES: HELLEM MARINÊS ANDRADE DUARTE; JHEINE CRISTIANE SIMA;
MICHELE BRAGA FERREIRA DO ROSÁRIO; MANOEL GLEIZER COELHO DE SOUZA.



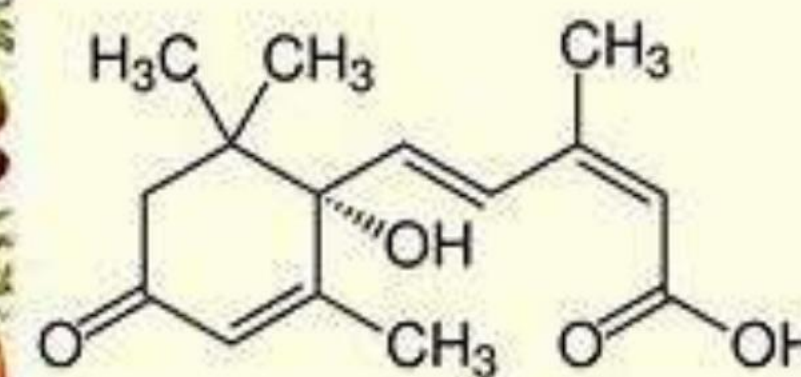
INTRODUÇÃO

O ajustamento osmótico é um decréscimo do potencial osmótico causado pelo acúmulo de solutos nas células, o qual mantém o gradiente de potencial hídrico e, ao mesmo tempo, a turgescência necessária ao crescimento celular, Segundo, Filho et al., (2001).

Em condições naturais e agriculturáveis, as plantas estão freqüentemente expostas ao estresse ambiental. Alguns fatores dessa natureza, como a temperatura do ar, por exemplo, podem se tornar estressantes em poucos minutos; enquanto outros, como conteúdo de água no solo, podem levar dias ou até semanas. Além disso, o estresse desempenha um papel importante na determinação de como o solo limita a distribuição de espécies vegetais, (Taiz & Zeiger)



Prolina



SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO

OSMÓTICO

O acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos em resposta às condições estressantes de baixa disponibilidade de água e salinidade é um importante mecanismo desenvolvido pelas plantas que toleram a seca com baixo potencial hídrico.

A importância e contribuição dos solutos envolvidos no ajustamento osmótico em resposta à baixa disponibilidade de água varia com a espécie. Em forrageiras tropicais, o potássio e o cloro foram apontados como sendo os solutos que mais contribuem, enquanto que em soja, os principais solutos acumulados foram os aminoácidos, a glicose, a frutose e a sacarose.



CORO

Cloro

[Fórmula química](#)

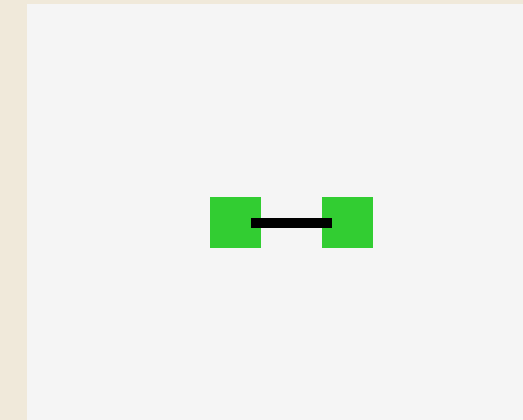
Cl₂

Nome IUPAC

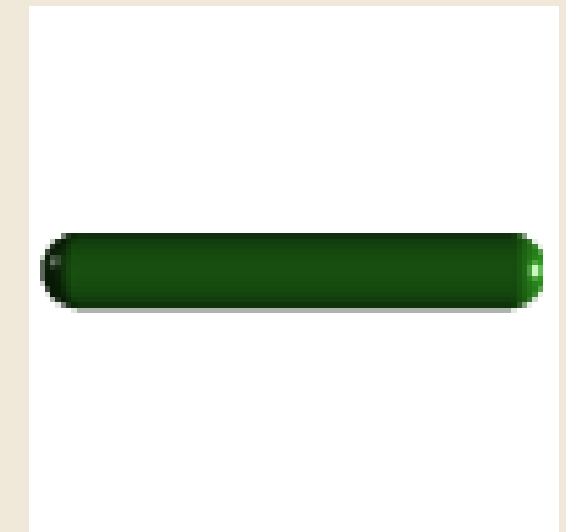
cloro molecular

Outros nomes

- 7782-50-5
- CL
- Cloro molecular
- dicloro



estrutura 2D



estrutura 3D



Cristal

POTÁSSIO

Potássio

[Fórmula química](#)

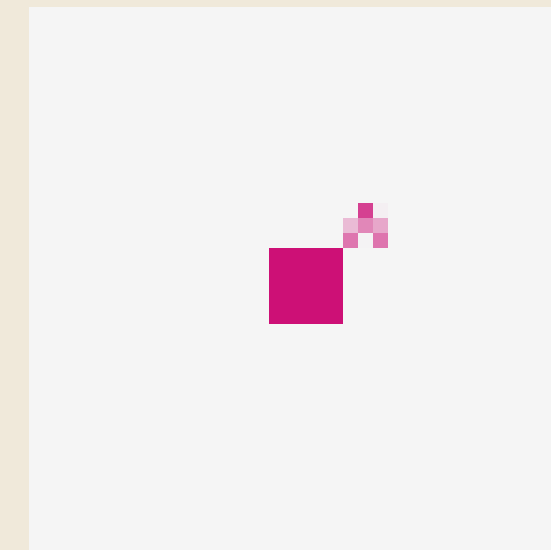
E

Nome IUPAC

potássio

Outros nomes

- 7440-09-7
- E
- Kálio
- Potássio, metal



estrutura 2D

GLICOSE

Glicose

[Fórmula química](#)

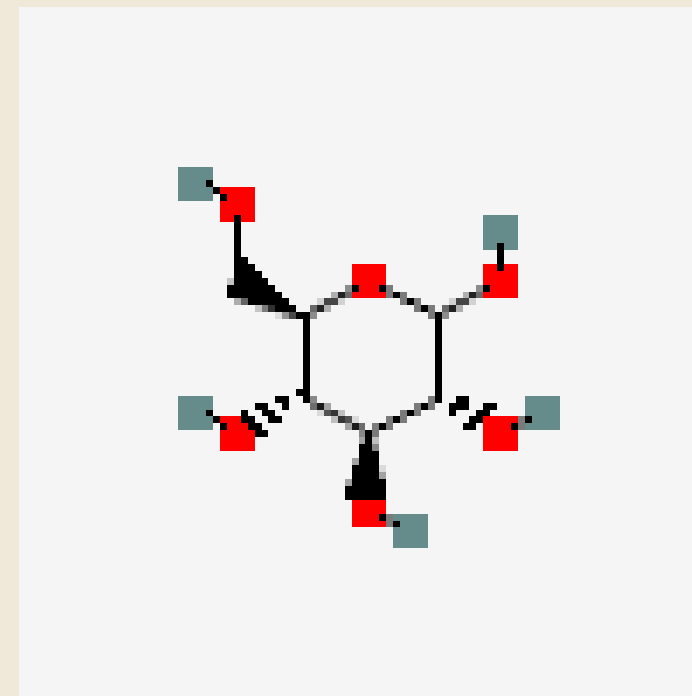
C₆H₁₂O₆

Nome IUPAC

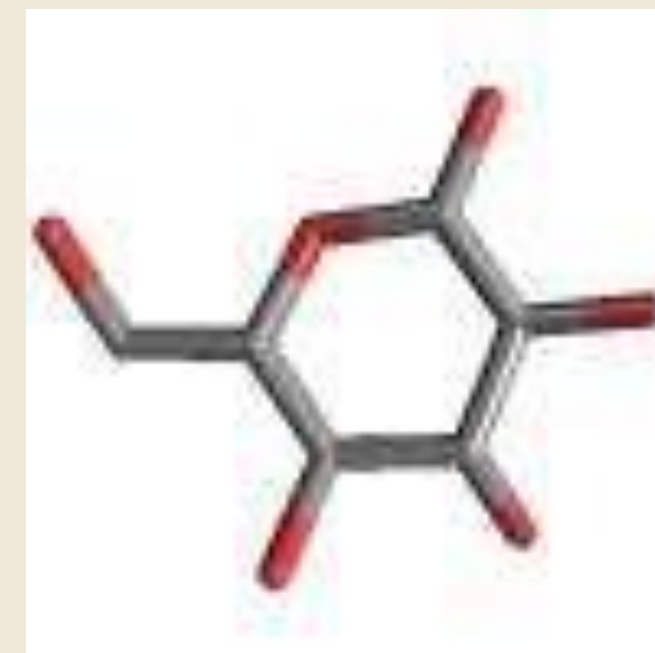
(3R,4S,5S,6R)-6-(hidroximetil)oxano-
2,3,4,5-tetrol

Outros nomes

- D-glicose
- glicose
- D-Glucopiranoose
- Glucopiranoose
- d-glucopiranosídeo



estrutura 2D



estrutura 3D

FRUTOSE

Frutose

[Fórmula química](#)

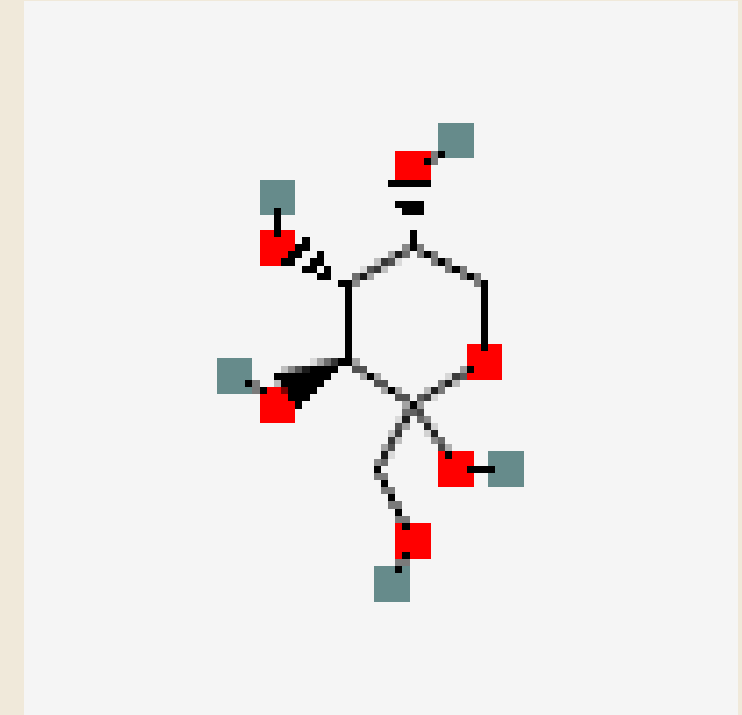
C₆H₁₂O₆

Nome IUPAC

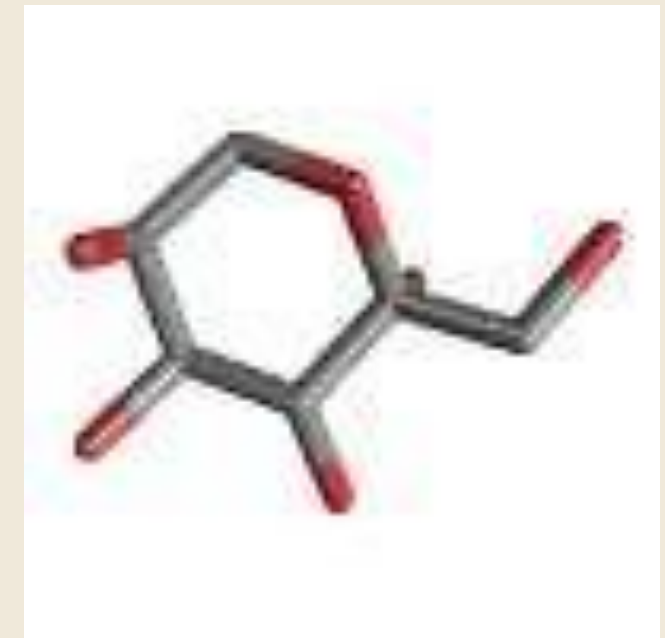
(3S,4R,5R)-2-(hydroxymethyl)oxane-
2,3,4,5-tetrol

Outros nomes

- D-frutopiranosose
- D-frutose
- frutopiranosose
- frutopiranosídeo



estrutura 2D



estrutura 3D

SACAROSE

Sacarose

[Fórmula química](#)

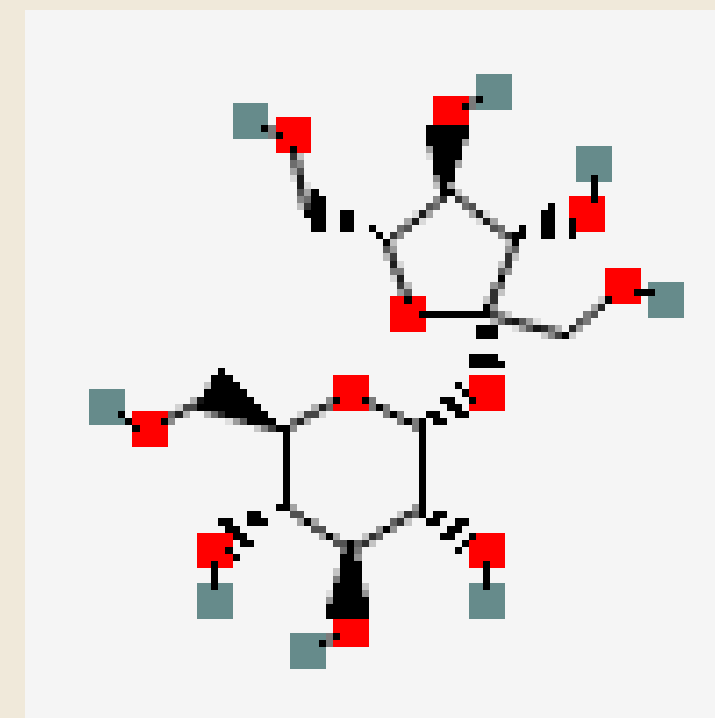
C₁₂H₂₂O₁₁

Nome IUPAC

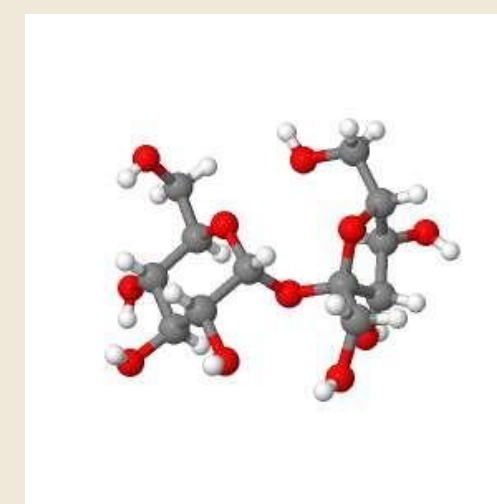
(3R,4S,5S,6R)-6-(hidroximetil)oxano-
2,3,4,5-tetrol

Outros nomes

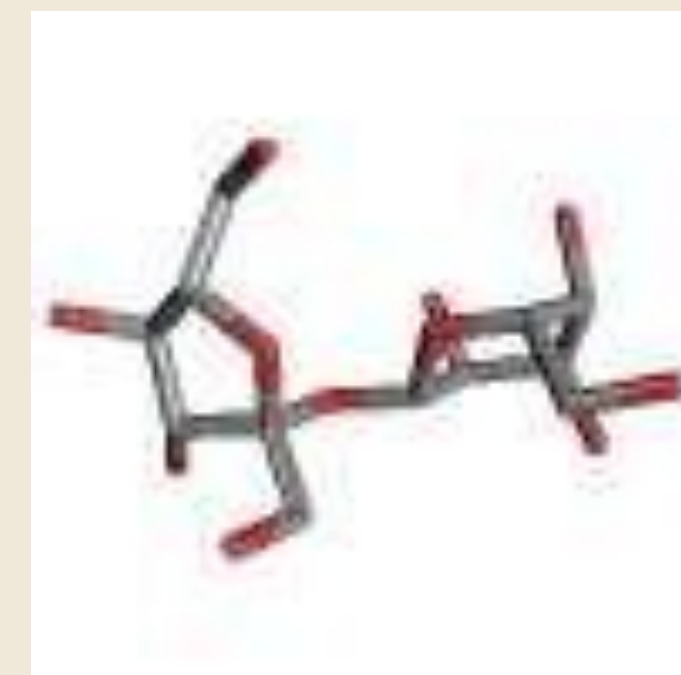
- 57-50-1
- sacarose
- açúcar
- Açúcar de mesa



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Pinhão-Manso

O Pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*) é uma espécie oleaginosa viável para a obtenção do biocombustível.

A glicina betaína tem papel quantitativo mais importante do que a prolina no ajustamento osmótico, tanto em presença quanto em ausência de salinidade.



PROLINA

Prolina

[Fórmula química](#)

C5H9NO2

Nome IUPAC

(S)-Pyrrolidine-2-carboxylic acid

Outros nomes

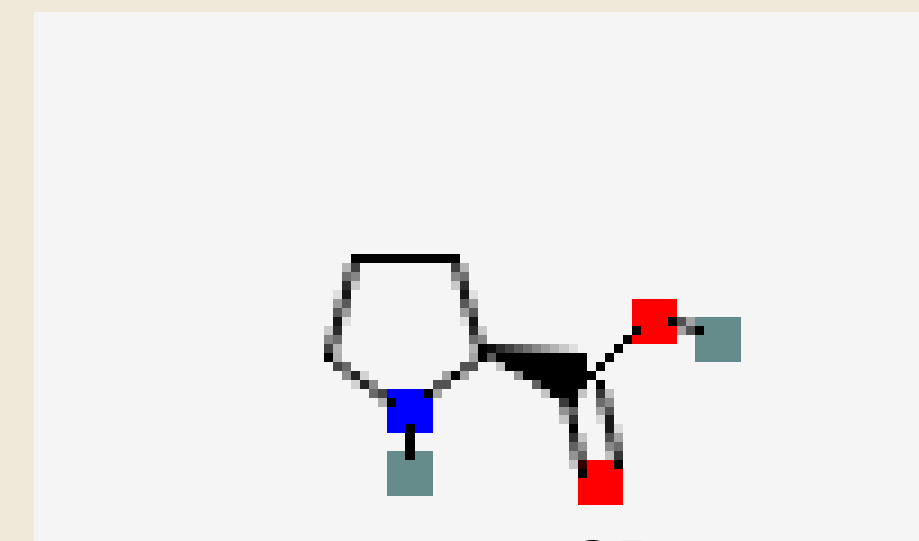
L-Prolina(S)-ProlinaD-Prolina(R)-
ProlinaÁcido (2S)-Pirrolidino-2-
carboxílicoÁcido (2S)-1,3,4,5-tetraidro-
2H-pirrol-2-carboxílicoÁcido (2S)-
azaciclopentano-2-carboxílicoÁcido
(2S)-azolidino-2-carboxilícoPro, P
(abreviaturas)



estrutura 3D



estrutura 3D

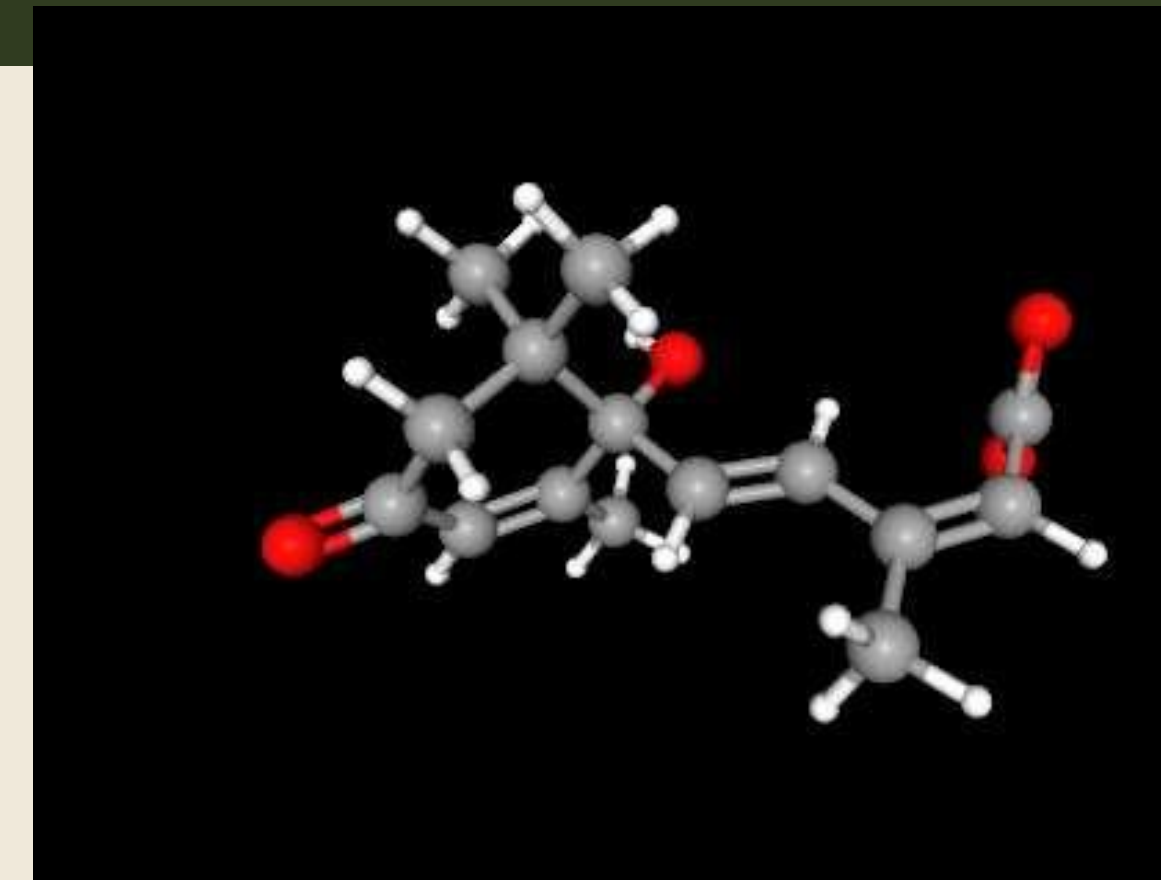


estrutura 2D

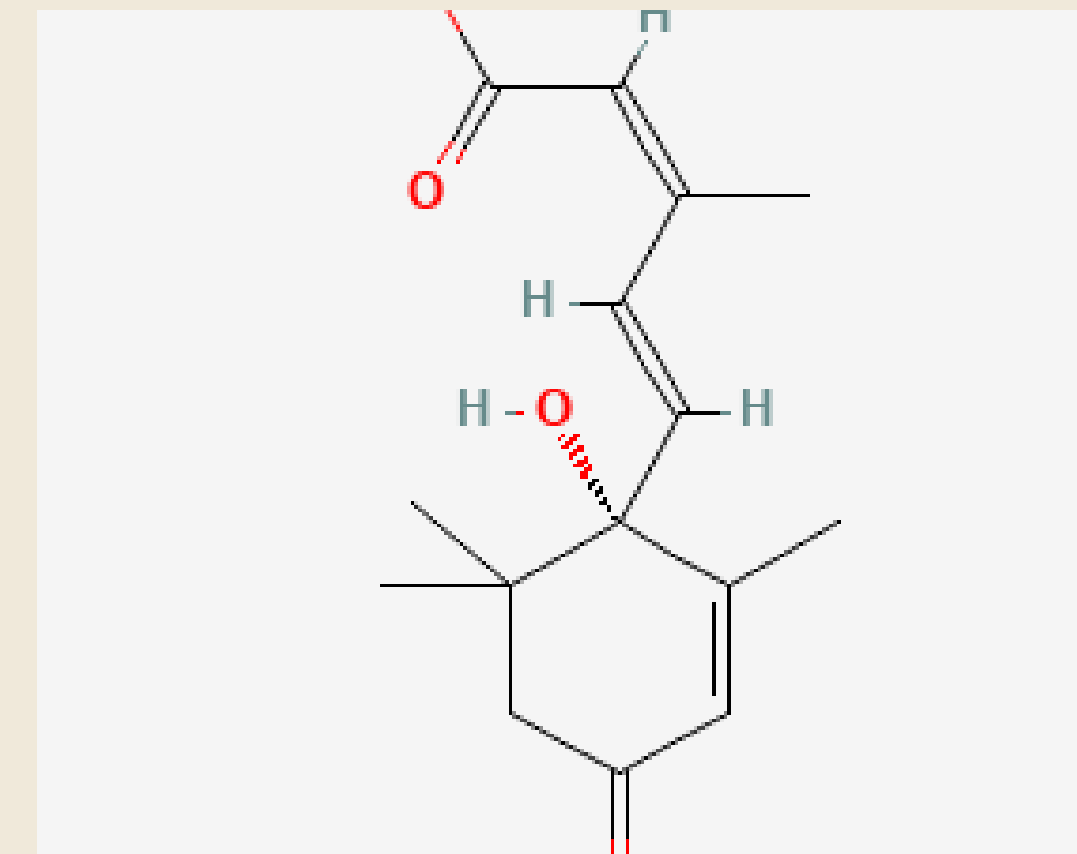
ÁCIDO ABSCÍSIKO

O ácido abscísico é um hormônio encontrado nos tecidos das plantas vasculares, em musgos, e sintetizados em todas as células que possuem cloroplastos. Desta forma, possui várias funções fisiológicas nos vegetais, dentre elas o fechamento estomático. Sendo um dos principais mecanismos de defesa da planta quando encontrada sob estresse hídrico. Nessas condições o tecido das plantas apresenta um acréscimo na concentração de ABA (ácido abscísico)

fórmula molecular	C ₁₅ H ₂₀ O ₄
Nome IUPAC	Ácido S-(Z,E)-5-(1-hidroxi-2,6,6-trimetil-4-oxo-2-ciclohexen-1-il)-3-metil-2,4-pentadienoico
Ponto de fusão	161-163 °C
Ponto de ebulição	120 °C (sublima)



estrutura 3D



estrutura 2D

BETAÍNA

Betaína

Fórmula química

C₅H₁₁NO₂

Nome IUPAC

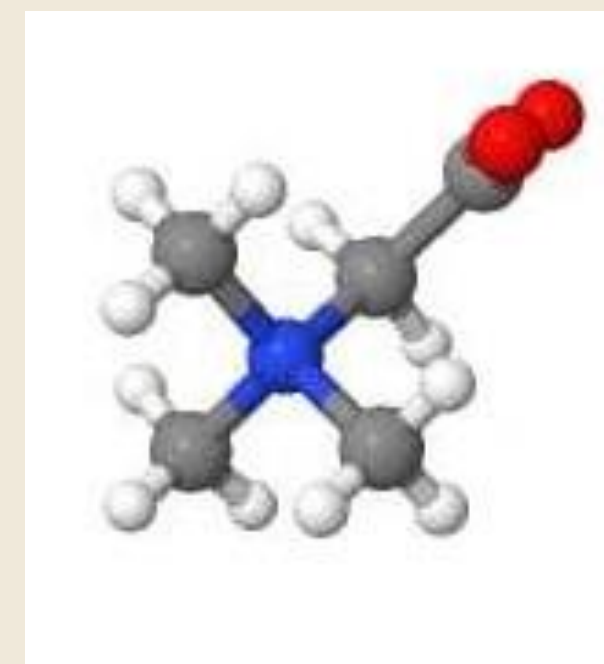
2-(trimetilazaniomil)acetato

Outros nomes

betaína
107-43-7
glicina betaína
oxineurina
Trimetilglicina



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*, *Poaceae*) é considerada uma das melhores opções para a produção de energia renovável, com grande importância no cenário agrícola mundial .

Em plantas jovens da cultivar de cana-de-açúcar IAC91-5155, os solutos compatíveis trealose, glicina betaína e prolina são indicadores do efeito da interação dos estresses hídrico e ácido no solo.



TREALOSE

Trealose

[Fórmula química](#)

C₁₂H₂₂O₁₁

Nome IUPAC

Alpha-D-Glucopyranosyl-Alpha-D-Glucopyranoside

Outros nomes

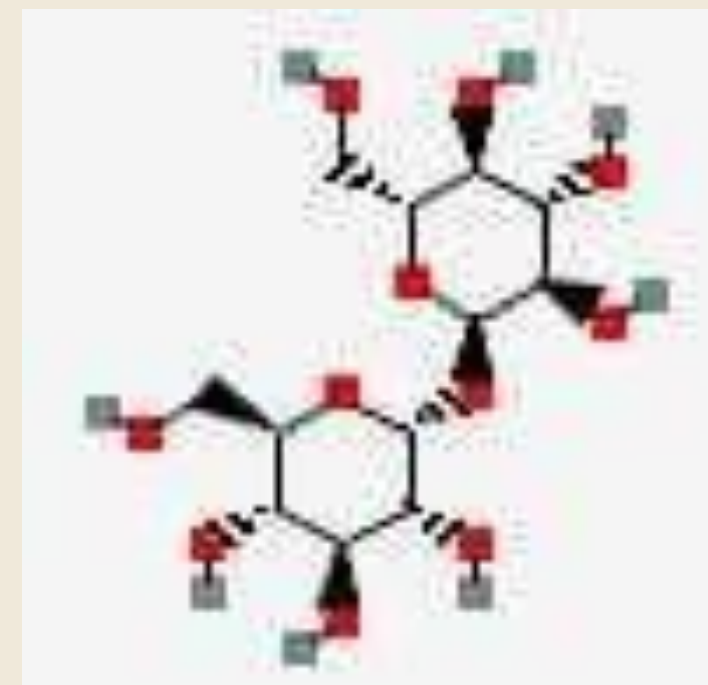
trealose

99-20-7

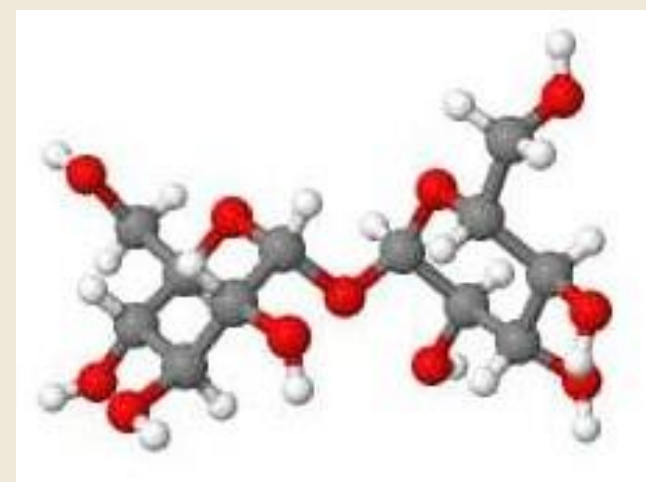
D-Trealose

D-(+)-Trealose

Micoses



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

GLICINA

Glicina

Fórmula química

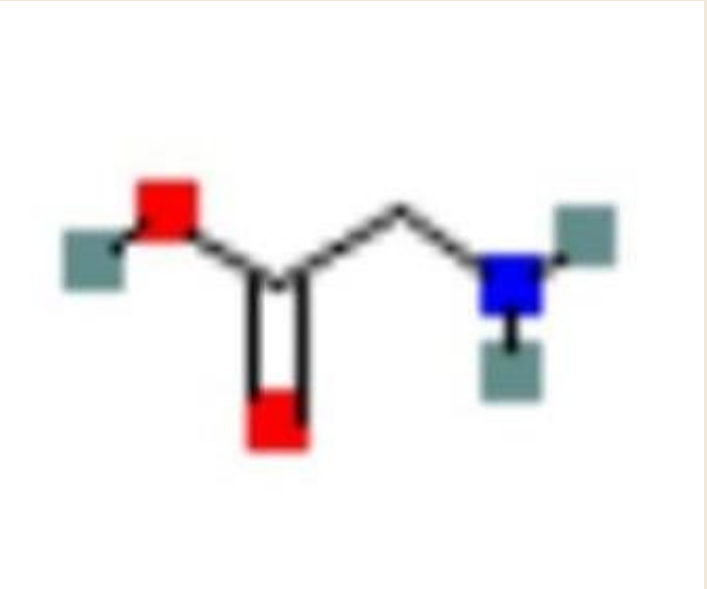
C5H9NO2

Nome IUPAC

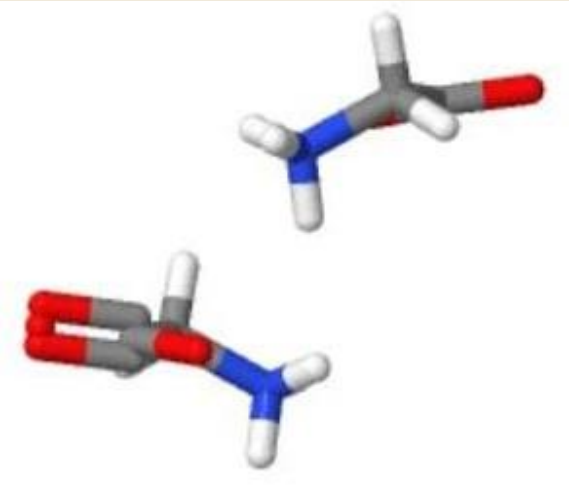
(2S)-pyrrolidine-2-carboxylic acid

Outros nomes

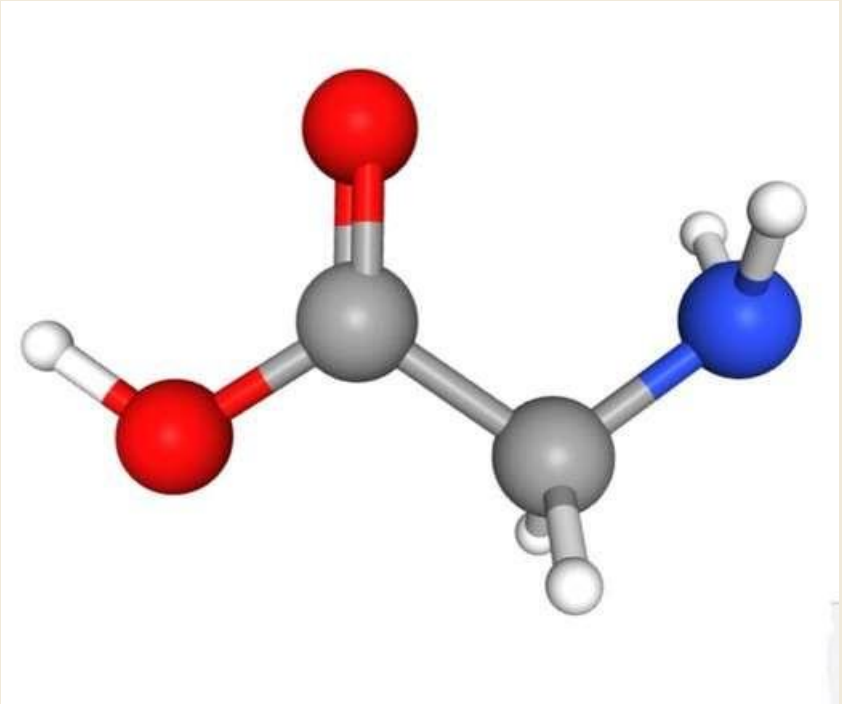
glycine
56-40-6
2-Aminoacetic acid
aminoacetic acid
Glycocoll



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Trigo (*Triticum aestivum* L.)

As plantas, quando expostas a diversos tipos de estresse ambiental, notadamente o hídrico, podem apresentar acúmulo de prolina, putrescina e poliaminas.

O acúmulo desses compostos sob déficit hídrico tem sido associado com a tolerância das plantas a essa condição desfavorável, podendo representar um mecanismo regulador da perda de água, mediante aumento da osmolaridade celular (potencial hídrico).



PUTRESCINA

PUTRESCINA

Fórmula química

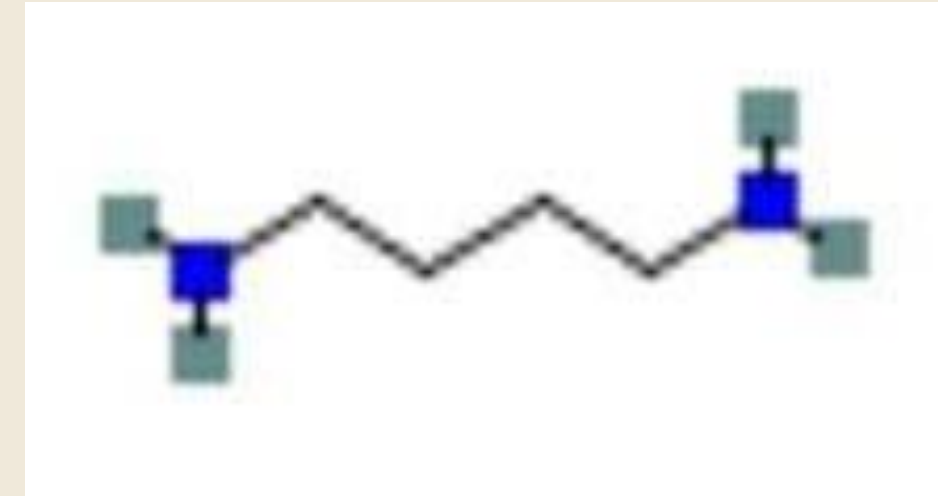
C₄H₁₂N₂

Nome IUPAC

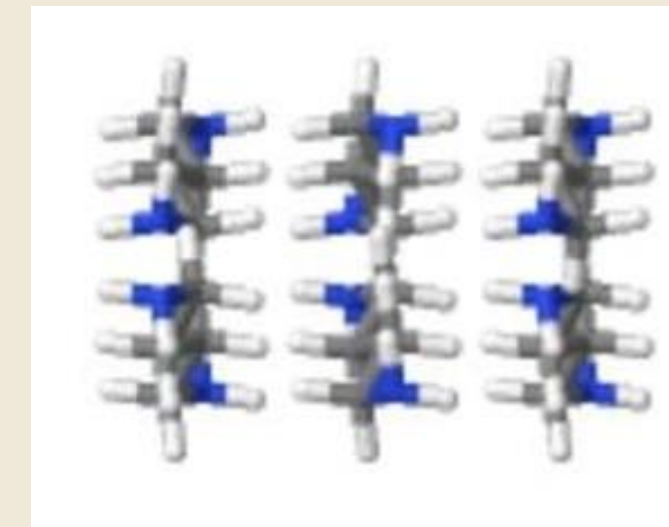
butane-1,4-diamine

Outros nomes

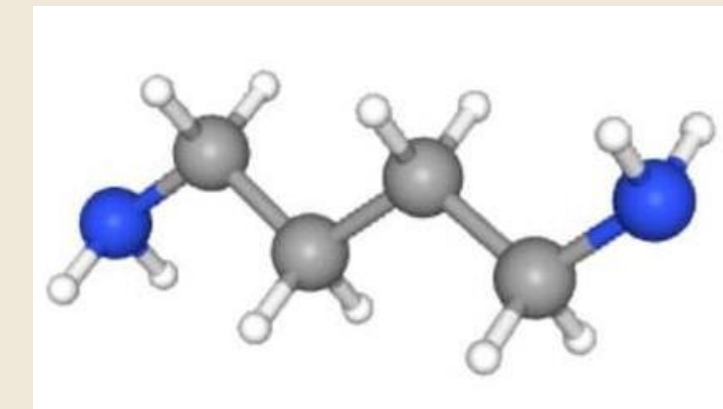
1,4-diaminobutane
putrescine
1,4-butanediamine
110-60-1
butane-1,4-diamine



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

ÁGUA

Água

Fórmula química

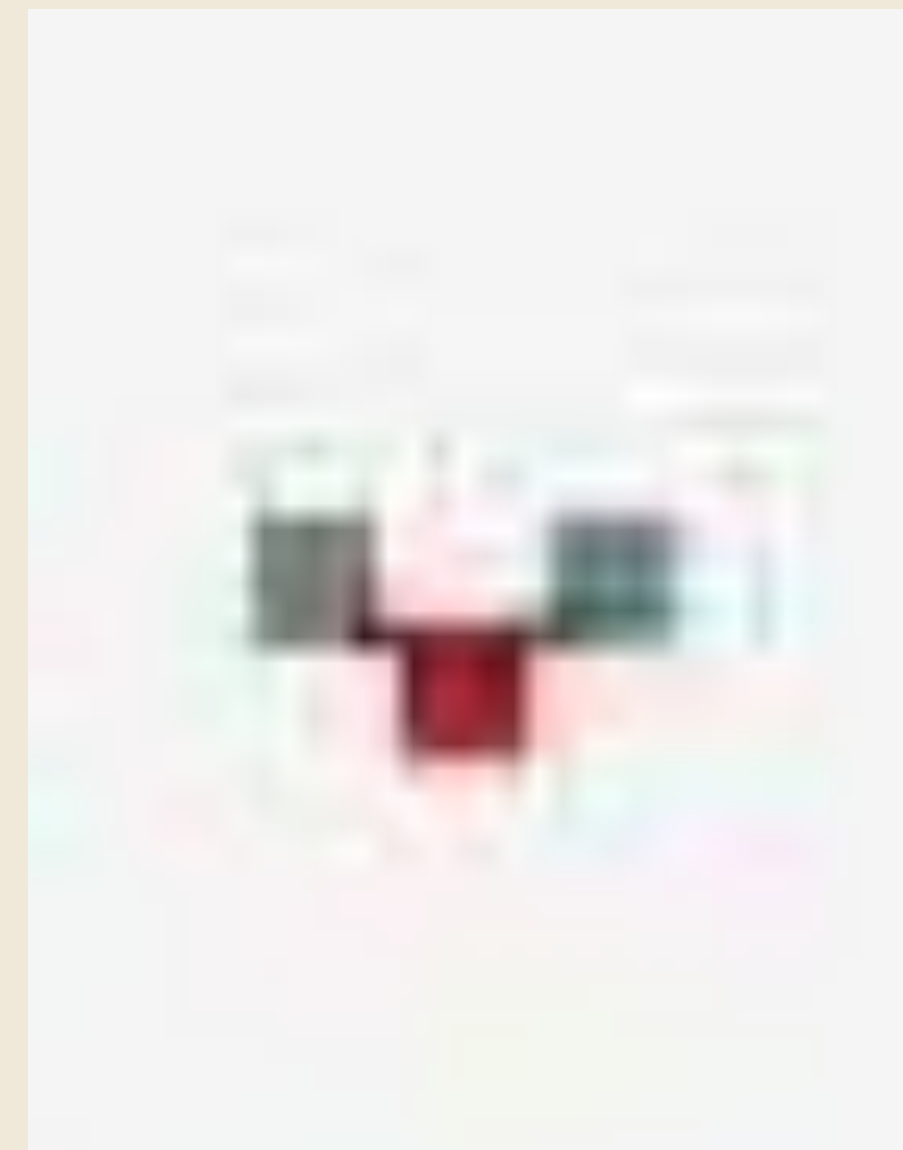
H₂O

Nome IUPAC

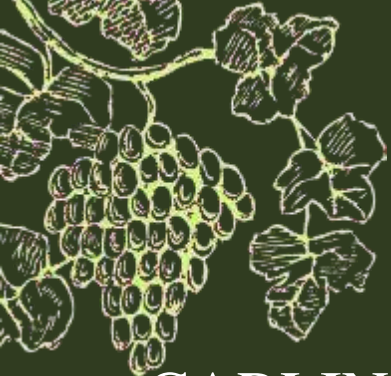
Água

Outros nomes

água
7732-18-5
Água destilada
Óxido de di-hidrogênio
Água estéril



estrutura 2D



BIBLIOGRAFIA

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. dos. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1106-1113, set. 2009.

Disponível em <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>> Acesso em 20 de fevereiro de 2025.

Filho, J.T.C., Seraphin, E.S. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. *Revista brasil. Bot.*, São Paulo, V.24, n.2, p.199-204, jun. 2001.

FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 4, p. 449-453, abr. 2002.

Maia, P. S.P., Neto, C. F. de O., Castro, D. da S., Freitas, J.M.N. de F., Lobato, A. K. da S., Costa, R.C.L. Conteúdo Relativo de Água, Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho submetidas a Estresse Hídrico. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 918-920, jul. 2007.



CAPÍTULO 2





UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA

INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTA - IBEF

BACHARELADO EM AGRONOMIA

FISIOLOGIA VEGETAL

A QUÍMICA DO AJUSTAMENTO OSMÓTICO EM PLANTAS DE INTERESSE AGRONÔMICO

DOCENTE: DRA. PATRÍCIA CHAVES DE OLIVEIRA

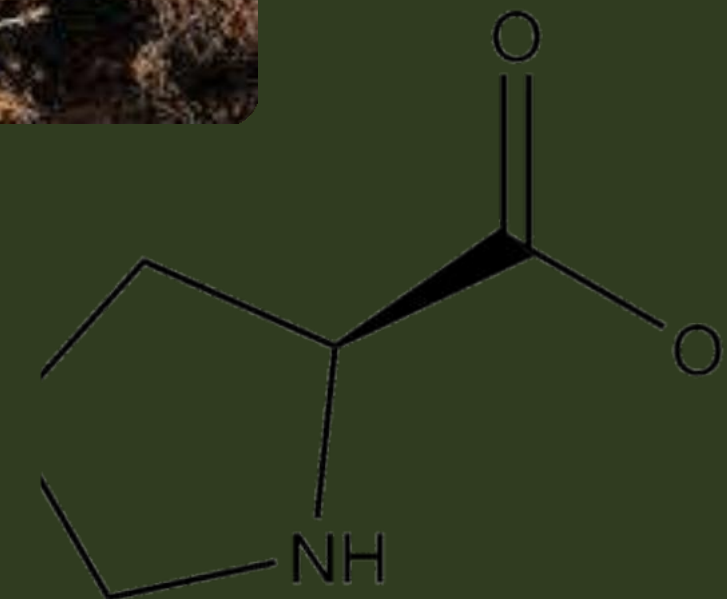
DISCENTES: HELLEM MARINÊS ANDRADE DUARTE; JHEINE CRISTIANE SIMA;
MICHELE BRAGA FERREIRA DO ROSÁRIO; MANOEL GLEIZER COELHO DE SOUZA.



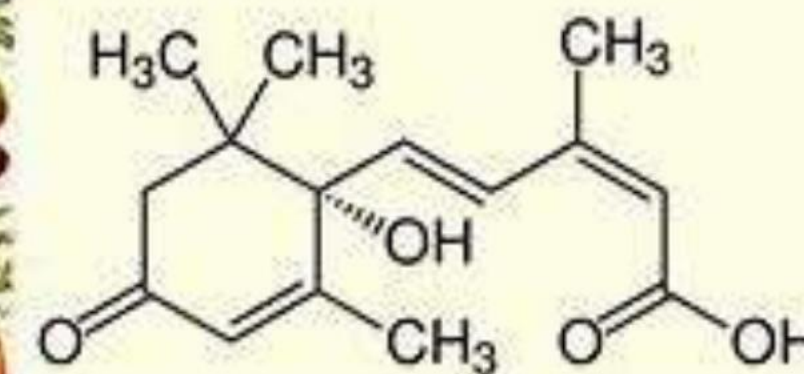
INTRODUÇÃO

O ajustamento osmótico é um decréscimo do potencial osmótico causado pelo acúmulo de solutos nas células, o qual mantém o gradiente de potencial hídrico e, ao mesmo tempo, a turgescência necessária ao crescimento celular, Segundo, Filho et al., (2001).

Em condições naturais e agriculturáveis, as plantas estão freqüentemente expostas ao estresse ambiental. Alguns fatores dessa natureza, como a temperatura do ar, por exemplo, podem se tornar estressantes em poucos minutos; enquanto outros, como conteúdo de água no solo, podem levar dias ou até semanas. Além disso, o estresse desempenha um papel importante na determinação de como o solo limita a distribuição de espécies vegetais, (Taiz & Zeiger)



Prolina



SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO

OSMÓTICO

O acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos em resposta às condições estressantes de baixa disponibilidade de água e salinidade é um importante mecanismo desenvolvido pelas plantas que toleram a seca com baixo potencial hídrico.

A importância e contribuição dos solutos envolvidos no ajustamento osmótico em resposta à baixa disponibilidade de água varia com a espécie. Em forrageiras tropicais, o potássio e o cloro foram apontados como sendo os solutos que mais contribuem, enquanto que em soja, os principais solutos acumulados foram os aminoácidos, a glicose, a frutose e a sacarose.



CORO

Cloro

[Fórmula química](#)

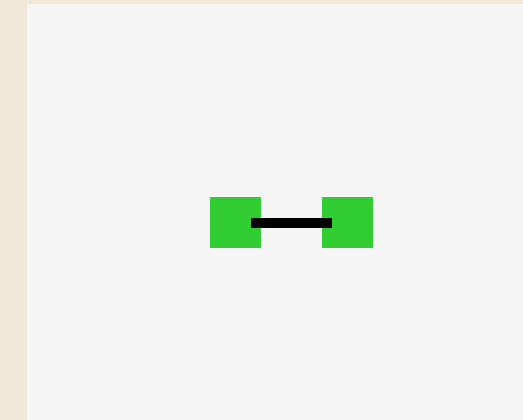
Cl₂

Nome IUPAC

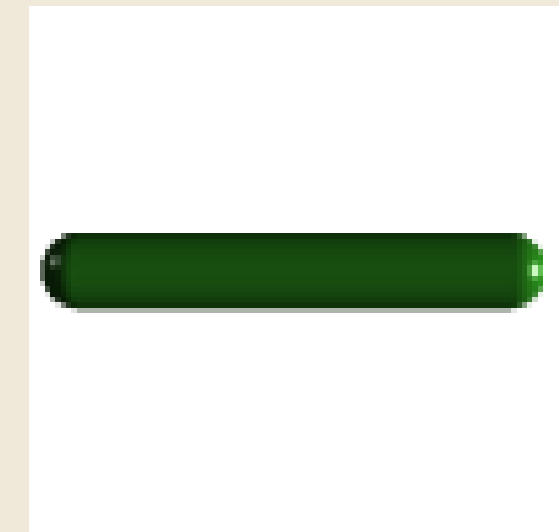
cloro molecular

Outros nomes

- 7782-50-5
- CL
- Cloro molecular
- dicloro



estrutura 2D



estrutura 3D



Cristal

POTÁSSIO

Potássio

[Fórmula química](#)

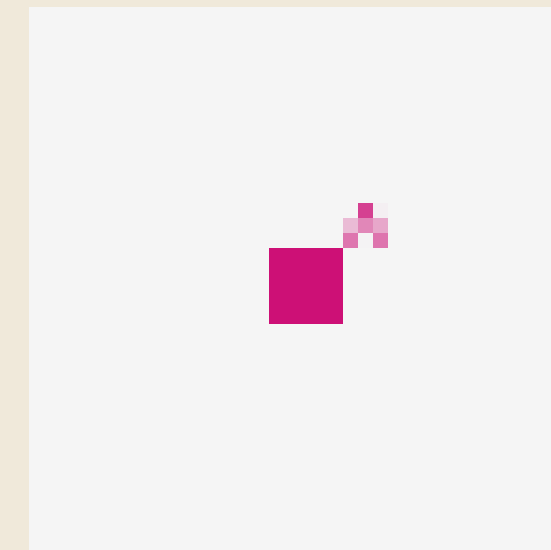
E

Nome IUPAC

potássio

Outros nomes

- 7440-09-7
- E
- Kálio
- Potássio, metal



estrutura 2D

GLICOSE

Glicose

[Fórmula química](#)

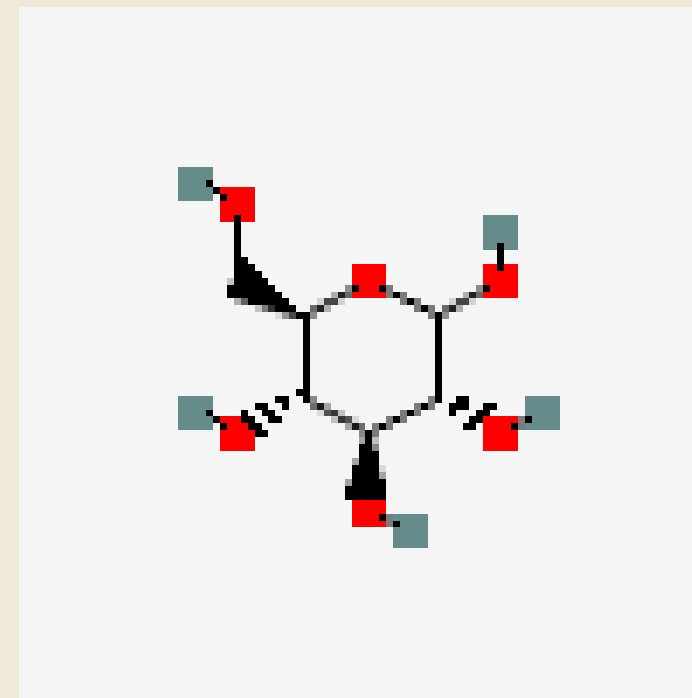
C₆H₁₂O₆

Nome IUPAC

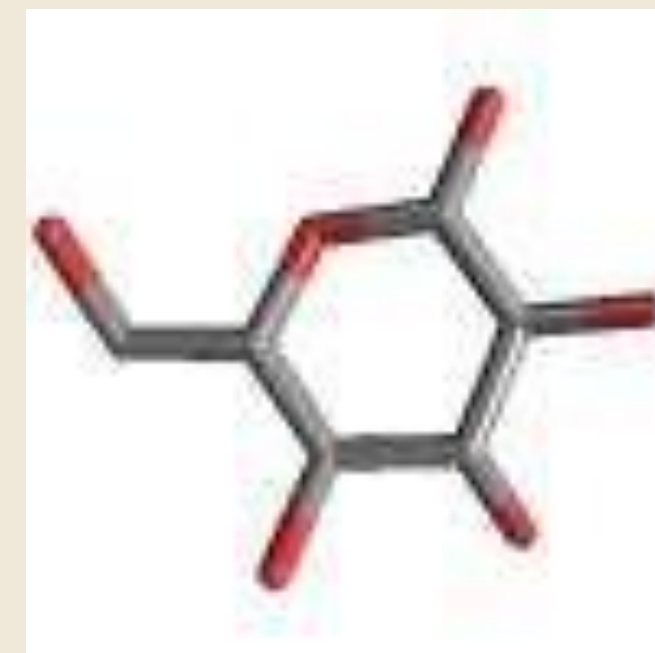
(3R,4S,5S,6R)-6-(hidroximetil)oxano-
2,3,4,5-tetrol

Outros nomes

- D-glicose
- glicose
- D-Glucopiranosose
- Glucopiranosose
- d-glucopiranosídeo



estrutura 2D



estrutura 3D

FRUTOSE

Frutose

[Fórmula química](#)

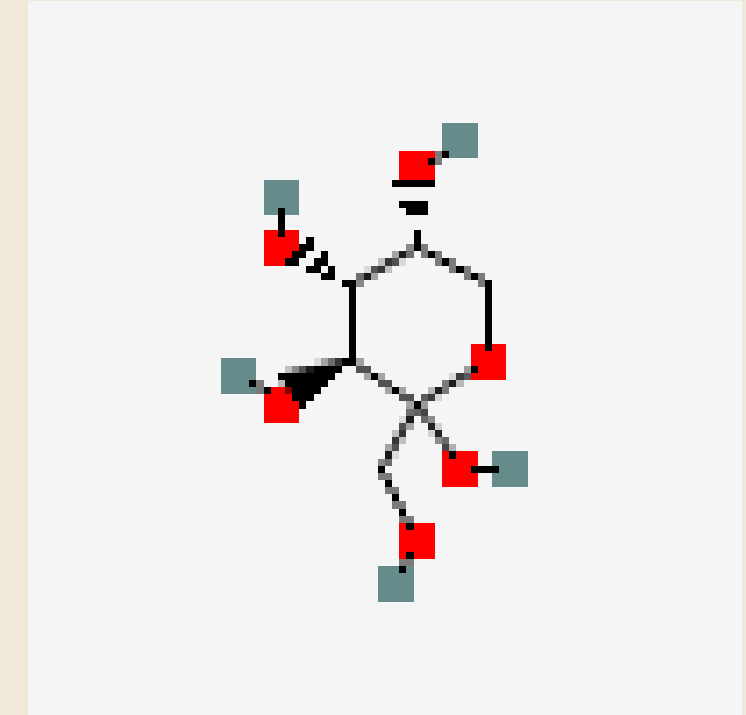
C₆H₁₂O₆

Nome IUPAC

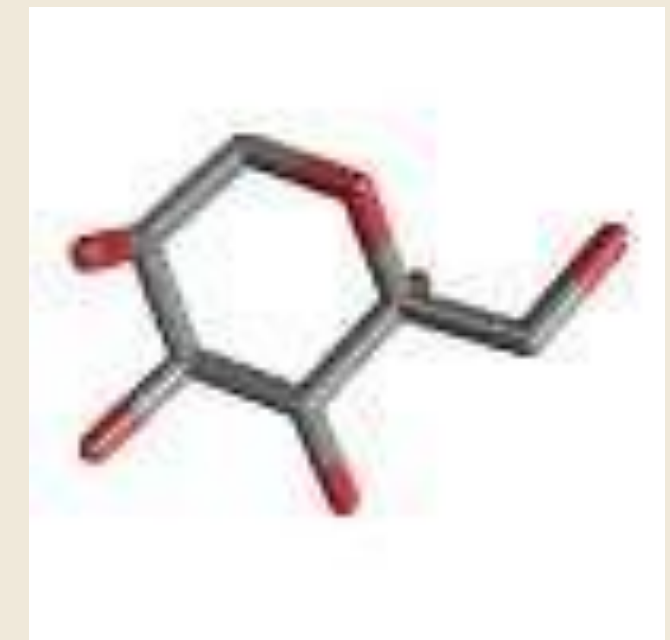
(3S,4R,5R)-2-(hydroxymethyl)oxane-
2,3,4,5-tetrol

Outros nomes

- D-frutopirranose
- D-frutose
- frutopirranose
- frutopiranosídeo



estrutura 2D



estrutura 3D

SACAROSE

Sacarose

[Fórmula química](#)

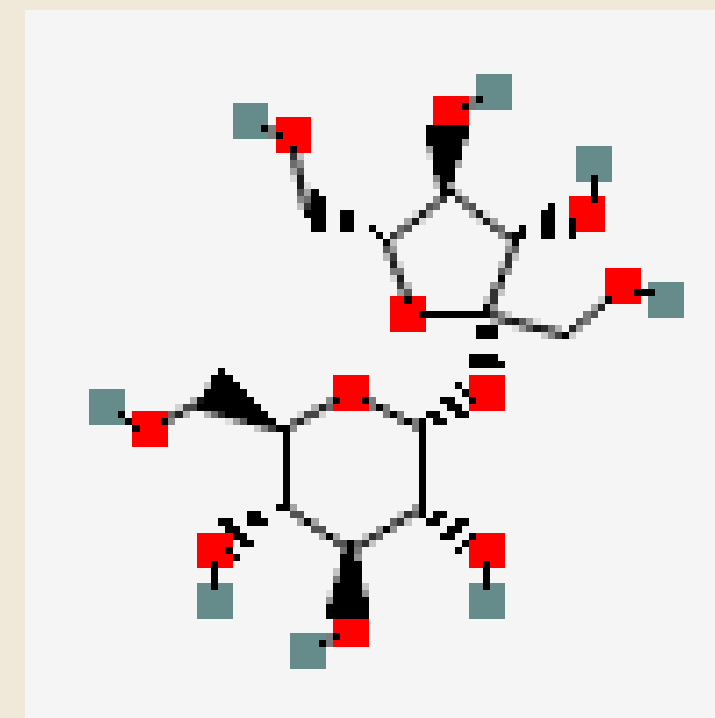
C₁₂H₂₂O₁₁

Nome IUPAC

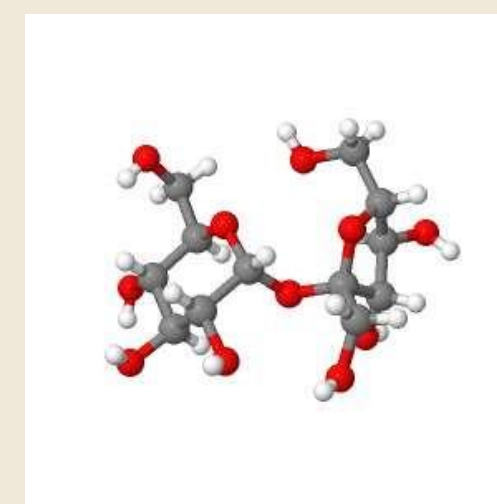
(3R,4S,5S,6R)-6-(hidroximetil)oxano-
2,3,4,5-tetrol

Outros nomes

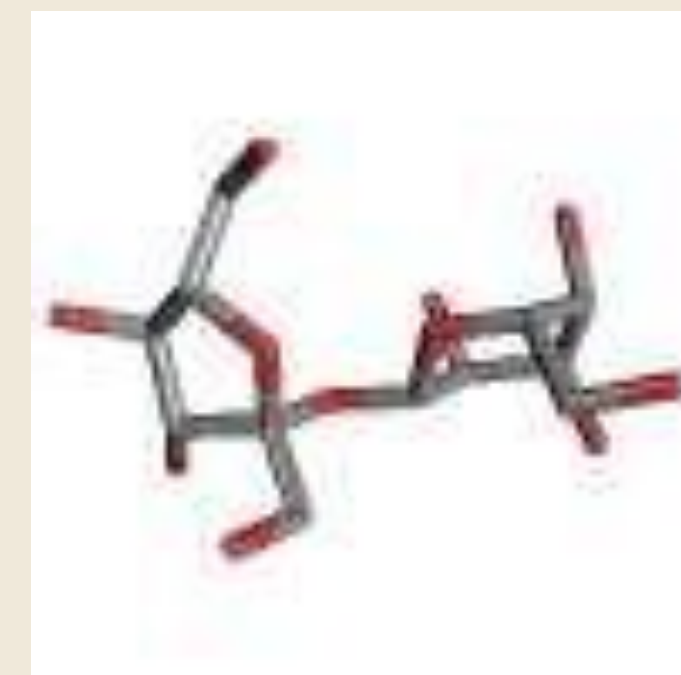
- 57-50-1
- sacarose
- açúcar
- Açúcar de mesa



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Pinhão-Manso

O Pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*) é uma espécie oleaginosa viável para a obtenção do biocombustível.

A glicina betaína tem papel quantitativo mais importante do que a prolina no ajustamento osmótico, tanto em presença quanto em ausência de salinidade.



PROLINA

Prolina

[Fórmula química](#)

C5H9NO2

Nome IUPAC

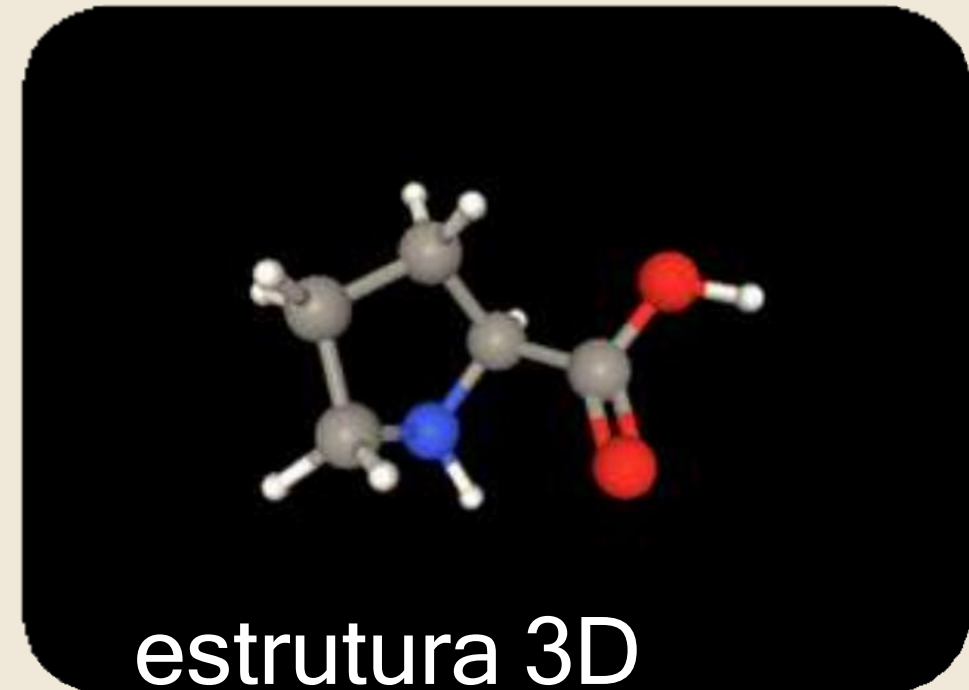
(S)-Pyrrolidine-2-carboxylic acid

Outros nomes

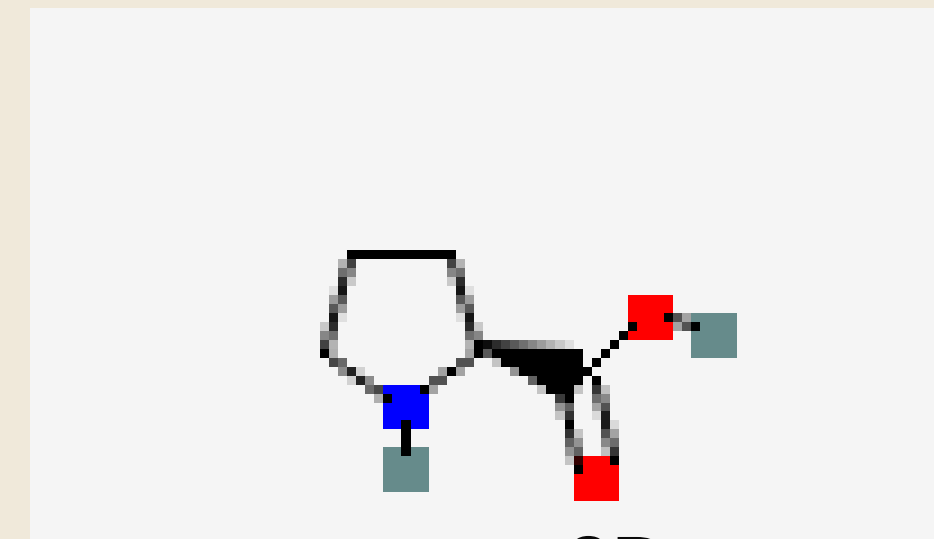
L-Prolina(S)-ProlinaD-Prolina(R)-
ProlinaÁcido (2S)-Pirrolidino-2-
carboxílicoÁcido (2S)-1,3,4,5-tetraidro-
2H-pirrol-2-carboxílicoÁcido (2S)-
azaciclopentano-2-carboxílicoÁcido
(2S)-azolidino-2-carboxilícoPro, P
(abreviaturas)



estrutura 3D



estrutura 3D

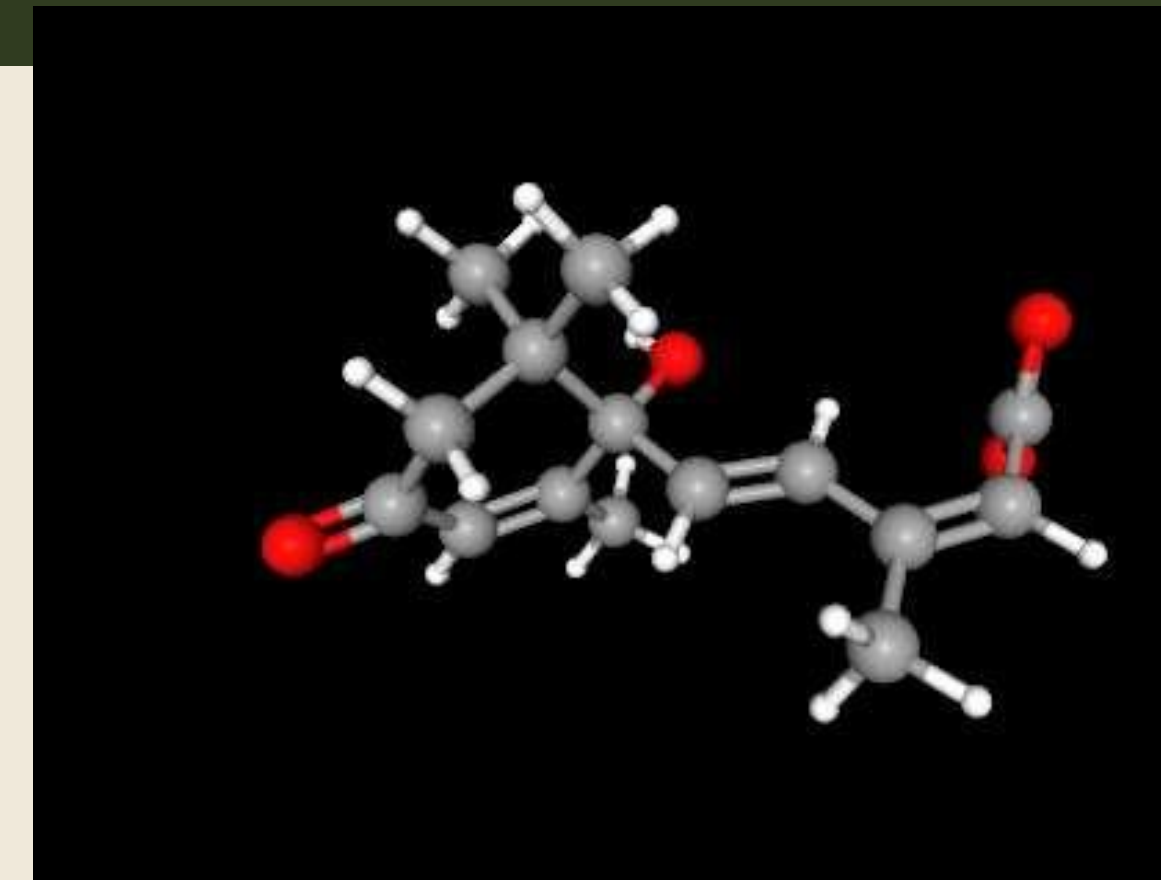


estrutura 2D

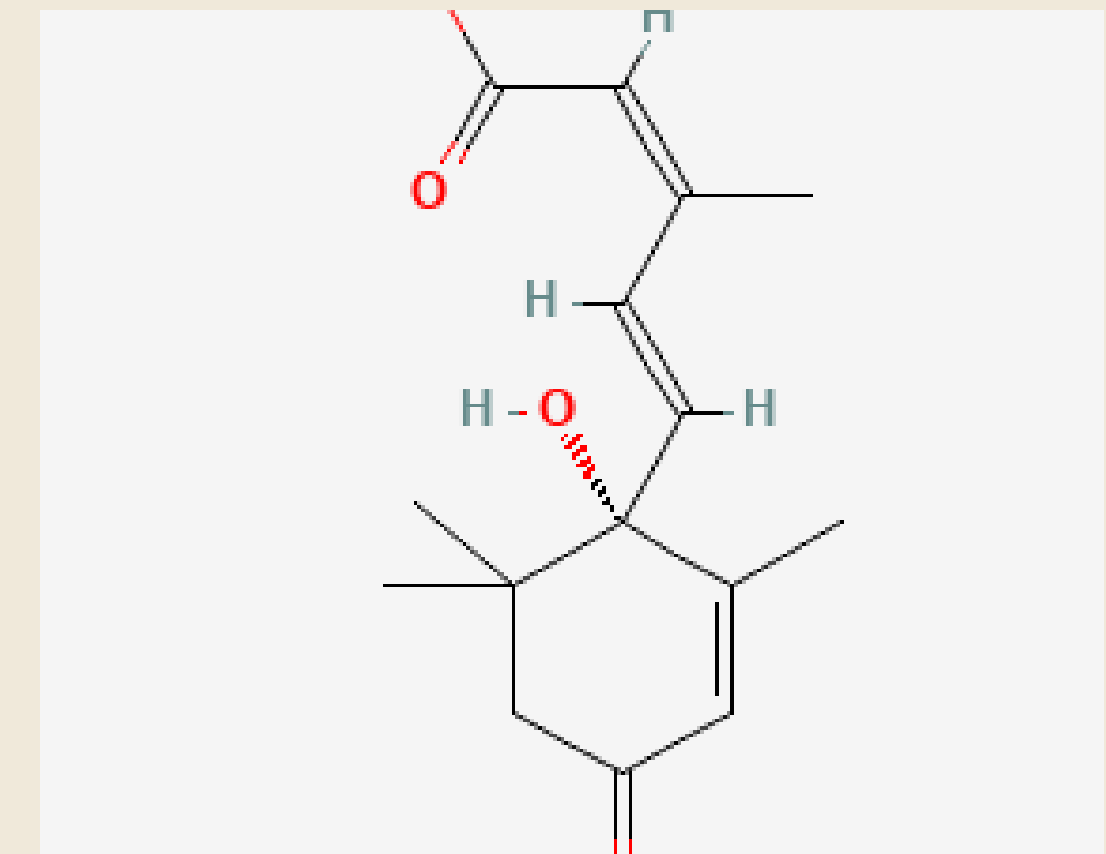
ÁCIDO ABSCÍSIKO

O ácido abscísico é um hormônio encontrado nos tecidos das plantas vasculares, em musgos, e sintetizados em todas as células que possuem cloroplastos. Desta forma, possui várias funções fisiológicas nos vegetais, dentre elas o fechamento estomático. Sendo um dos principais mecanismos de defesa da planta quando encontrada sob estresse hídrico. Nessas condições o tecido das plantas apresenta um acréscimo na concentração de ABA (ácido abscísico)

fórmula molecular	C ₁₅ H ₂₀ O ₄
Nome IUPAC	Ácido S-(Z,E)-5-(1-hidroxi-2,6,6-trimetil-4-oxo-2-ciclohexen-1-il)-3-metil-2,4-pentadienoico
Ponto de fusão	161-163 °C
Ponto de ebulição	120 °C (sublima)



estrutura 3D



estrutura 2D

BETAÍNA

Betaína

Fórmula química

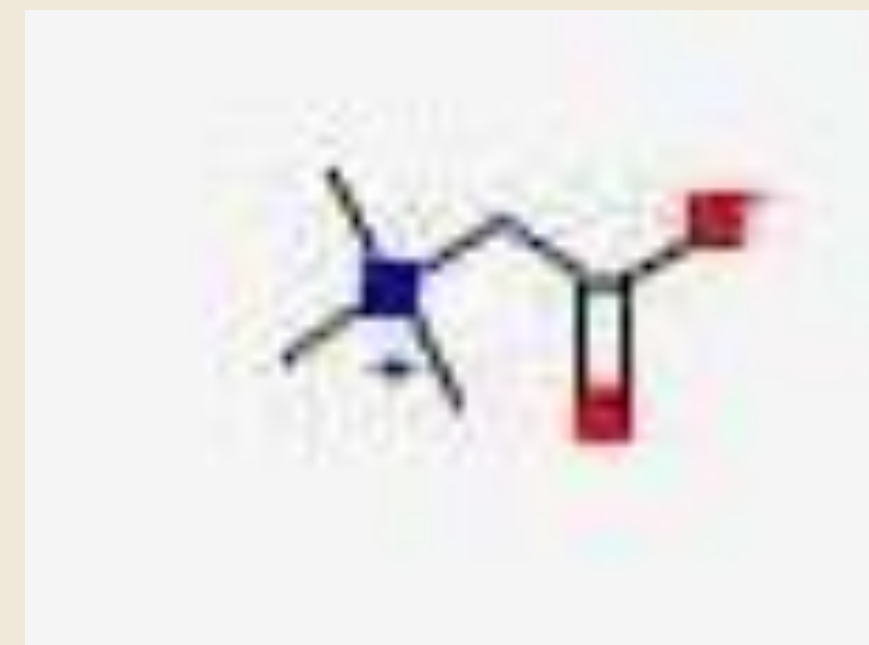
C₅H₁₁NO₂

Nome IUPAC

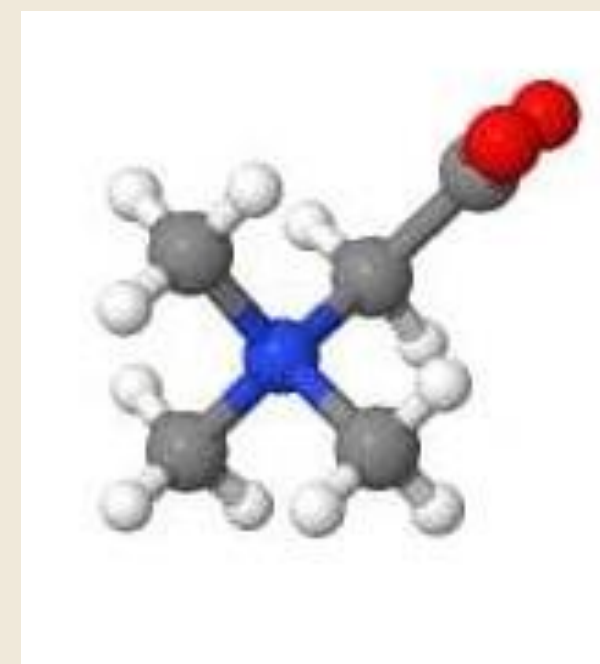
2-(trimetilazaniomil)acetato

Outros nomes

betaína
107-43-7
glicina betaína
oxineurina
Trimetilglicina



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*, *Poaceae*) é considerada uma das melhores opções para a produção de energia renovável, com grande importância no cenário agrícola mundial .

Em plantas jovens da cultivar de cana-de-açúcar IAC91-5155, os solutos compatíveis trealose, glicina betaína e prolina são indicadores do efeito da interação dos estresses hídrico e ácido no solo.



TREALOSE

Trealose

[Fórmula química](#)

C₁₂H₂₂O₁₁

Nome IUPAC

Alpha-D-Glucopyranosyl-Alpha-D-Glucopyranoside

Outros nomes

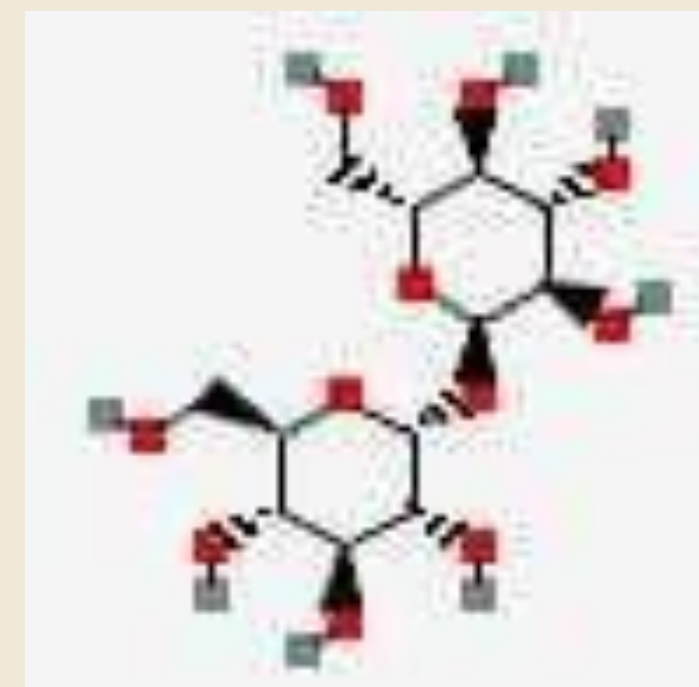
trealose

99-20-7

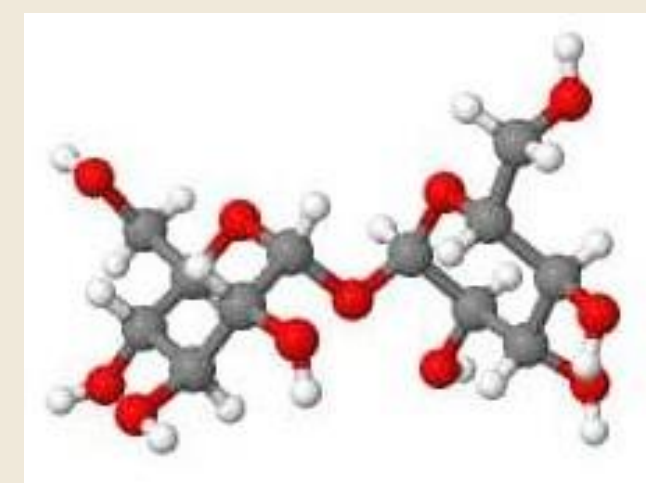
D-Trealose

D-(+)-Trealose

Micoses



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

GLICINA

Glicina

Fórmula química

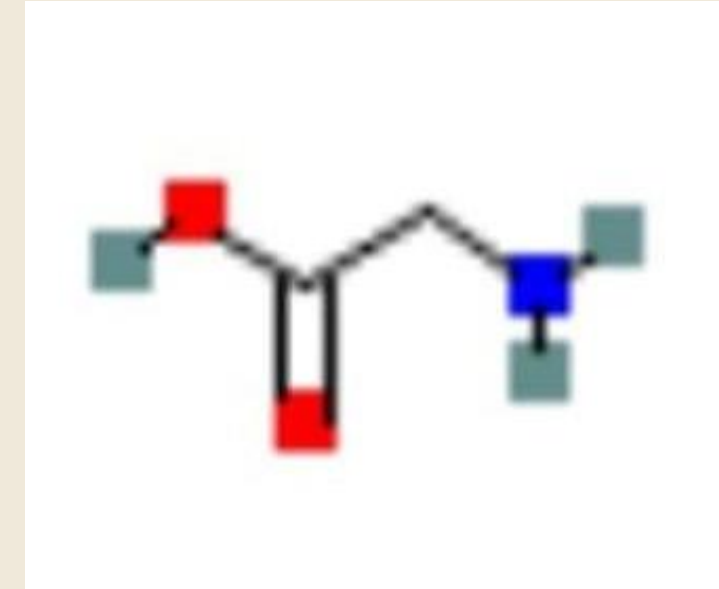
C5H9NO2

Nome IUPAC

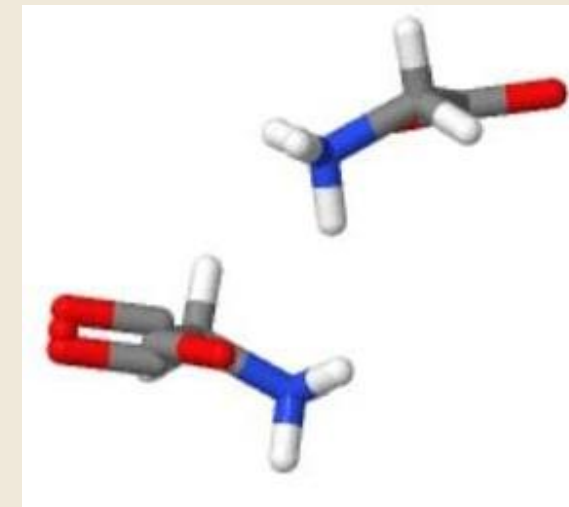
(2S)-pyrrolidine-2-carboxylic acid

Outros nomes

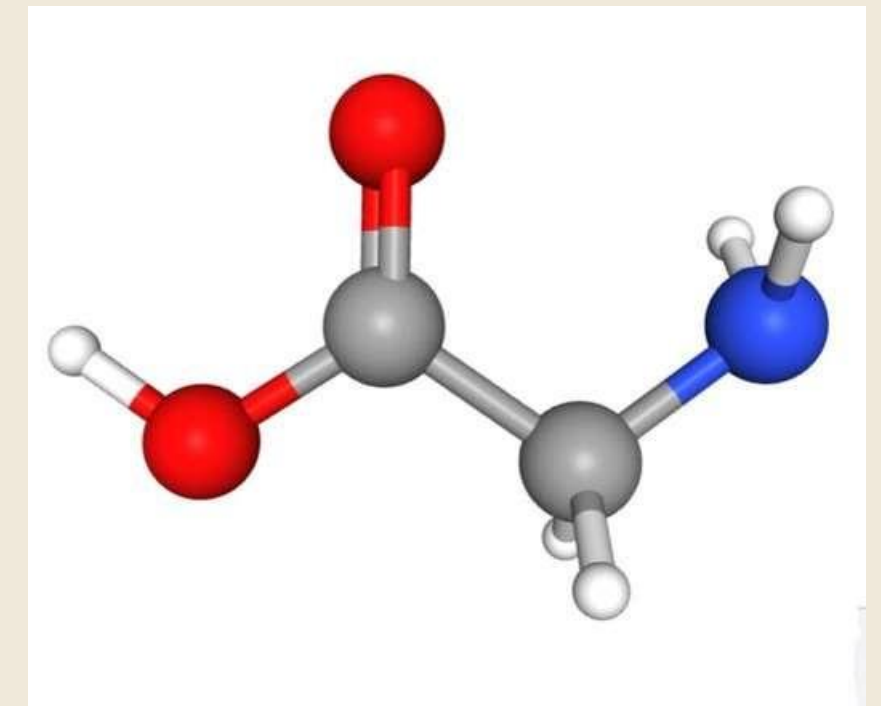
glycine
56-40-6
2-Aminoacetic acid
aminoacetic acid
Glycocoll



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

SOLUTOS ENVOLVIDOS NO AJUSTAMENTO OSMÓTICO

Trigo (*Triticum aestivum* L.)

As plantas, quando expostas a diversos tipos de estresse ambiental, notadamente o hídrico, podem apresentar acúmulo de prolina, putrescina e poliaminas.

O acúmulo desses compostos sob déficit hídrico tem sido associado com a tolerância das plantas a essa condição desfavorável, podendo representar um mecanismo regulador da perda de água, mediante aumento da osmolaridade celular (potencial hídrico).



PUTRESCINA

PUTRESCINA

Fórmula química

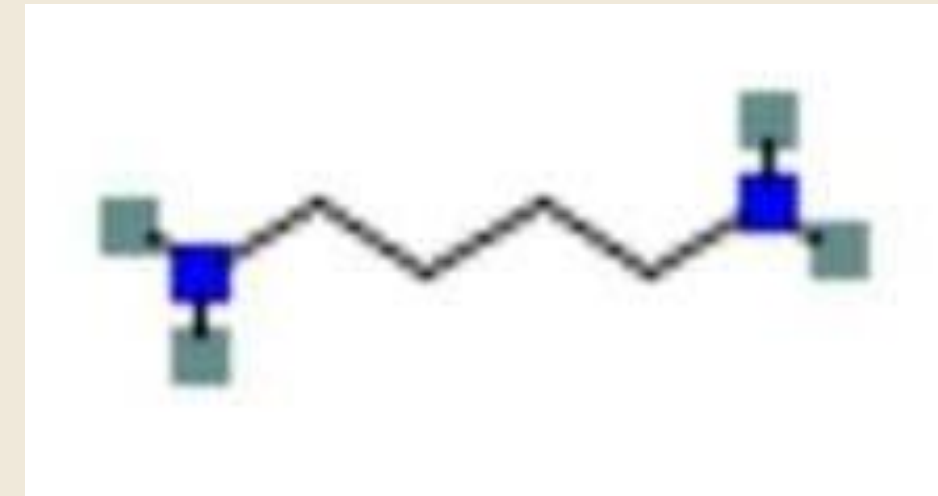
C₄H₁₂N₂

Nome IUPAC

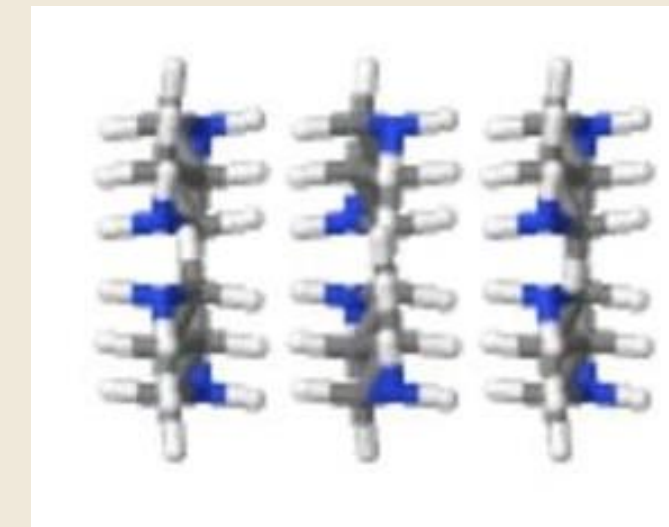
butane-1,4-diamine

Outros nomes

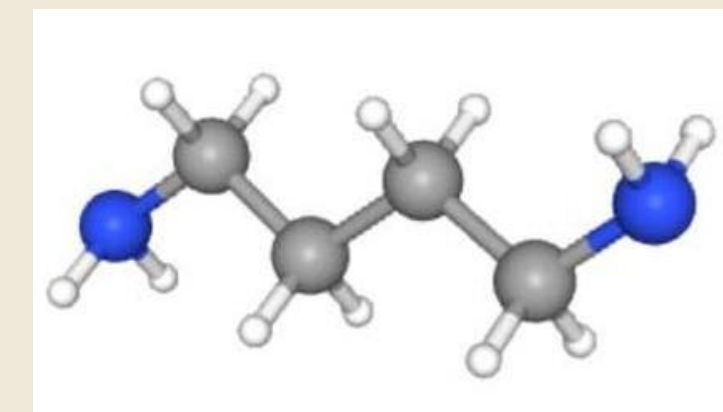
1,4-diaminobutane
putrescine
1,4-butanediamine
110-60-1
butane-1,4-diamine



estrutura 2D



Cristal



estrutura 3D

ÁGUA

Água

Fórmula química

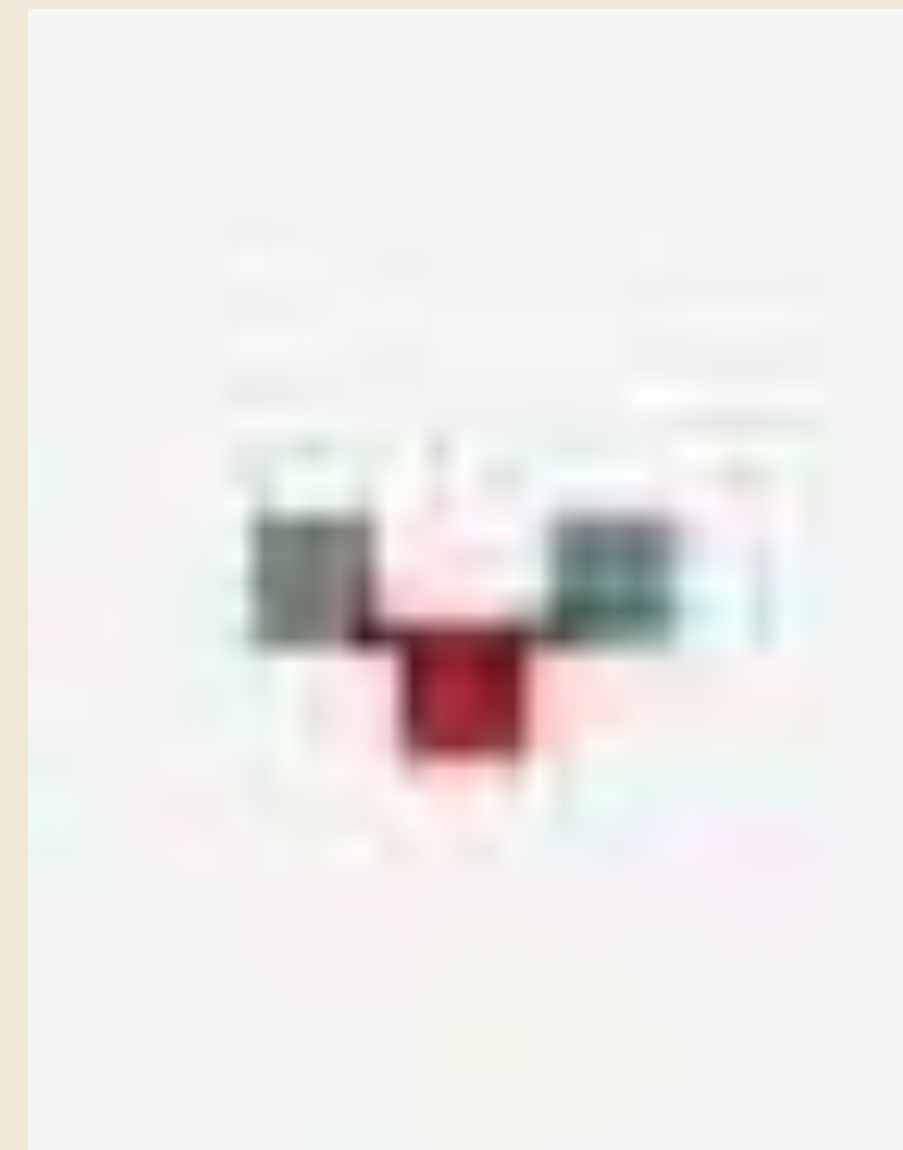
H₂O

Nome IUPAC

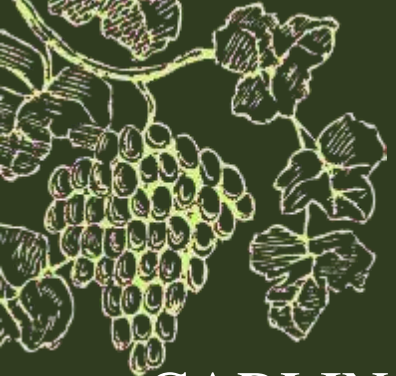
Água

Outros nomes

água
7732-18-5
Água destilada
Óxido de di-hidrogênio
Água estéril



estrutura 2D



BIBLIOGRAFIA

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. dos. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1106-1113, set. 2009.

Disponível em <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>> Acesso em 20 de fevereiro de 2025.

Filho, J.T.C., Seraphin, E.S. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. *Revista brasil. Bot.*, São Paulo, V.24, n.2, p.199-204, jun. 2001.

FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 4, p. 449-453, abr. 2002.

Maia, P. S.P., Neto, C. F. de O., Castro, D. da S., Freitas, J.M.N. de F., Lobato, A. K. da S., Costa, R.C.L. Conteúdo Relativo de Água, Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho submetidas a Estresse Hídrico. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 918-920, jul. 2007.



CAPÍTULO 3



Universidade Federal do Oeste do Pará



QUÍMICA DA FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS DE INTERESSE AGRONÔMICO – CICLO C3

DOCENTE: PATRÍCIA CHAVES DE OLIVEIRA

DISCENTES: ELANE VIEGAS SOUSA

EZIO ANDREI LAURINDO OLIVEIRA

GEOVANI LIMA ALMEIDA

LUANA OLIVEIRA GUIMARÃES

LUCAS BATISTA SIQUEIRA

SARAH CONCEIÇÃO CARVALHO CARVALHO



Fotossíntese de plantas C3

A fotossíntese em plantas C3 ocorre em duas fases principais: a fase luminosa (ou fotoquímica) e a fase escura (ou ciclo de Calvin). Na fase luminosa, que ocorre nos tilacoides dos cloroplastos, a energia da luz é captada por pigmentos como a clorofila e convertida em energia química, na forma de ATP e NADPH. Esse processo envolve a fotólise da água, liberando oxigênio como subproduto. A luz excita elétrons, que passam por uma cadeia transportadora, gerando um gradiente de prótons usado para sintetizar ATP.

Na fase escura, que ocorre no estroma dos cloroplastos, o ATP e o NADPH produzidos na fase luminosa são utilizados para fixar o dióxido de carbono (CO_2) em moléculas orgânicas. O ciclo de Calvin começa com a fixação do CO_2 à ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP), catalisada pela enzima RuBisCO, formando um composto instável que se divide em duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3-PGA). Essas moléculas são então reduzidas a gliceraldeído-3-fosfato (G3P), usando ATP e NADPH. Parte do G3P é usada para regenerar a RuBP, permitindo que o ciclo continue, enquanto outra parte é convertida em carboidratos, como glicose.

Cultura escolhida para análise: *Euterpe oleracea* (Açaí)

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart., Arecaceae) é uma espécie típica de planícies da Floresta Amazônica sujeitas ao regime anual de inundação e, além de ser extremamente tolerante à anóxia, falta de oxigênio, apresenta elevado valor comercial e um potencial para a produção de energia a partir de biomassa.

O principal mecanismo de sequestro de carbono, e de longe o mais eficiente, é a fotossíntese (Buckeridge & Aidar, 2002), processo no qual a energia luminosa proveniente do Sol é utilizada e armazenada na síntese de compostos carbonados que servirão como fonte de energia para a própria planta e para todas as formas de vida (Taiz & Zeiger, 2006).

O **Amido** é a reserva de carboidrato mais abundante em plantas e pode ser dividido em dois tipos de acordo com sua função. O amido transitório é formado na fotossíntese, conforme detalhado anteriormente, servindo como uma reserva de carboidratos para os períodos de escuro. O amido de reserva se acumula em órgãos perenes e de dispersão e está localizado em plastídeos não-verdes denominados amiloplastos (Martin & Smith, 1995).

A **Sacarose** é o principal produto da fotossíntese na maioria das folhas, sendo também a principal forma na qual o carbono é exportado para outras partes da planta (Stitt et al., 1984). Também constitui uma importante forma de reserva em vacúolos. A sacarose é composta de uma molécula de glicose e uma de frutose, e sua síntese ocorre no citosol, a partir de trioses-fosfato, por uma rota similar à de síntese do amido (via frutose-1,6-bifosfato e glicose-1-fosfato). Na síntese da sacarose, a glicose-1-fosfato é convertida a UDP-glicose, que é utilizada juntamente com frutose-6-fosfato pela sacarose-6-fosfato-sintase, gerando sacarose-6-fosfato e UDP. A sacarose-6-fosfato é então convertida em sacarose pela sacarose fosfato fosfatase (Taiz & Zeiger, 2006).

A **Rafinose** é o oligossacarídeo mais abundante em plantas depois da sacarose (Bourne et al., 1965). As principais funções da rafinose estão relacionadas ao transporte de carbono em folhas e tolerância à seca em sementes (Kuo et al., 1988; Bachmann et al. 1994), além da reserva de carbono em tecidos vegetativos (Lehle & Tanner, 1973; Bachmann et al., 1994; Taji et al., 2002). A rafinose já foi encontrada como uma das formas de carboidratos predominantes na seiva de algumas espécies de árvores, o que indica que ela participa da translocação de fotossintatos das folhas para as raízes (Shiroya, 1963). Outras funções são a tolerância à seca, ao frio e à alta salinidade em tecidos vegetativos (Bachmann et al., 1994; Taji et al., 2002). A rota metabólica exclusiva para síntese da rafinose se inicia com a galactinol sintase, que exerce papel regulador importante na partição de carbono entre rafinose e sacarose (Saravitz et al., 1987; Zuther et al., 2004).

A **Rubisco** é considerada a proteína mais abundante no planeta, constituindo até 50% das proteínas encontradas em uma folha (Jensen, 2000; Andersson & Backlund, 2008). Além da importante função que exerce, essa grande quantidade é também necessária por ser a Rubisco um catalisador ineficiente (Parry et al., 2008; Roy & Andrews, 2000). Competitivamente, a Rubisco catalisa também a oxigenação da RuBP, no processo denominado fotorrespiração. Essa propriedade limita a fixação líquida de CO₂, uma vez que a oxigenação leva à produção de apenas um 3-fosfoglicerato, sendo o outro produto da reação o 2-fosfoglicolato. Apesar de parte do carbono convertida a 2-fosfoglicolato ser recuperada, processo que consome energia, o resultado da reação de oxigenase é um dreno constante da RuBP disponível e um decréscimo na eficiência de fixação de carbono (Andersson, 2008). A Rubisco tem maior afinidade pelo CO₂ do que pelo O₂, porém este último ocorre em concentração cerca de 550 vezes maior que o primeiro, fazendo com que a competição entre os dois substratos gasosos pela enzima seja um dos fatores determinantes da eficiência da fotossíntese nas atuais concentrações de CO₂ atmosférico (Griffin & Seemann, 1996).

A seguir estão as moléculas presentes na fotossíntese de plantas C₃, com as informações sobre a fórmula e peso molecular, função no ciclo C₃ e fórmula estrutural das moléculas.

Dióxido de carbono

Fórmula molecular: CO₂

Peso molecular: 44,009g/mol

Função: É utilizado para formar compostos orgânicos.

Fórmula estrutural:



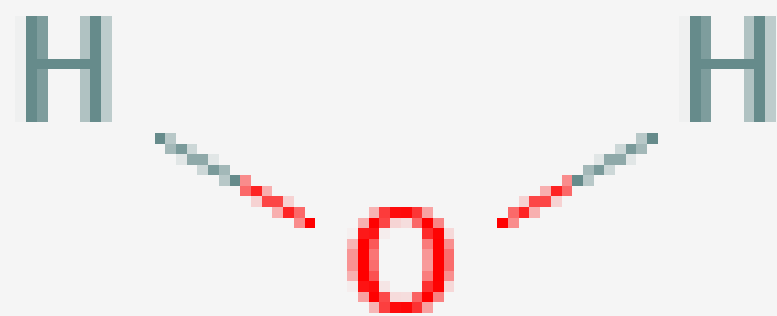
Água

Fórmula molecular: H₂O

Peso molecular: 18,015g/mol

Função: Fornece elétrons e libera hidrogênio e oxigênio.

Fórmula estrutural:



Oxigênio

Fórmula molecular: O_2

Peso molecular: 31,999g/mol

Função: É um dos produtos finais da fotossíntese.

Fórmula estrutural:



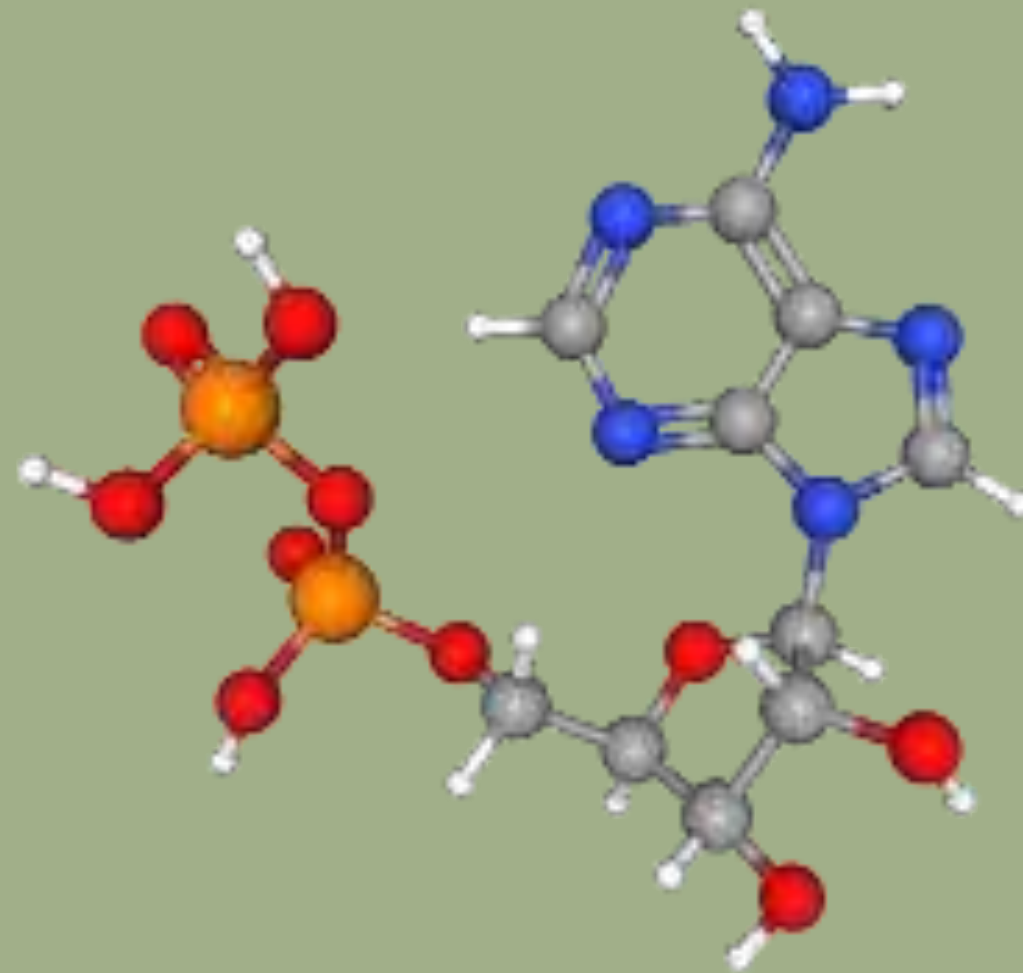
Adenosina Difosfato

Fórmula molecular: $C_{10}H_{14}N_5O_{10}P_2$

Peso molecular: 427,20g/mol

Função: É a molécula fosforilada na fase luminosa para formação de ATP.

Fórmula estrutural:



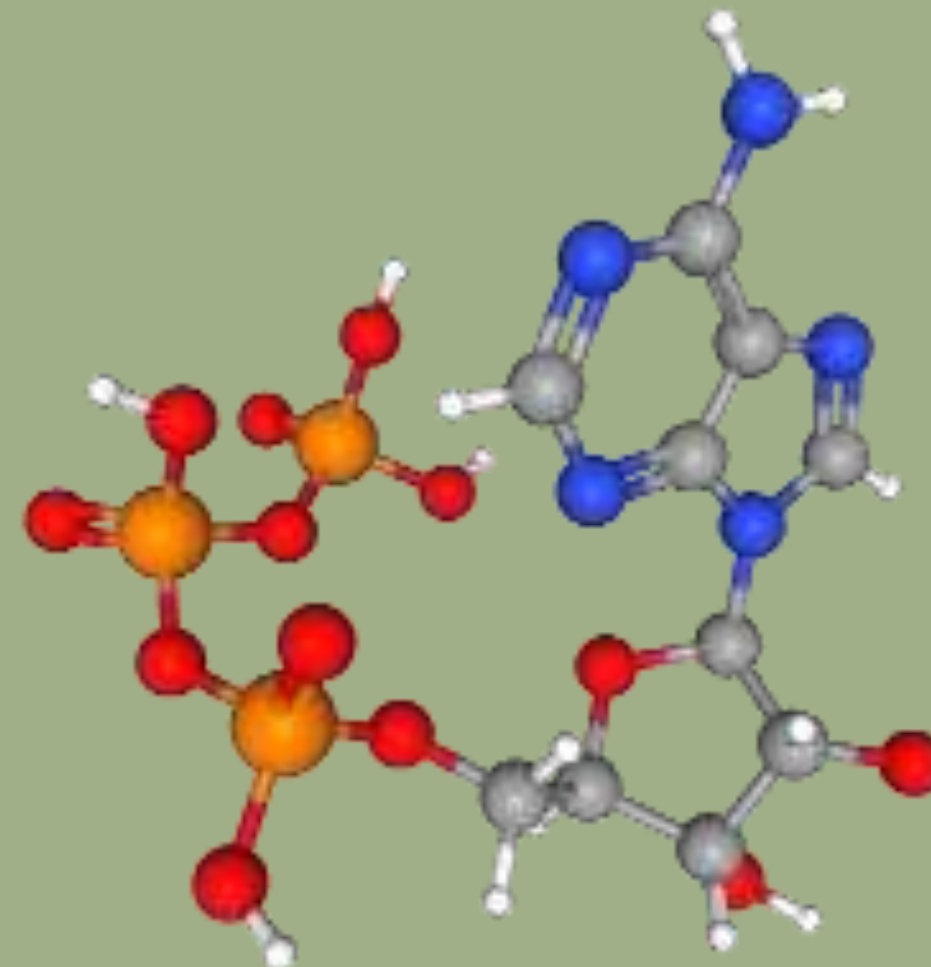
Adenosina Trifosfato

Fórmula molecular: $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$

Peso molecular: 507,18g/mol

Função: O ATP armazena e transfere energia nas células, através de seus grupos fosfatos.

Fórmula estrutural:



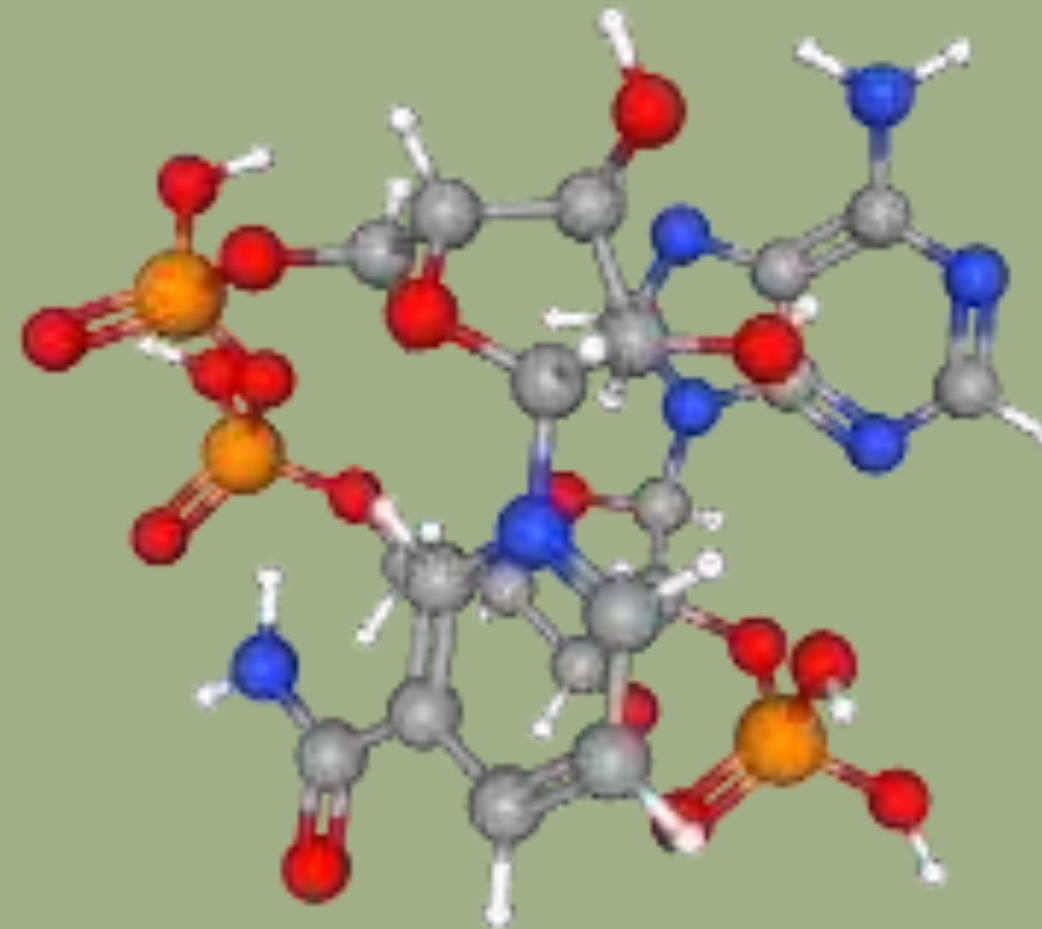
NADP+ (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato)

Fórmula molecular: $C_{21}H_{28}N_7O_{17}P_3$

Peso molecular: 744,4g/mol

Função: Atua como corredor de elétrons na fase luminosa sendo reduzido a NADPH no final da cadeia. Também atua como fonte de energia química na fase escura.

Fórmula estrutural:



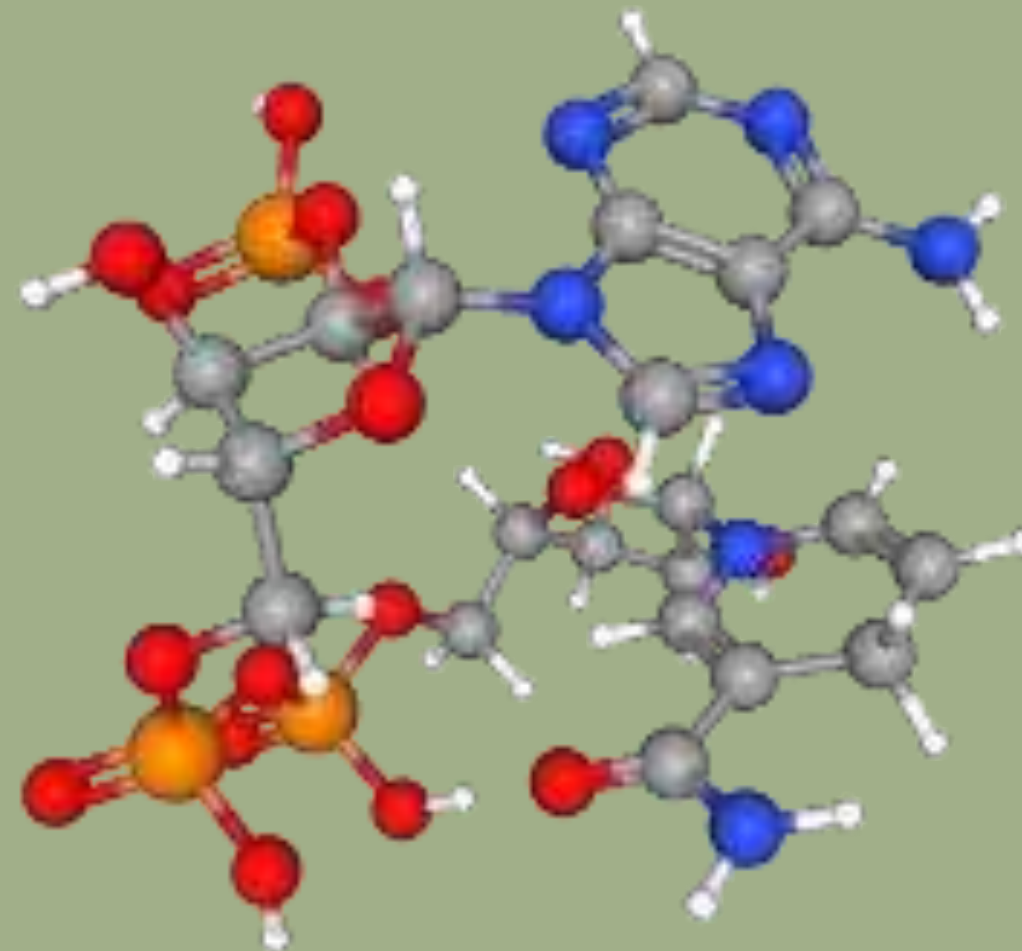
NADPH (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato reduzido)

Fórmula molecular: $C_{21}H_{29}N_7O_{17}P_3$

Peso molecular: 745,4g/mol

Função: É um dos produtos da fase luminosa fornecendo energia para as reações do Ciclo de Calvin, doa elétrons para reduzir o dióxido de carbono durante a fase escura. Ainda na fase escura é usado para converter 3-fosfoglicerato em glicerato-3-fosfato.

Fórmula estrutural:



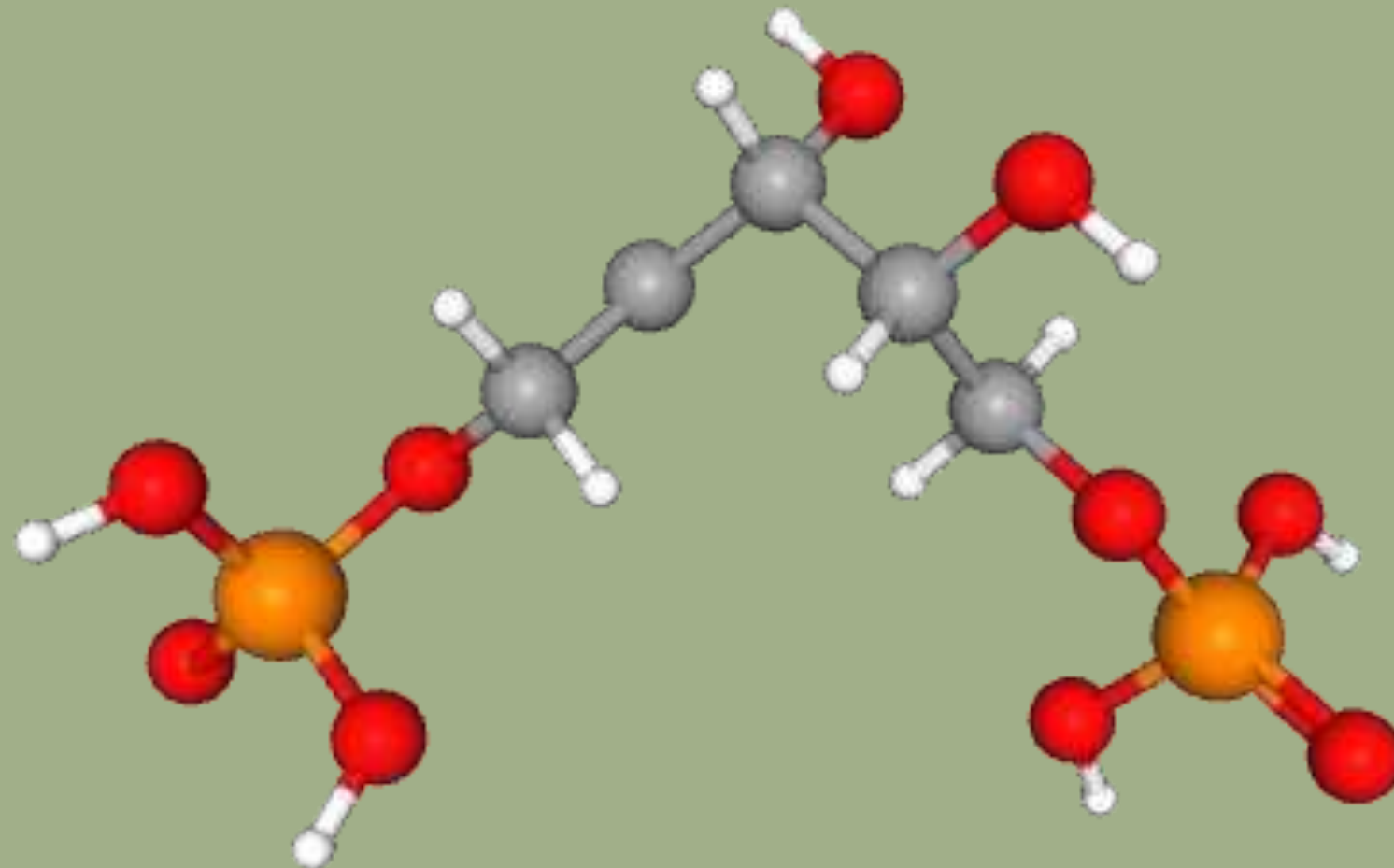
Ribolose-1,5-bifosfato (RuBP)

Fórmula molecular: $C_5H_{12}O_{11}P_2$

Peso molecular: 310,09g/mol

Função: É o composto responsável pela degradação e fixação do dióxido de carbono em duas moléculas de 3-fosfoglicerato.

Fórmula estrutural:



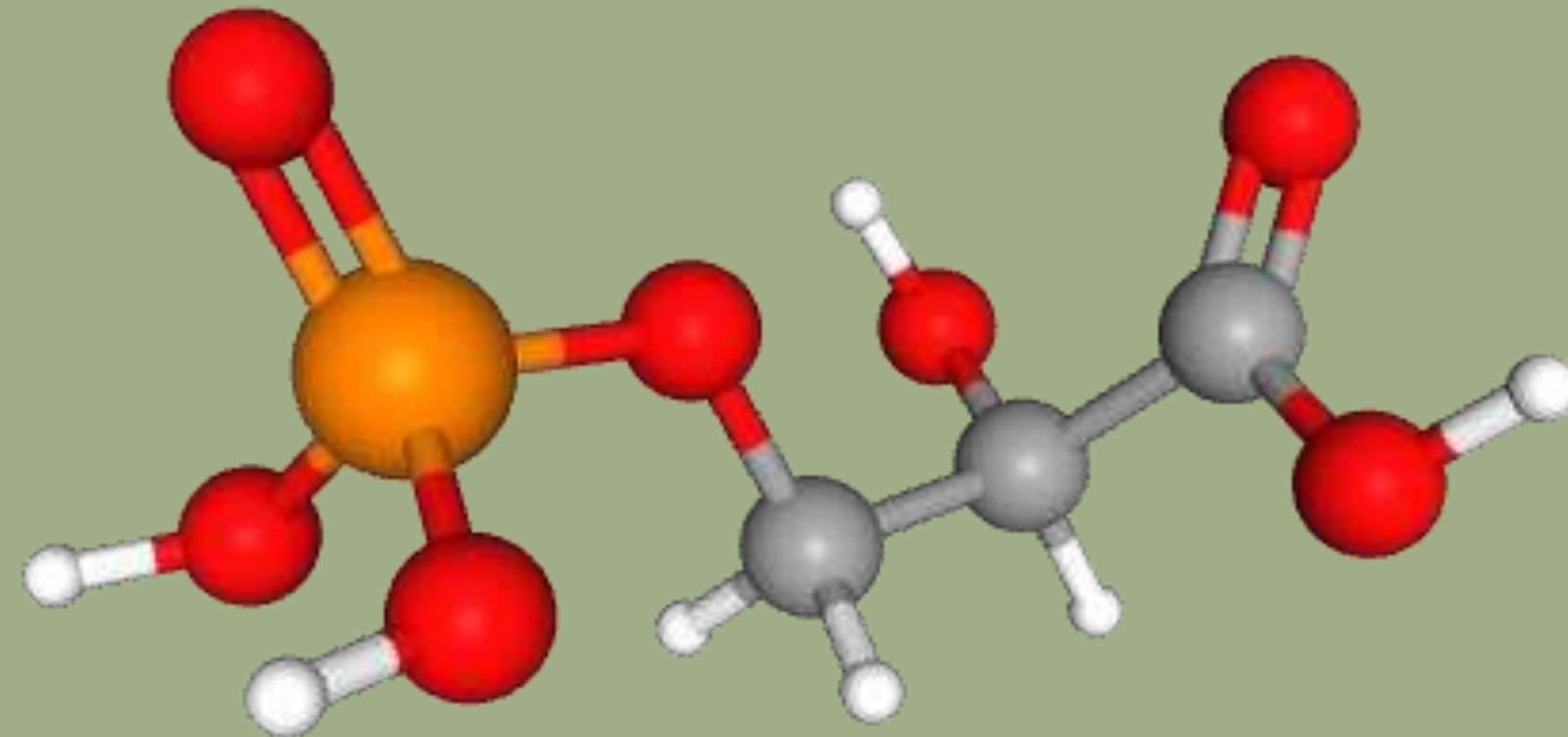
3-fosfoglicerato (3-PGA)

Fórmula molecular: $C_3H_7O_7P$

Peso molecular: 186,06g/mol

Função: É o produto da reação entre RuBP e CO_2 , ele é fosforilado pelo ATP e reduzido pelo NADPH, formando gliceraldeído-3-fosfato, servindo como precursor para síntese de carboidratos.

Fórmula estrutural:



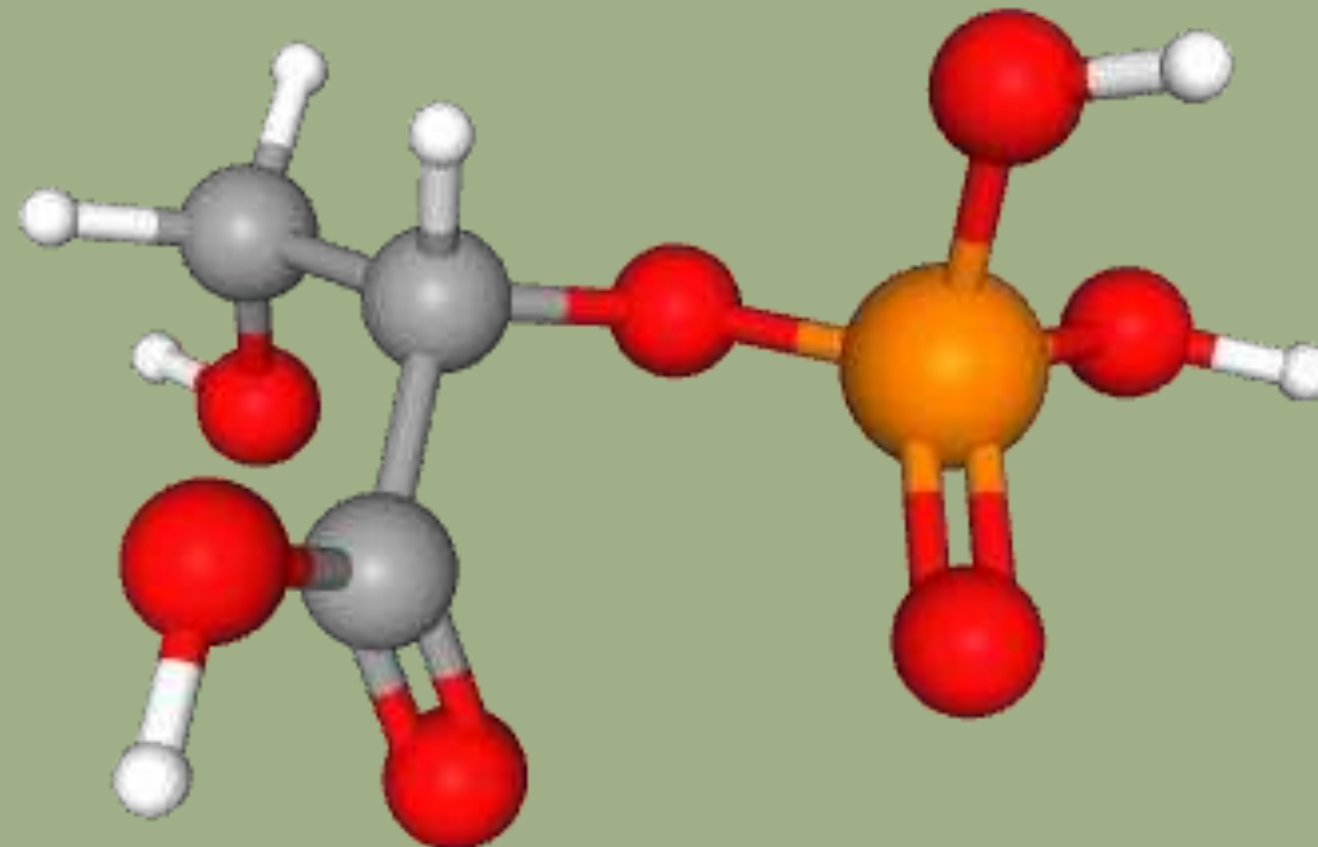
2-fosfoglicerato (2-PGA)

Fórmula molecular: $C_3H_7O_7P$

Peso molecular: g/mol

Função: É formado pela ação da enzima fosfoglicerato mutase no 3-fosfoglicerato, no ciclo da glicólise, logo depois é convertido em fosfoenolpiruvato(PEP) pela enzima enoilase, liberando uma molécula de água.

Fórmula estrutural:



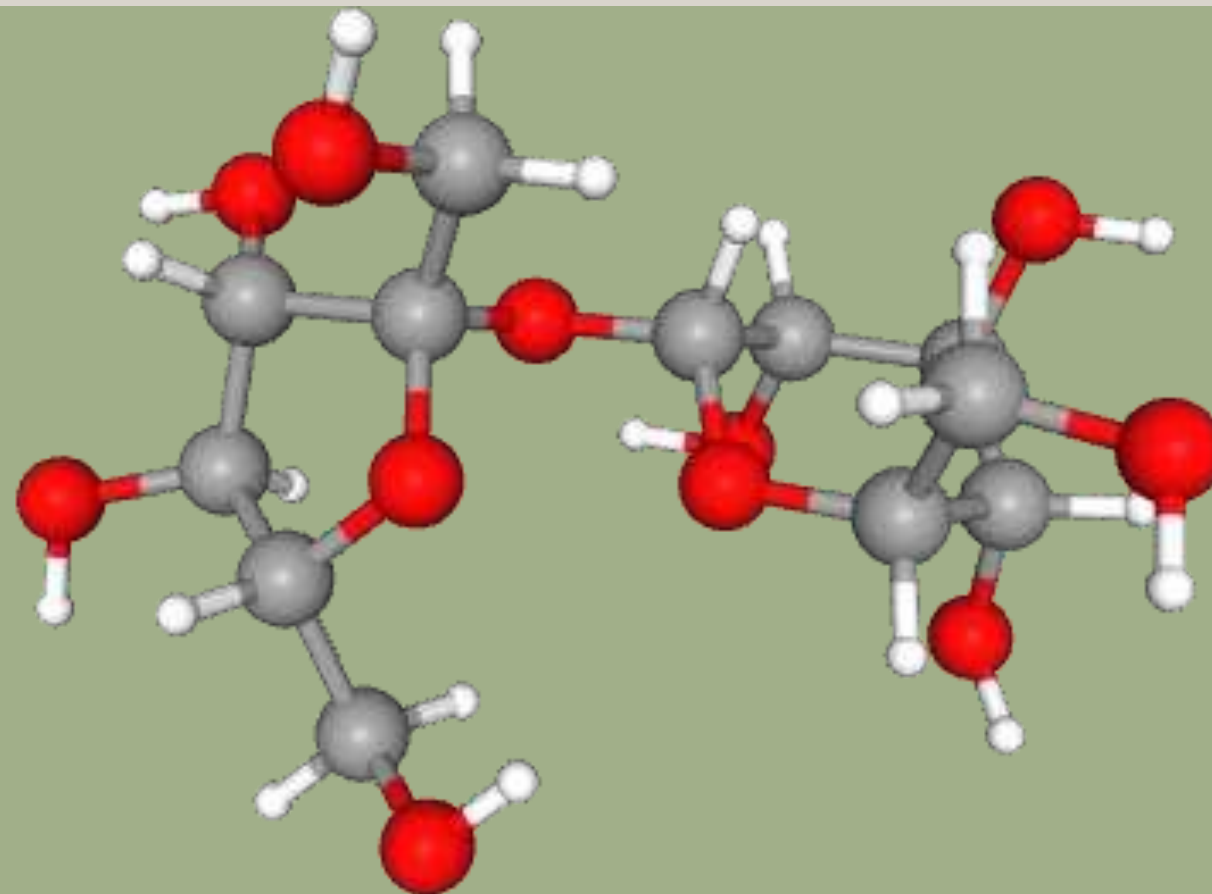
Sacarose

Fórmula molecular: $C_{12}H_{22}O_{11}$

Peso molecular: 342,3g/mol

Função: A sacarose, um dissacarídeo, é hidrolisada em glicose e frutose, fornecendo energia para processos metabólicos.

Fórmula estrutural:



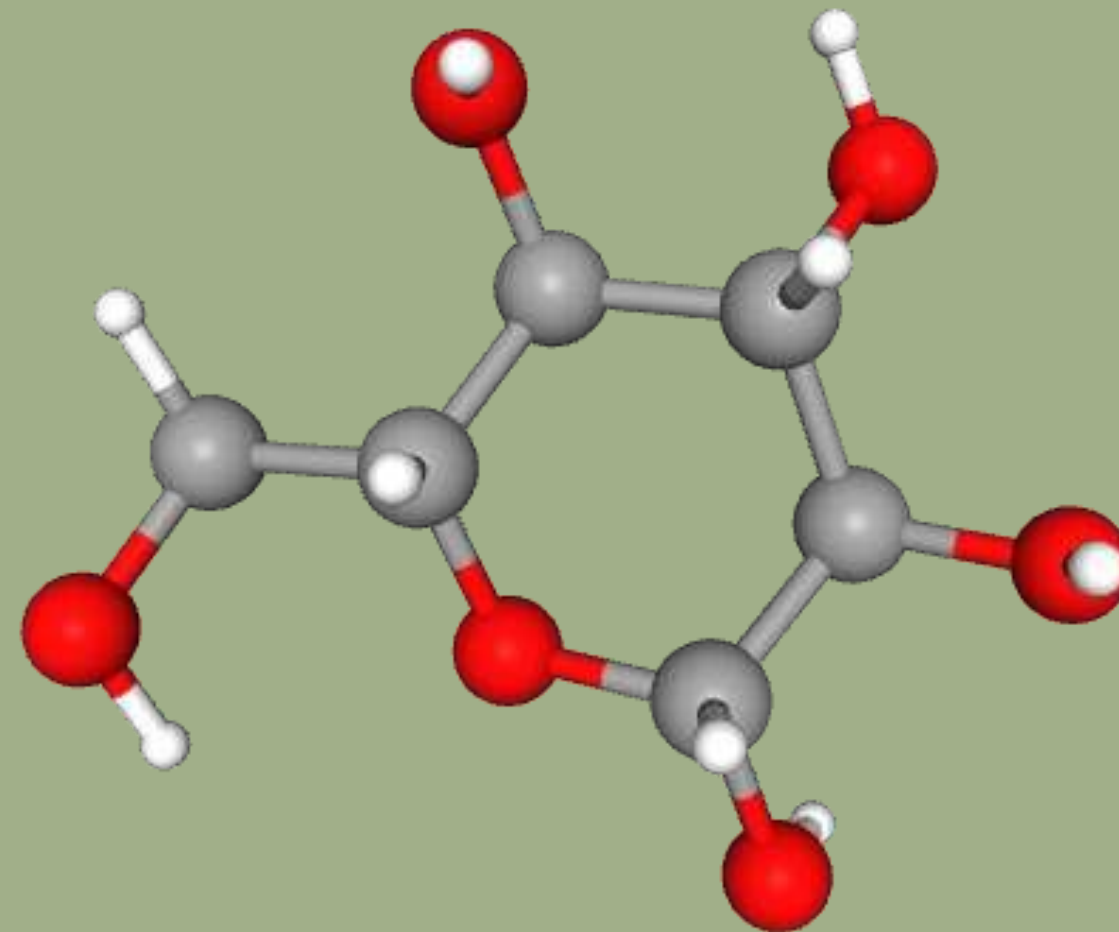
Glicose

Fórmula molecular: $C_6H_{12}O_6$

Peso molecular: 180g/mol

Função: A glicose é um monossacarídeo essencial que fornece energia para as células através da respiração celular.

Fórmula estrutural:



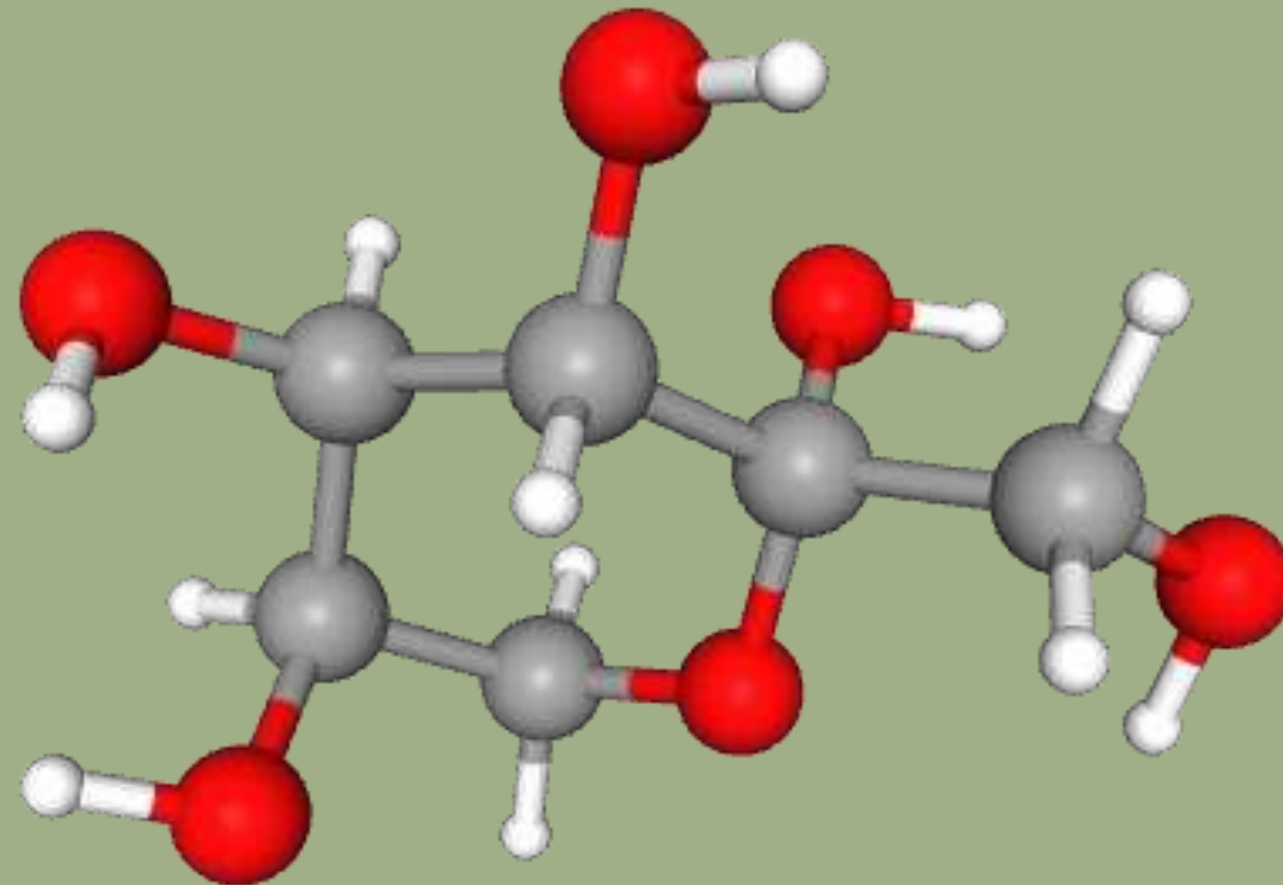
Frutose

Fórmula molecular: $C_6H_{12}O_6$

Peso molecular: 180,16g/mol

Função: a frutose age como combustível energético, especialmente em frutos e flores, atraindo polinizadores e auxiliando na dispersão de sementes.

Fórmula estrutural:



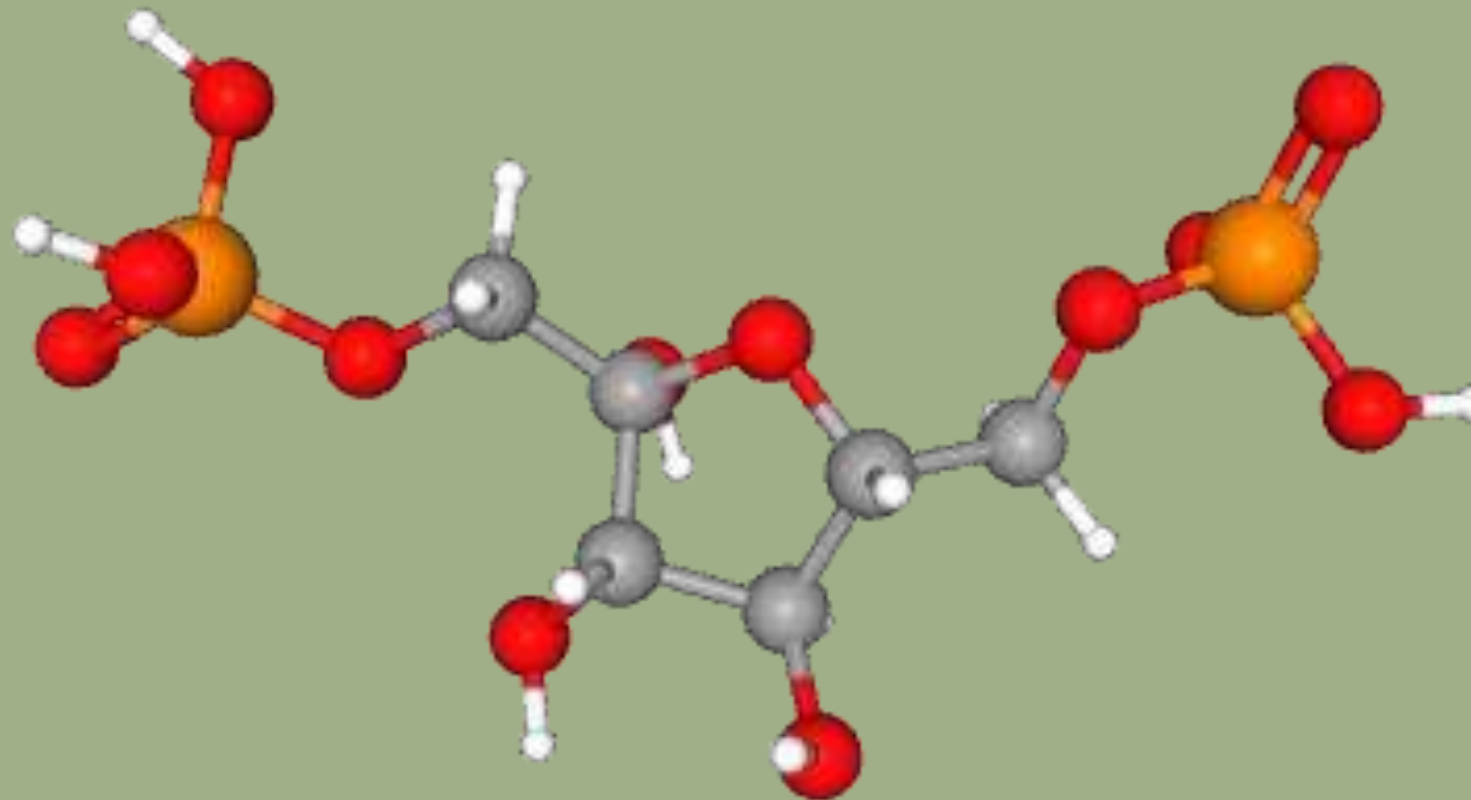
Frutose-1,6-bifosfato

Fórmula molecular: $C_6H_{14}O_{12}P_2$

Peso molecular: 340,12g/mol

Função: Atua como intermediário na produção de sacarose e amido.

Fórmula estrutural:



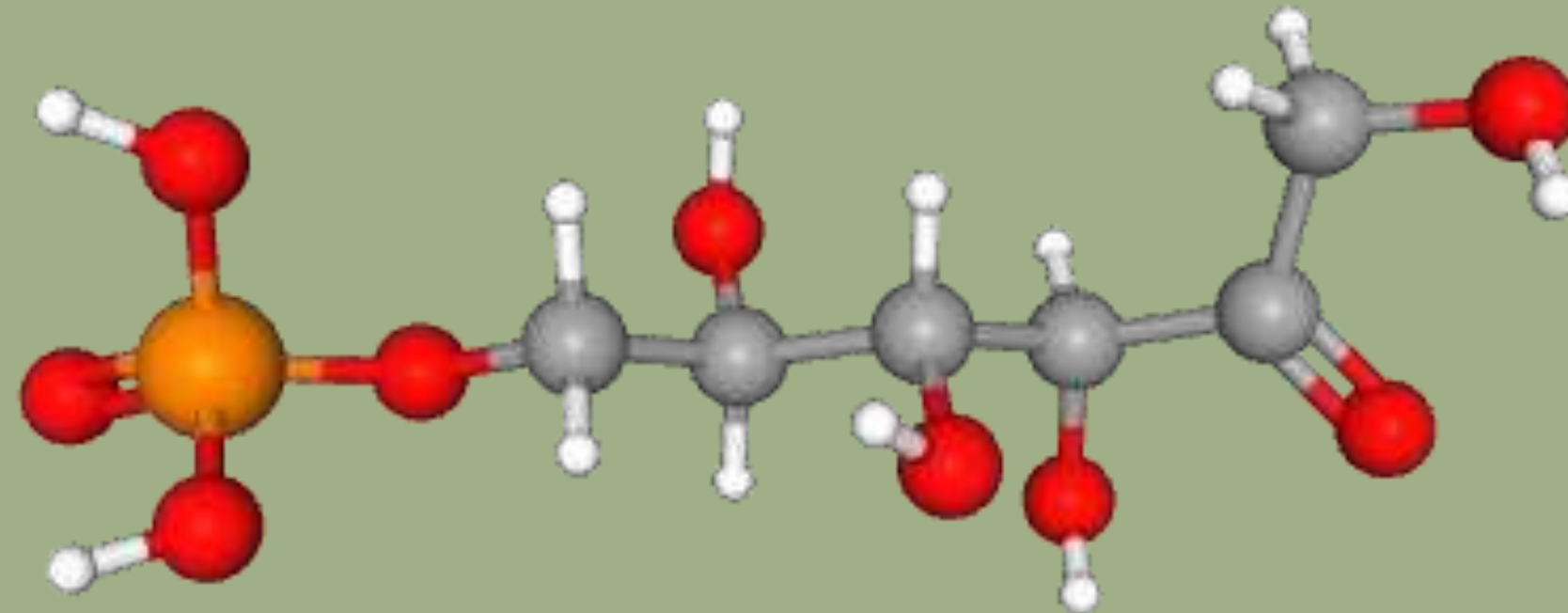
Frutose-6-fosfato

Fórmula molecular: $C_6H_{14}O_{12}P_2$

Peso molecular: 260,14g/mol

Função: Atua como intermediário na síntese da sacarose.

Fórmula estrutural:



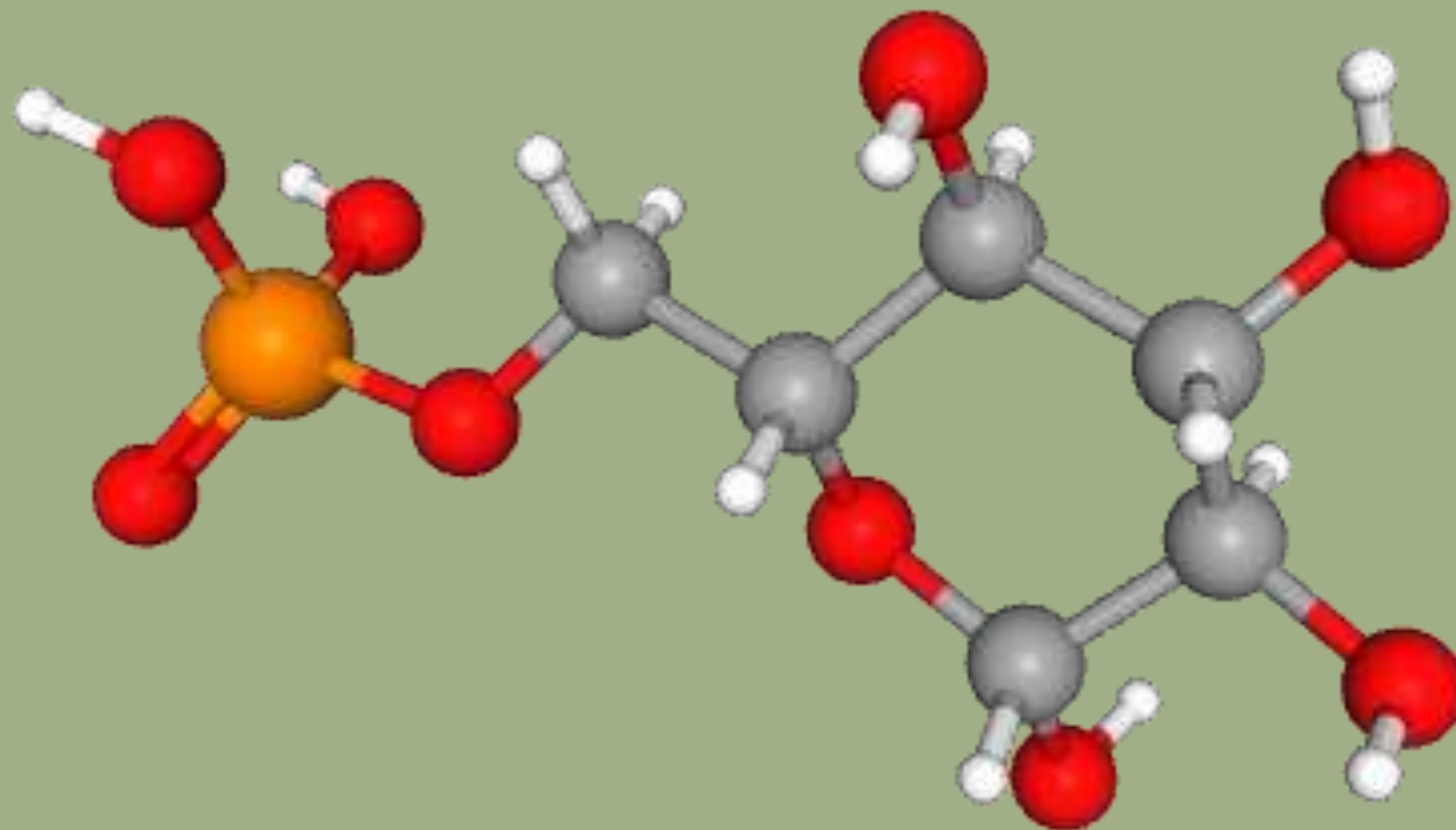
Glicose-6-fosfato

Fórmula molecular: $C_6H_{13}O_9P$

Peso molecular: 260,14g/mol

Função: Ela será convertida em glicose-1-fosfato para sintetizar AADP-glicose.

Fórmula estrutural:



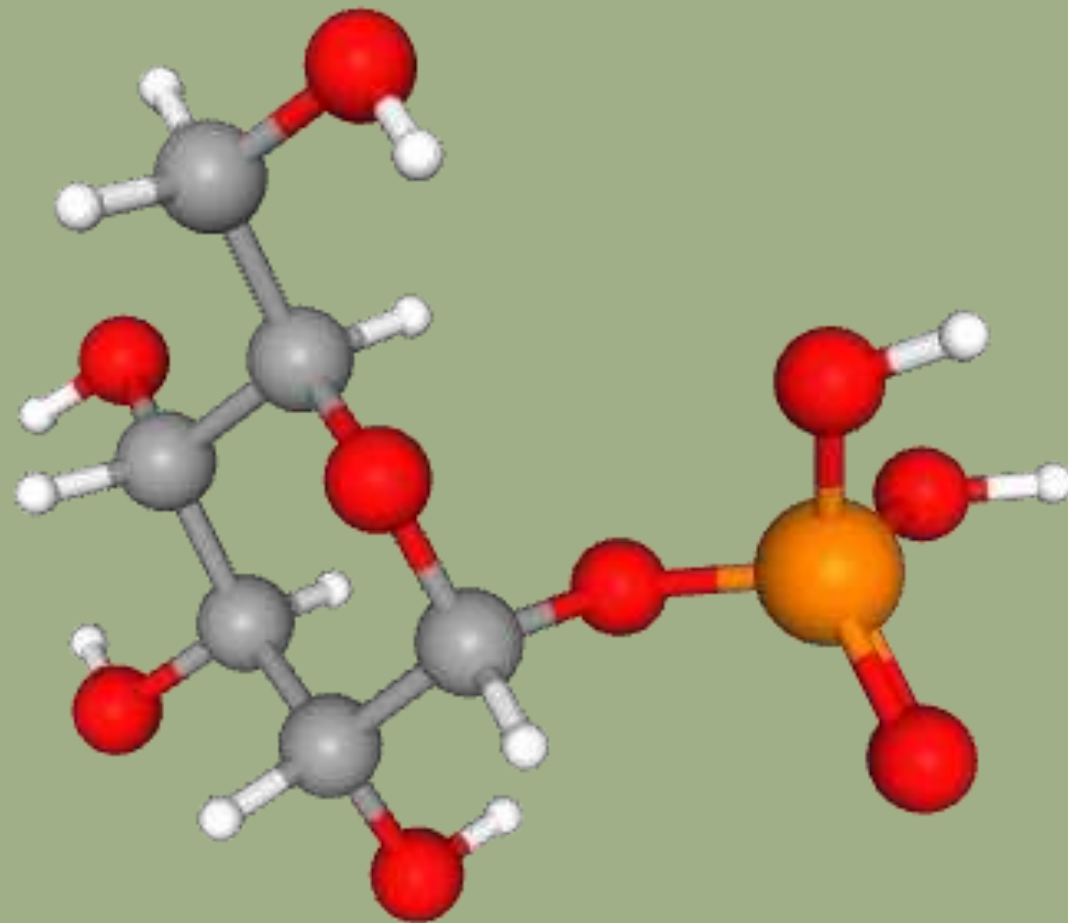
Glicose-1-fosfato

Fórmula molecular: $C_6H_{13}O_9P$

Peso molecular: 260,14g/mol

Função: É a molécula responsável por sintetizar a ADP-glicose.

Fórmula estrutural:



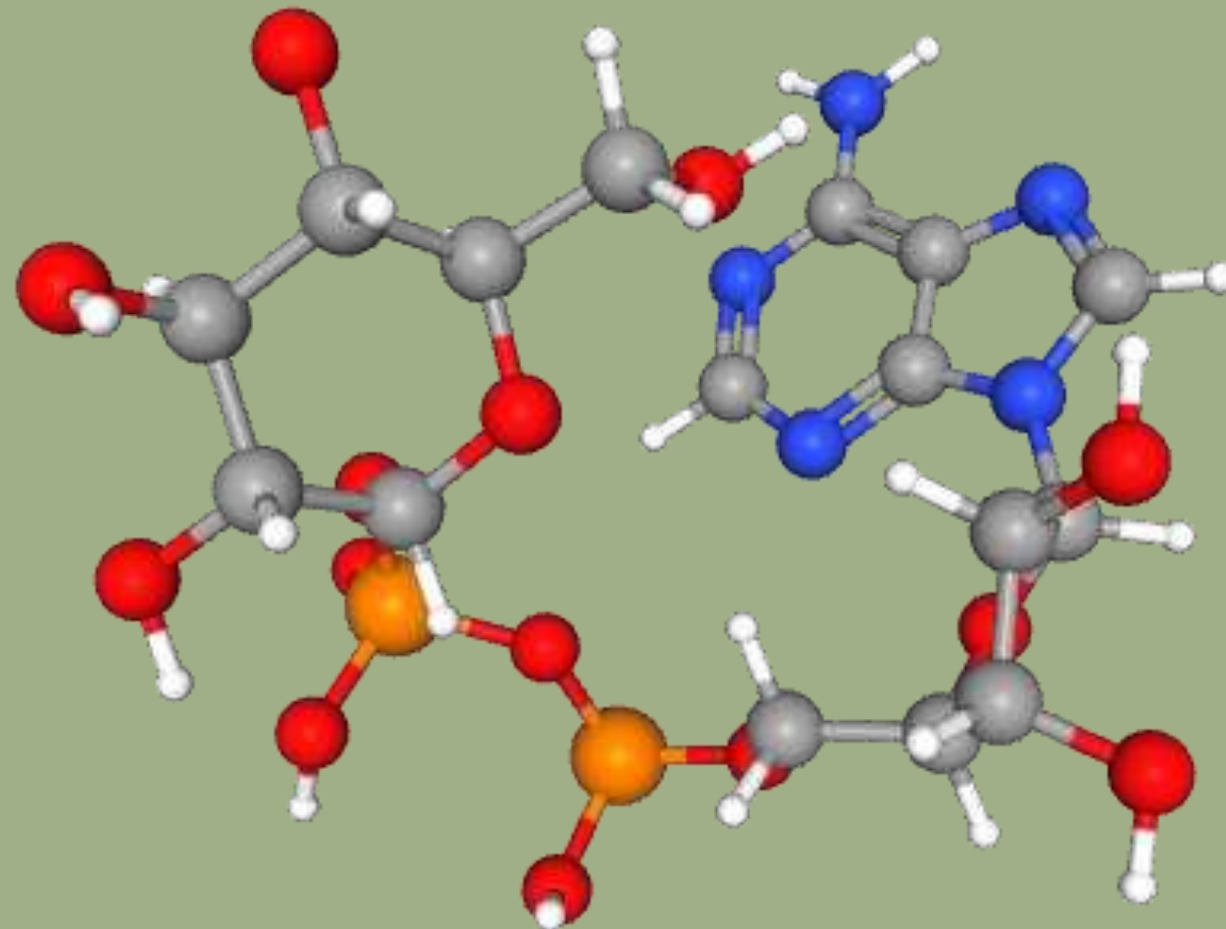
ADP-glicose(Adenosina difosfoglicose)

Fórmula molecular: $C_{16}H_{25}N_5O_{15}P_2$

Peso molecular: 589,3g/mol

Função: Atua como doador de glicose para síntese de amido.

Fórmula estrutural:



Referências:

MORTARI, Leila Cristina. Efeitos de uma atmosfera enriquecida com CO₂ sobre a fotossíntese, o crescimento e o metabolismo de carboidratos do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-01052013-113711/>. Acesso em: 22 fev. 2025.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

MOREIRA, Catarina. Fotossíntese. Revista de Ciência Elementar, v. 1, n. 1, 2013.

KLUGE, Ricardo Alfredo; TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline V.; DA SILVA, Paula PM. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. Revista virtual de química, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

INGENHOUSZ, Jan; SENEBIER, Jean. NOÇÕES DE FOTOSSÍNTESE.



CAPÍTULO 4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS



A QUÍMICA DA FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS DE INTERESSE AGRONOMICO - CICLO C 4



Discentes:
Arthur Spinola
Carlos Jennings
Denise Vieira Farias
Evelyn Da Silva Moura
Paulo Aquila Alvarenga¹Araujo

Plantas C4

- Estima-se que existam **7500 espécies de plantas C4**. Todas as espécies de C4 terrestres são **angiospermas** e a maioria são **monocotiledôneas**. Não se conhece gimnospermas ou plantas vasculares inferiores com esse tipo de metabolismo (SAGE; SAGE, 2013).
- **Cana-de-açúcar, milho, sorgo, tiririca** (*Cyperus rotundus*), **caruru** (*Amaranthus spp.*) são exemplos de espécies de plantas C4 que possuem o ciclo fotossintético C4 (SAGE; ZHU, 2011).
- Quanto às C4 consideradas pragas agrícolas, destaca-se o caruru, que devido a esse metabolismo fotossintético, leva vantagem na matocompetição, frente às plantas de soja e algodão. Além disso, possuem elevada produção de sementes, rápido desenvolvimento e longo período de dormência no banco de sementes.

Plantas C4: Uma Diversidade de Espécies



Cana-de-açúcar
(*Saccharum officinarum*)



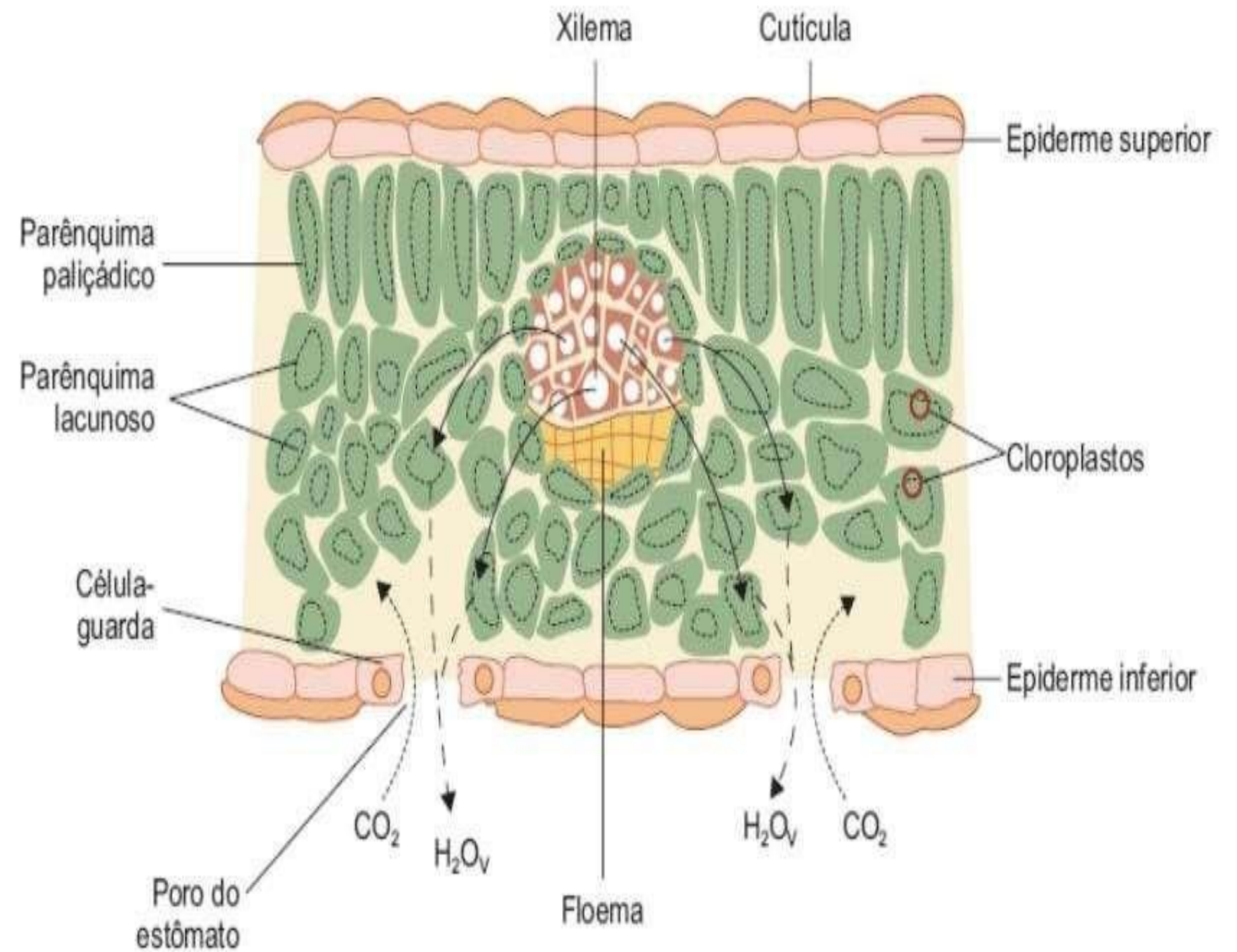
Milho (*Zea mays.*)



Trigo (*Triticum spp.*)

Fotossíntese C4

- As plantas C4 evoluíram em um ambiente com pronunciada redução nos níveis de CO₂. Além disso, o metabolismo C4 surgiu em resposta a outras características do ambiente como altas intensidades luminosas, altas temperaturas e seca (GOWIK; WESTHOFF, 2011).

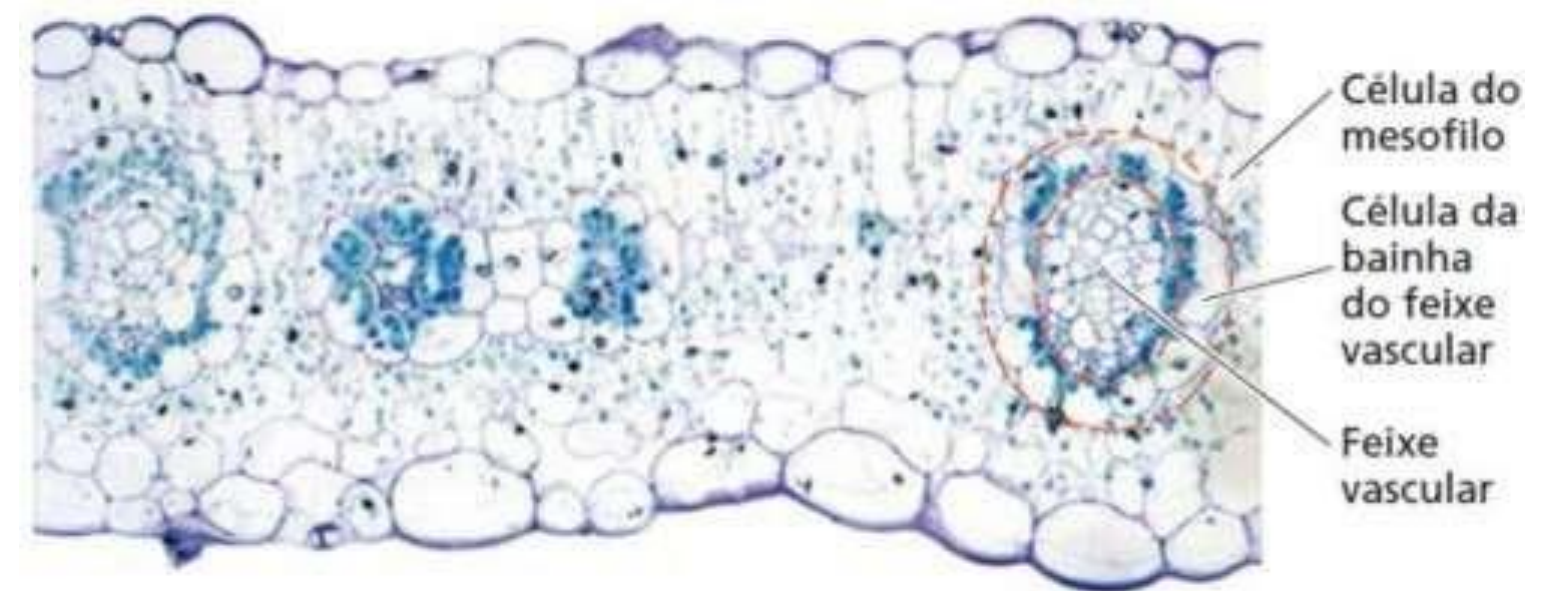


Esquema de corte transversal de uma folha típica de espécie C4 mostrando a sua estrutura anatômica e as trocas gasosas que influenciam a fotossíntese e o balanço hídrico das plantas. O gás dióxido de carbono (CO₂) e o vapor de água (H₂O_v) difundem-se, por meio da abertura dos estômatos, em sentidos opostos.

Fotossíntese C4

Adaptação anatômica – Anatomia Kranz

- As folhas das plantas C4 apresentam células organizadas em um **formato de anel**.
- No centro, ficam as **células da bainha do feixe vascular**, onde ocorre o ciclo de Calvin-Benson.
- Ao redor, estão as **células do mesofilo**, onde o CO₂ é inicialmente fixado.
- Essa organização cria uma **barreira de difusão**, dificultando a perda de CO₂ e maximizando sua concentração junto à rubisco.



Anatomia Kranz. Imagem ao microscópio óptico de um corte transversal da lâmina foliar de *Flaveria australasica*. Taiz, et al. (2017).

Separação espacial da fixação de carbono

- O CO_2 atmosférico é absorvido e convertido em malato ou aspartato nas células do mesofilo.
- Essas moléculas viajam até as células da bainha do feixe, onde liberam CO_2 , que é então utilizado pela rubisco no ciclo de Calvin-Benson.
- Isso garante que a rubisco tenha acesso a **altas concentrações de CO_2** , reduzindo a fotorrespiração.

Entendendo a fotossíntese C4

Fixação inicial do CO_2 nas células do mesofilo:

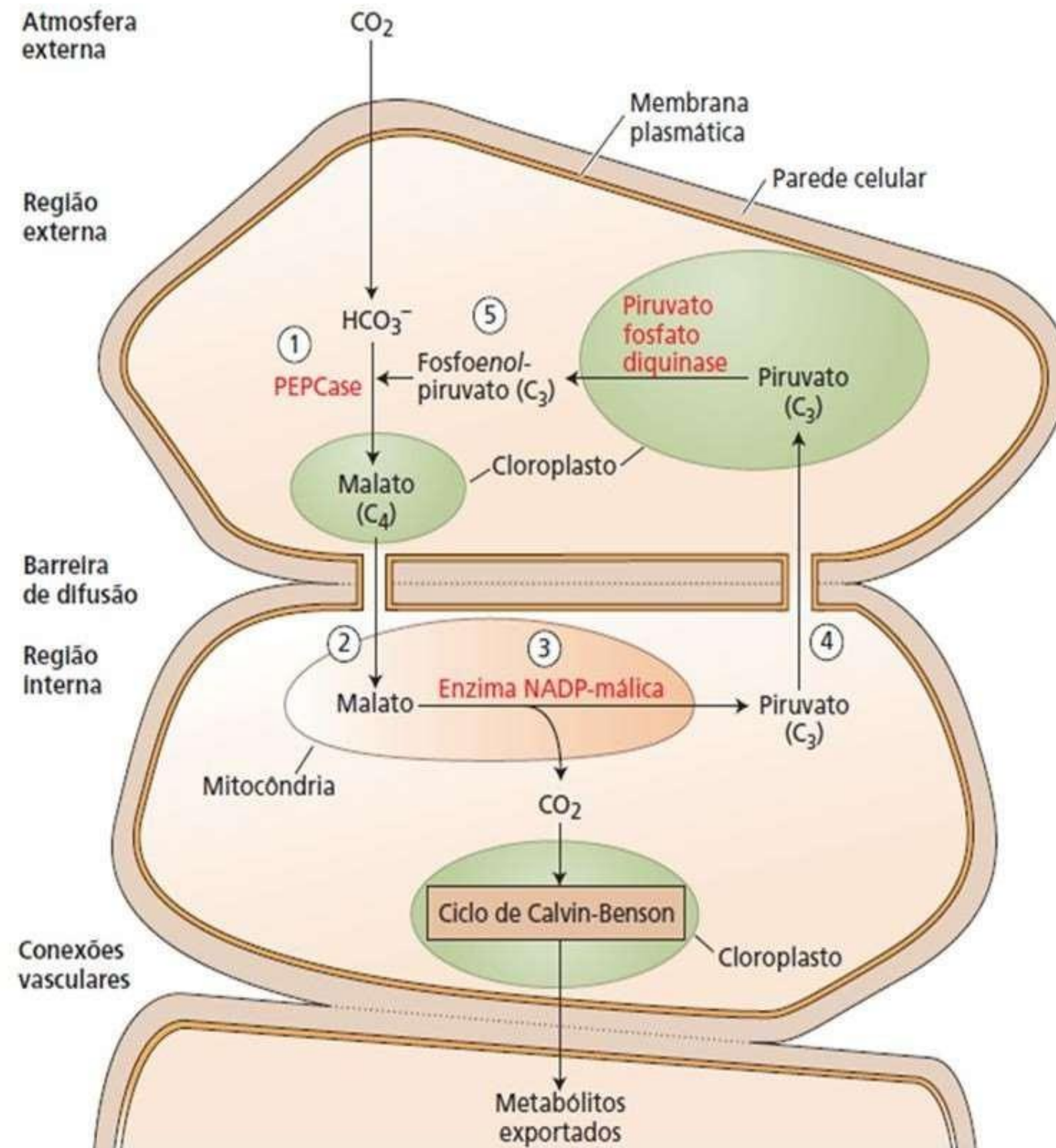
- O CO_2 entra na célula do mesofilo e é convertido em bicarbonato (HCO_3^-).
- A enzima **PEPcase** fixa esse HCO_3^- ao **fosfoenolpiruvato (PEP)**, formando **oxaloacetato**.
- O oxaloacetato pode ser convertido em **malato** (nos cloroplastos) ou em **aspartato** (no citosol).

Transporte para as células da bainha do feixe vascular:

- O malato ou o aspartato viajam até as células da bainha do feixe.
- Lá, são descarboxilados, liberando **CO_2** , que se acumula ao redor da **rubisco**.

Fixação do CO_2 pelo ciclo de Calvin-Benson:

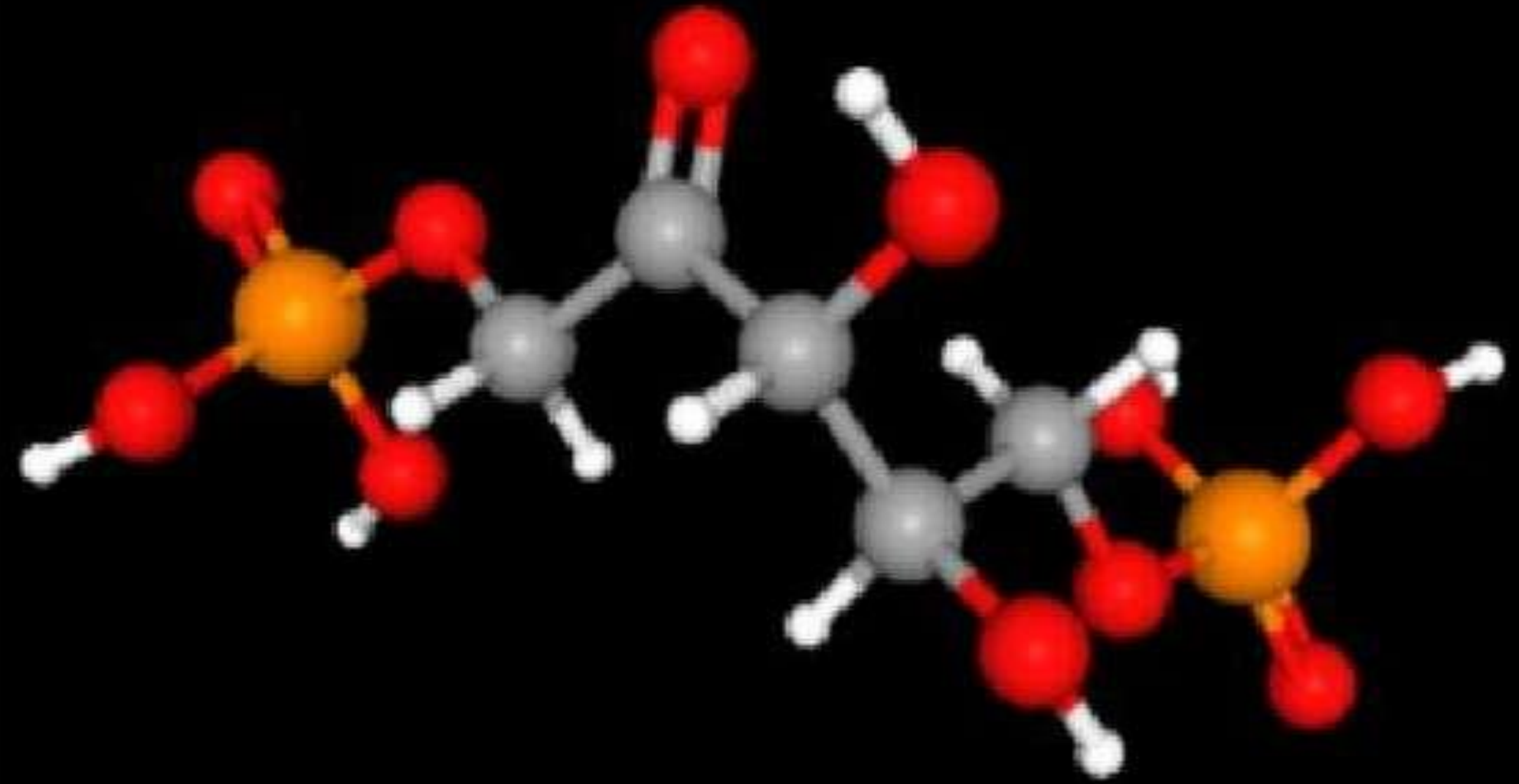
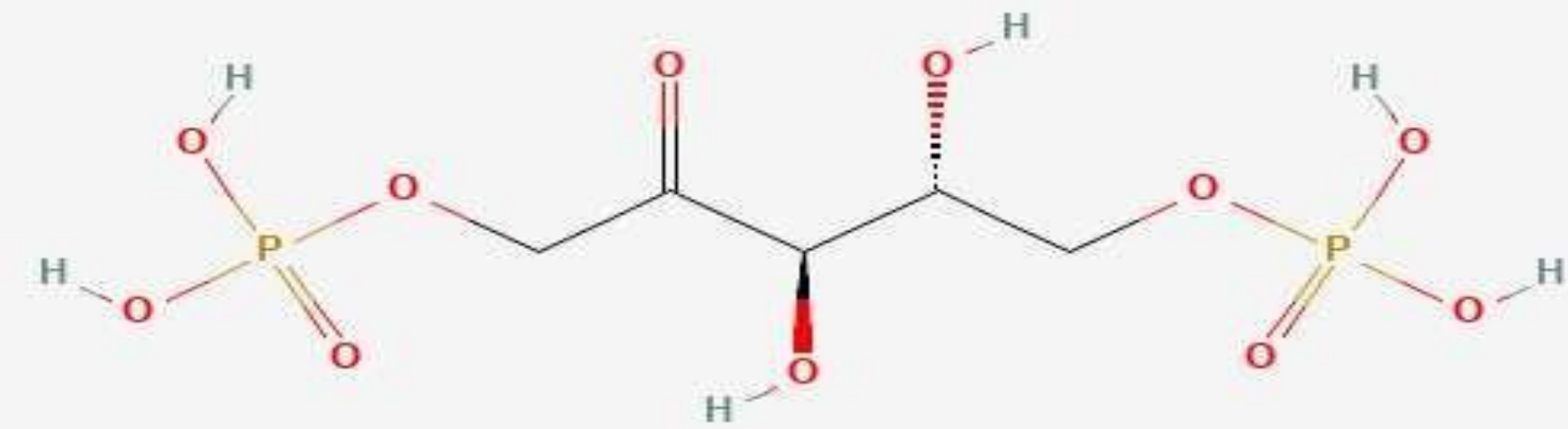
- O CO_2 liberado entra no ciclo de Calvin-Benson para a síntese de carboidratos.
- O piruvato, gerado na descarboxilação, retorna ao mesofilo para ser regenerado em **PEP**, fechando o ciclo.



Ciclo fotossintético C4 resumido. Taiz, et al. (2017).

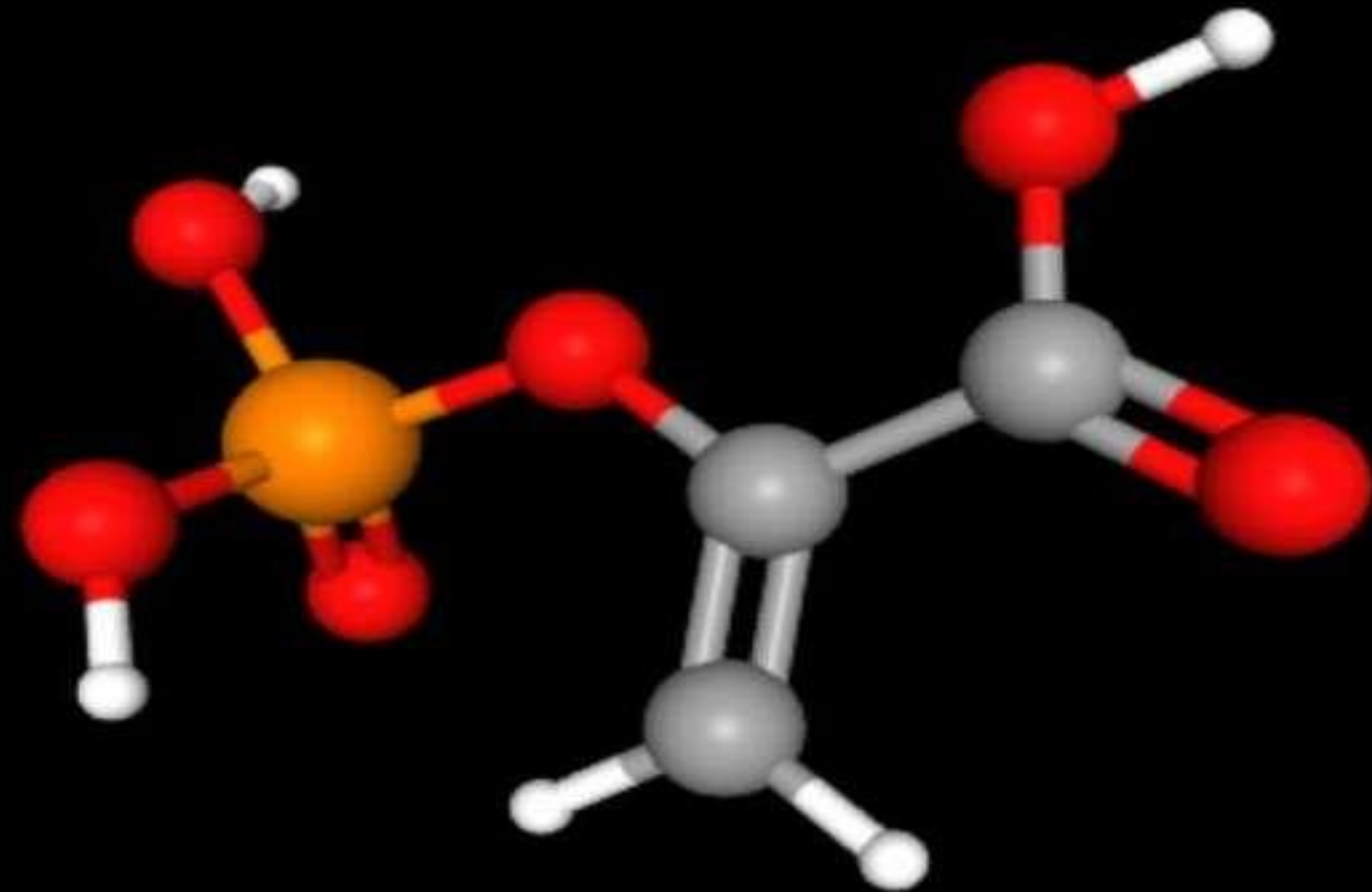
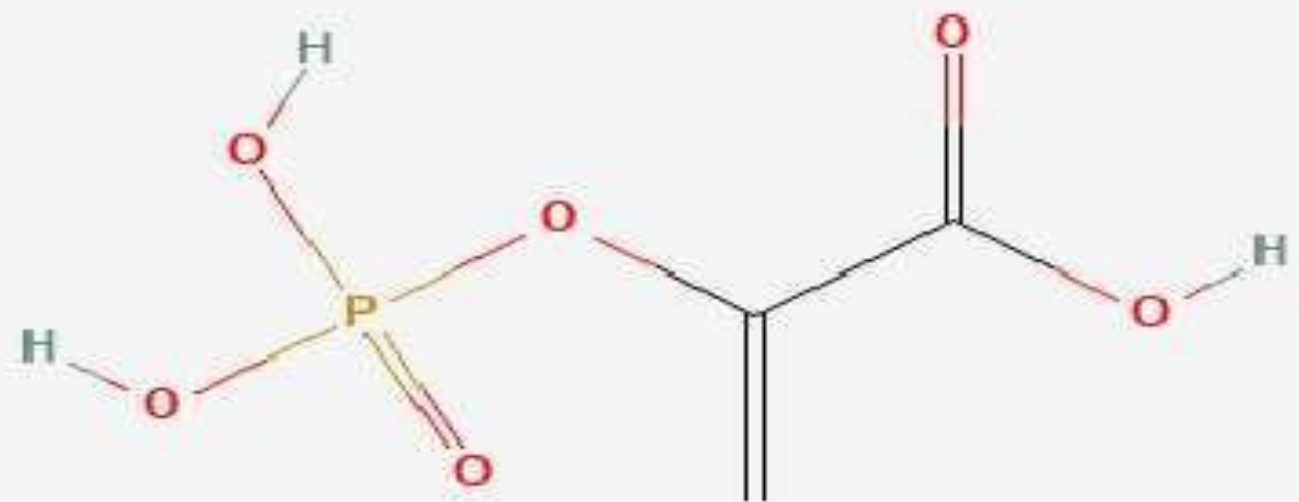
Moléculas C4

Fotossintéticas



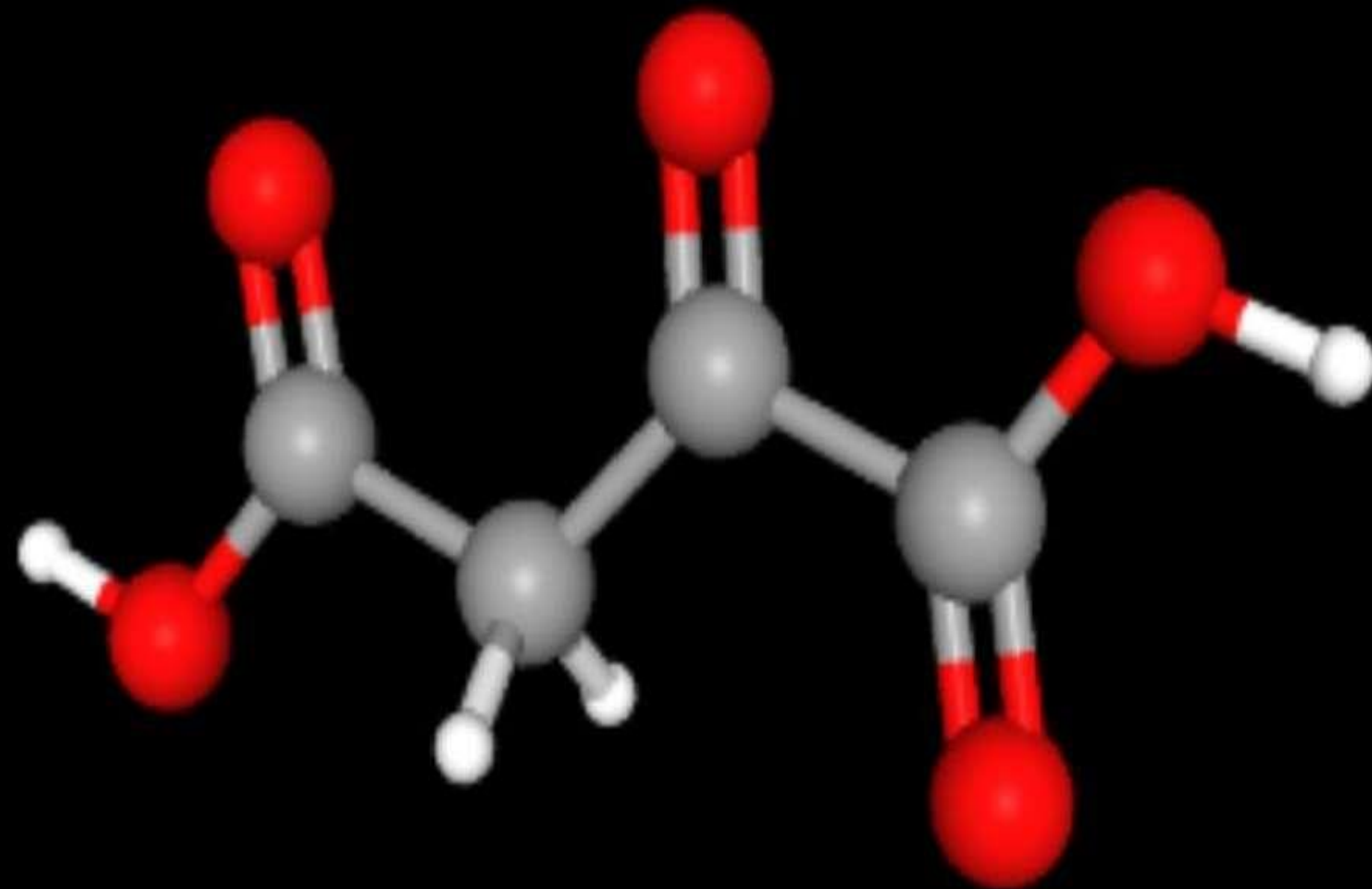
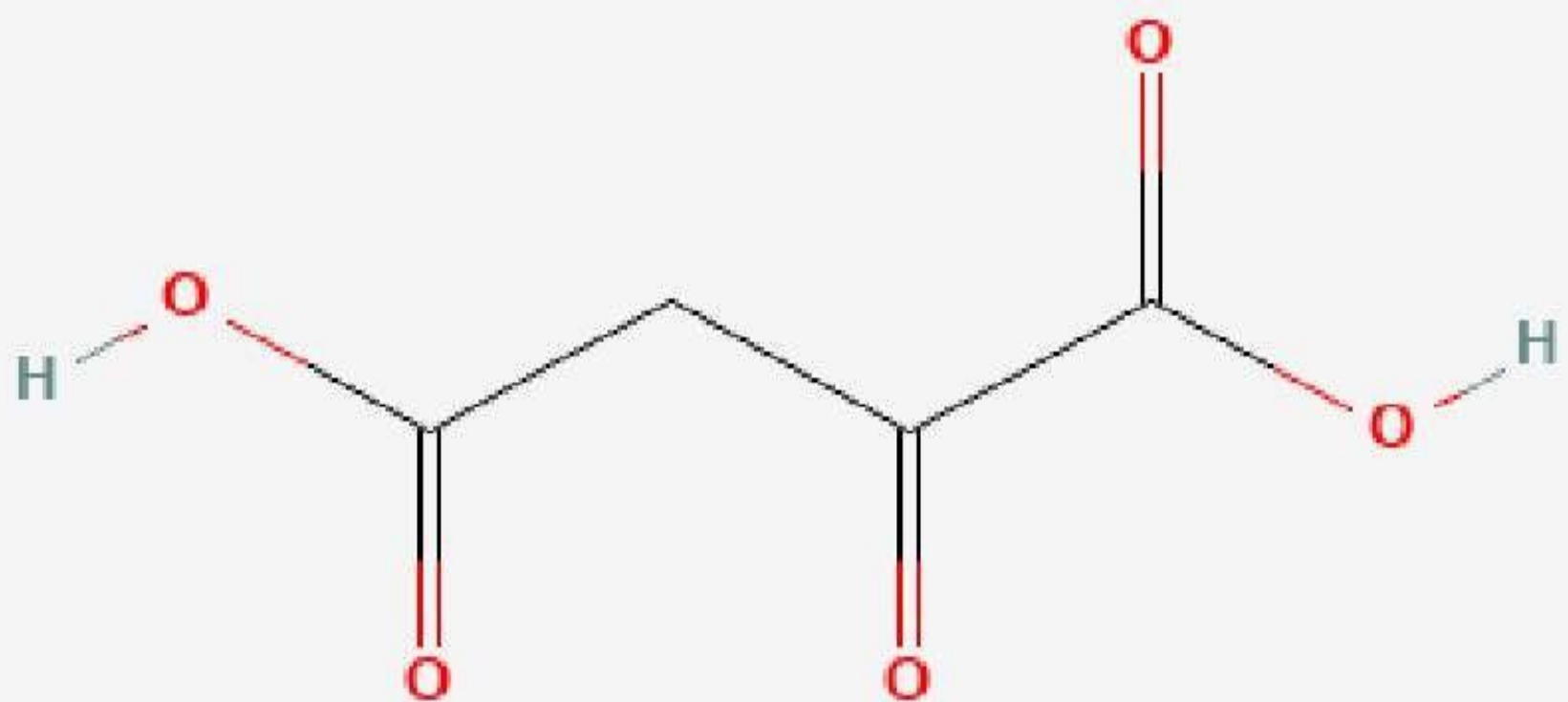
D-Ribulose 1,5- bisphosphate

- Fórmula Molecular: C₅H₁₂O₁₁P₂
- Peso Molecular : 310.09 g/mol
- Nome (IUPAC):[(2R,3R)-2,3-dihydroxy-4-oxo-5-phosphonooxypentyl] dihydrogen phosphate



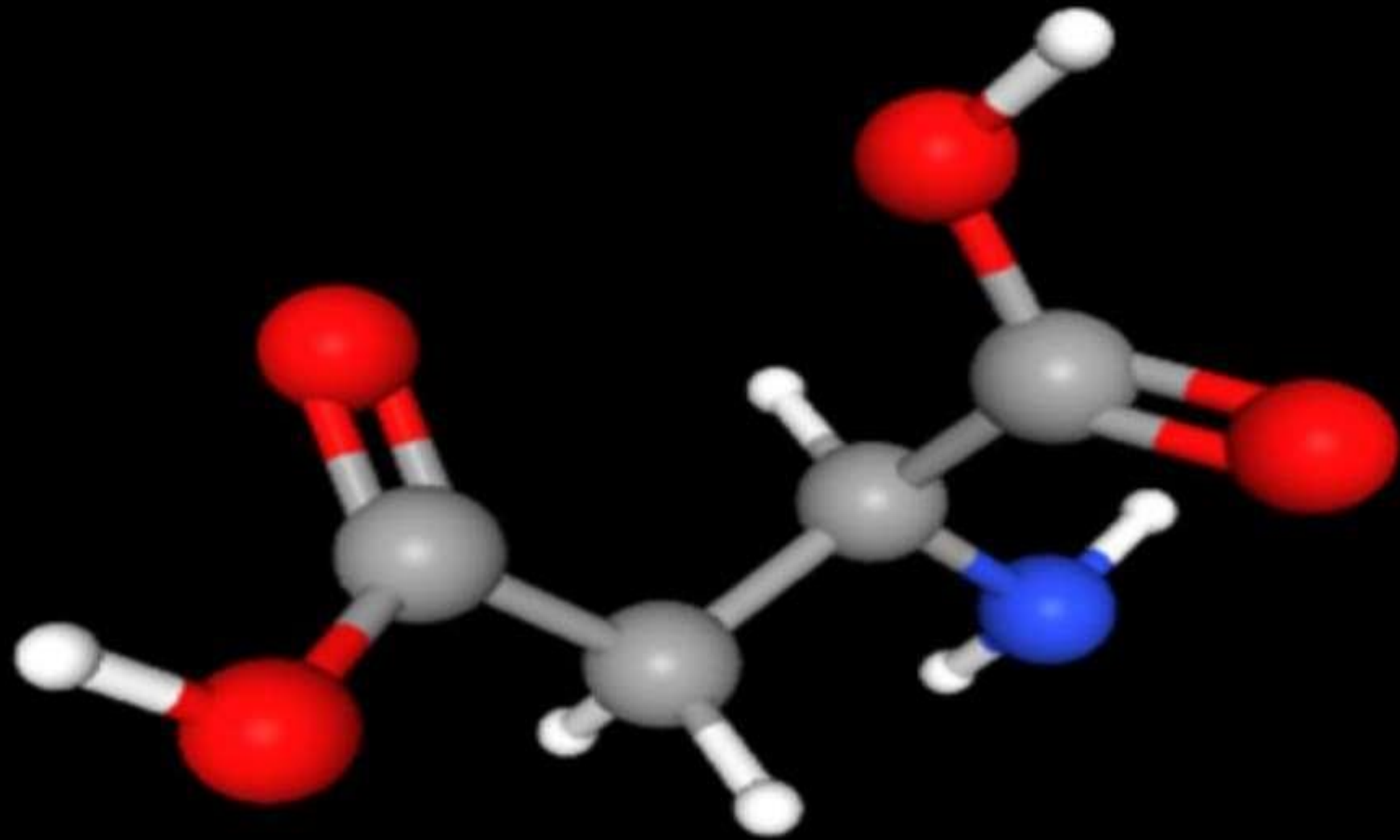
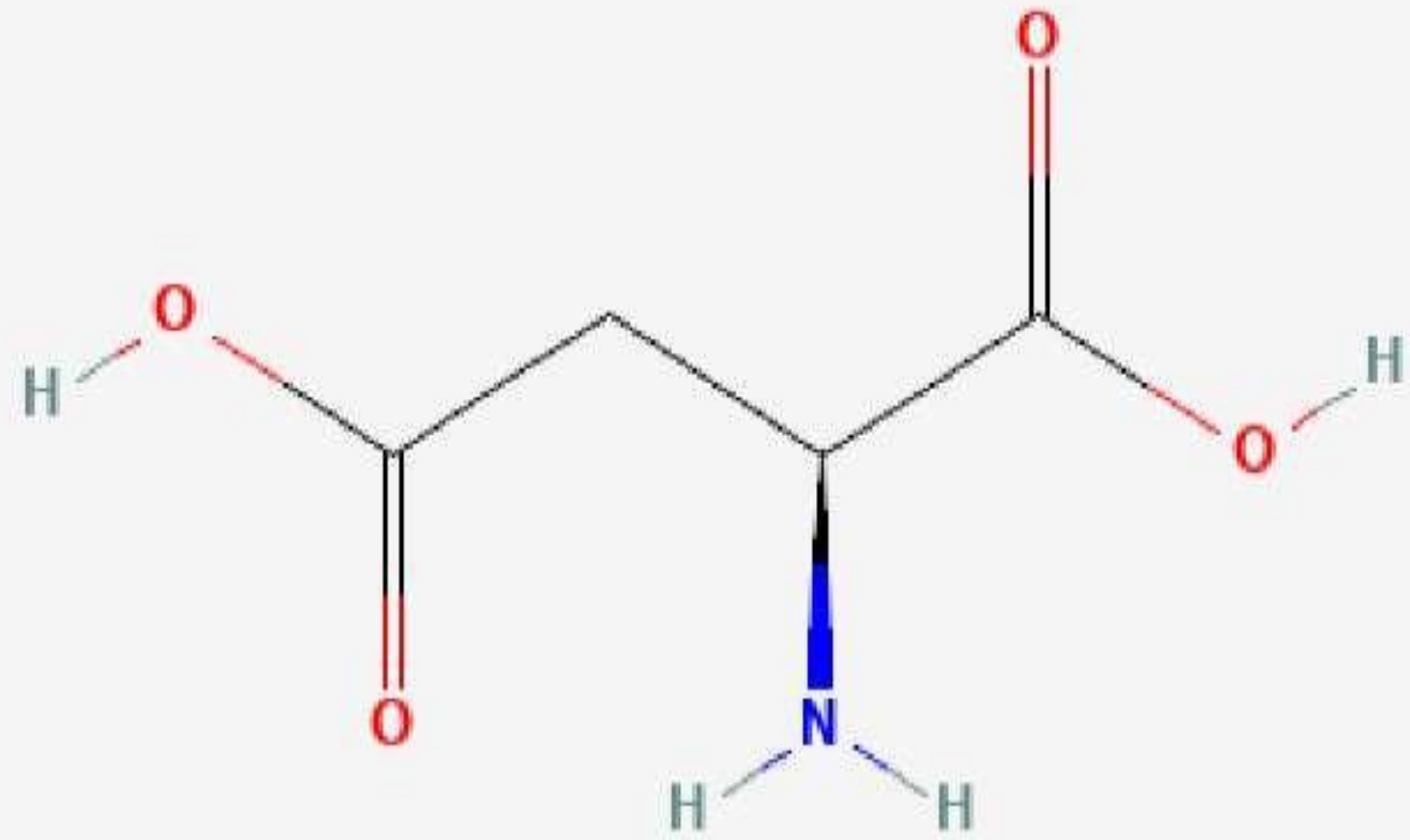
Ácido fosfoenolpirúvico (PEP)

- Fórmula Molecular: $C_3H_5O_6P$
- Peso Molecular : 168.04 g/mol
- Nome (IUPAC): 2-phosphonooxyprop-2-enoic acid



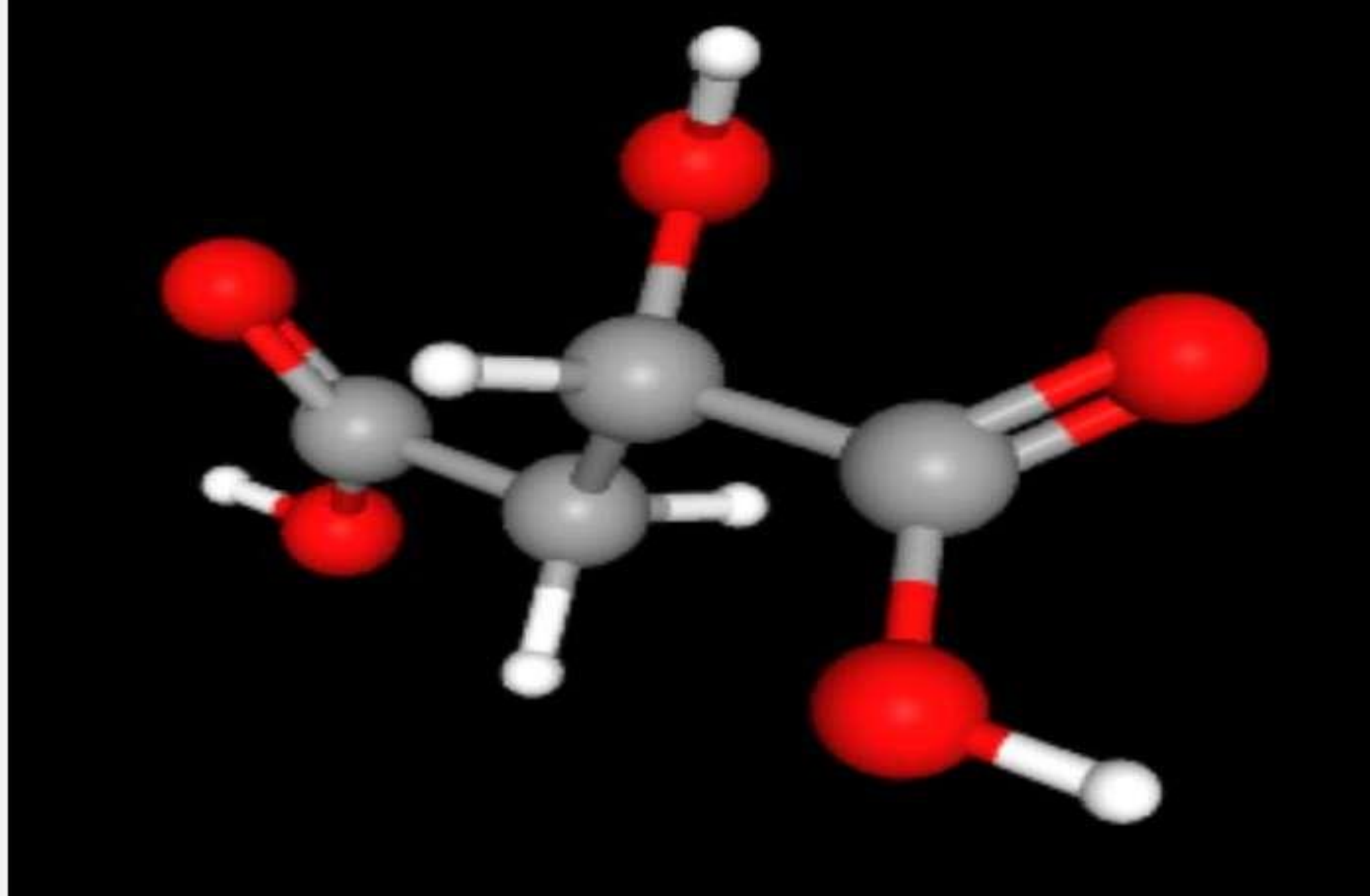
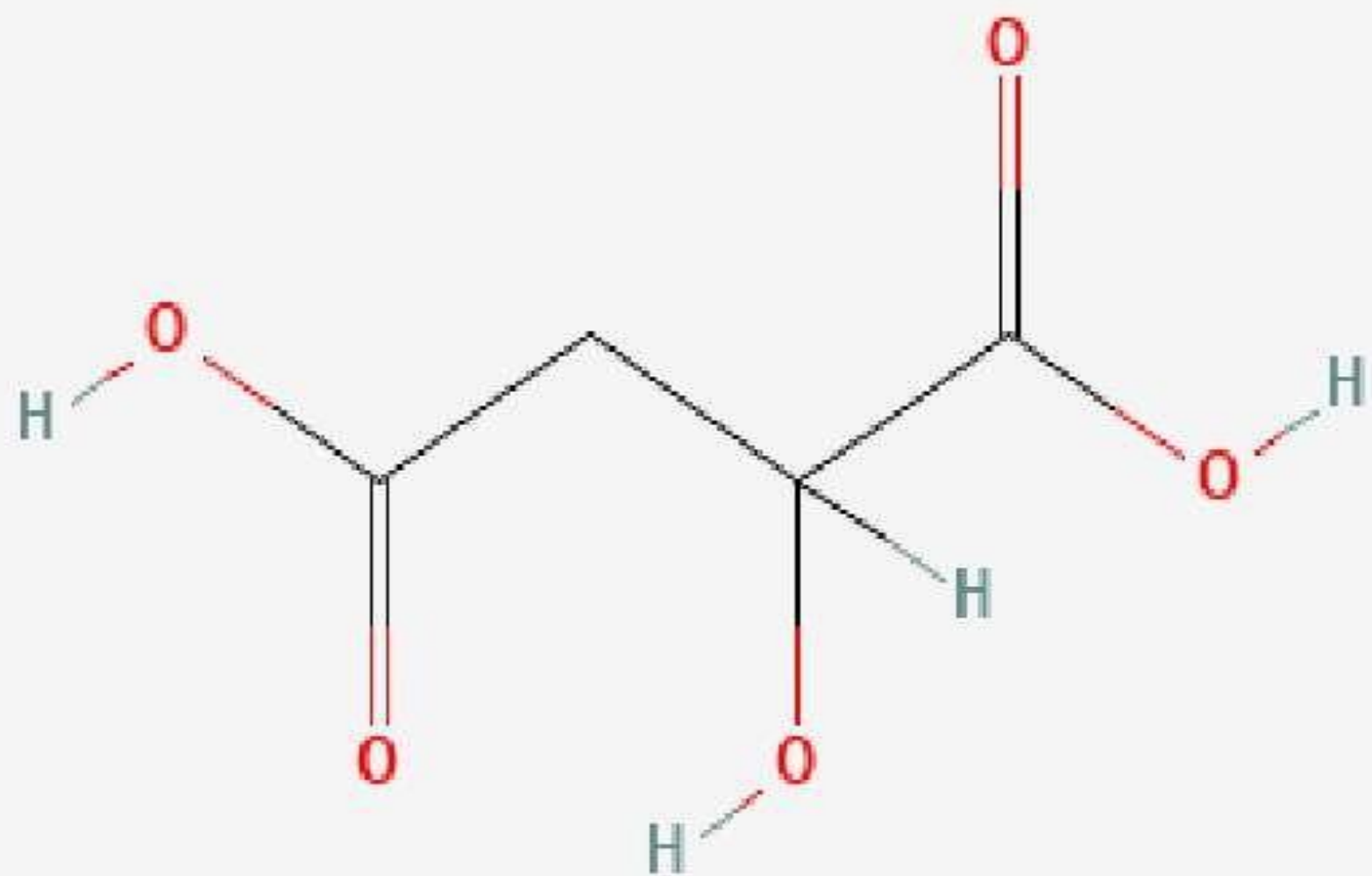
Ácido Oxaloacético (OAA)

- Fórmula Molecular: $C_4H_4O_5$
- Peso Molecular : 132.07 g/mol
- Nome (IUPAC): 2-oxobutanedioic acid



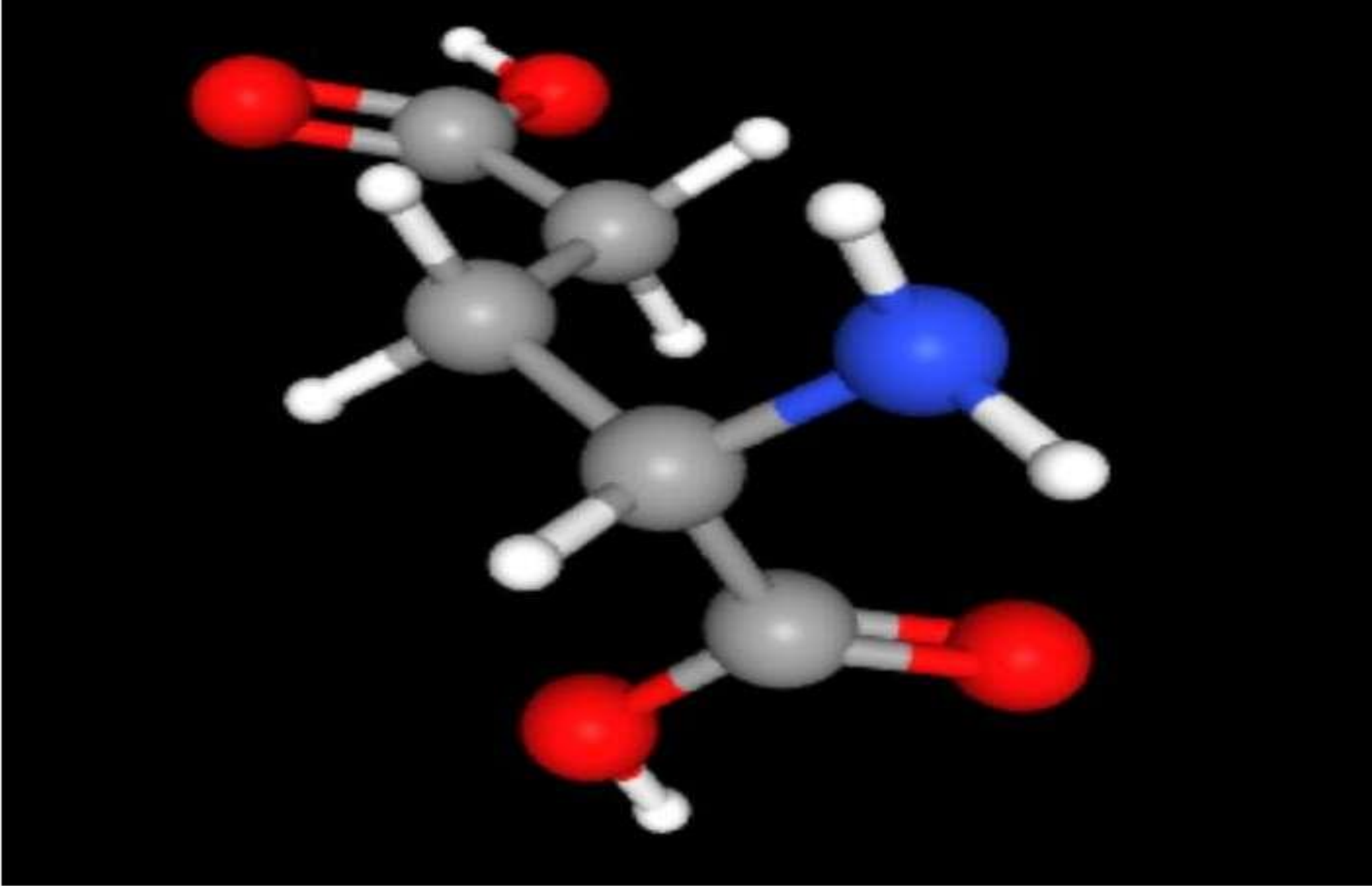
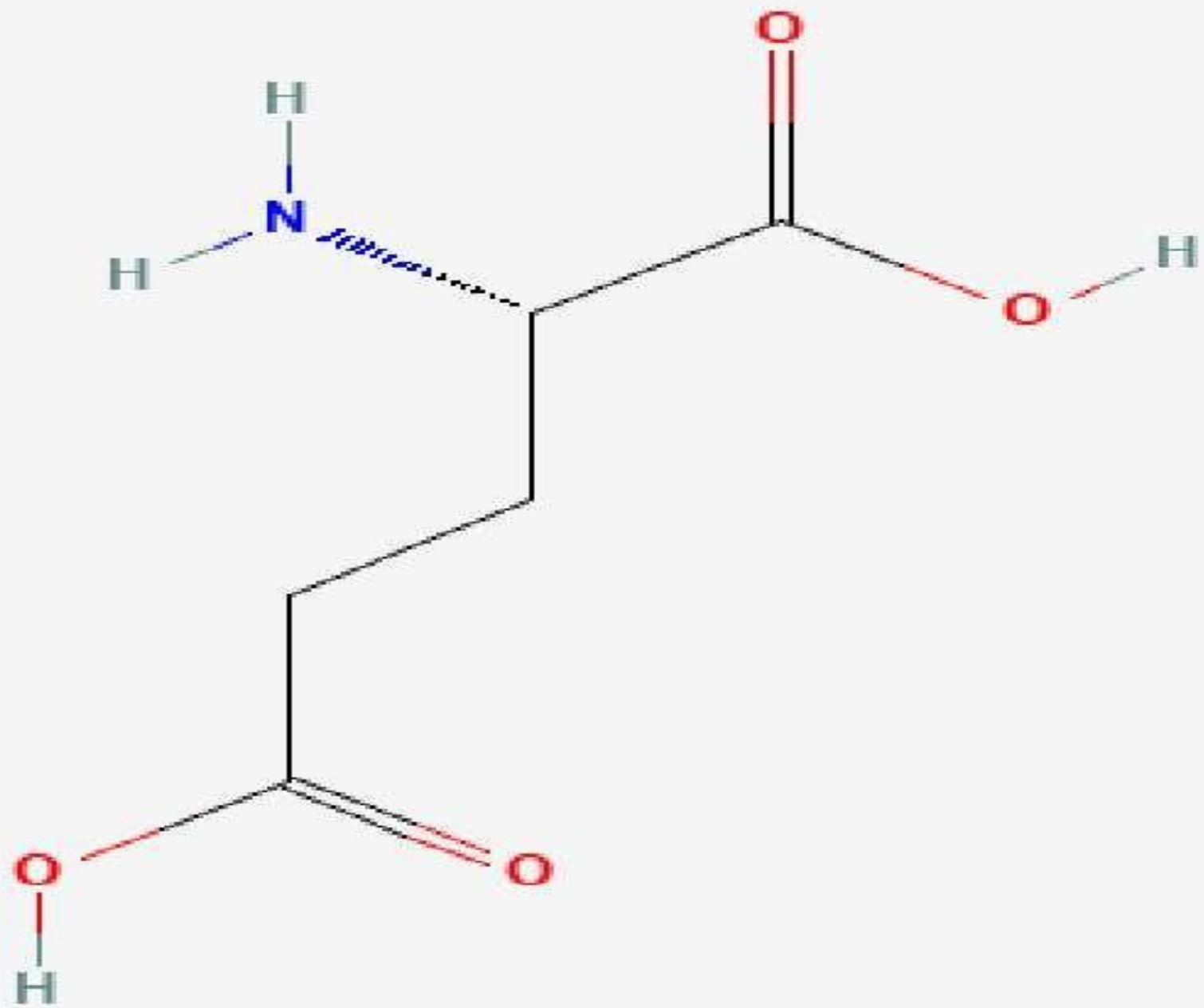
Aspartato

- Fórmula Molecular: C₄H₇NO₄
- Peso Molecular : 133.10 g/mol
- Nome (IUPAC):(2S)-2-aminobutanedioic acid



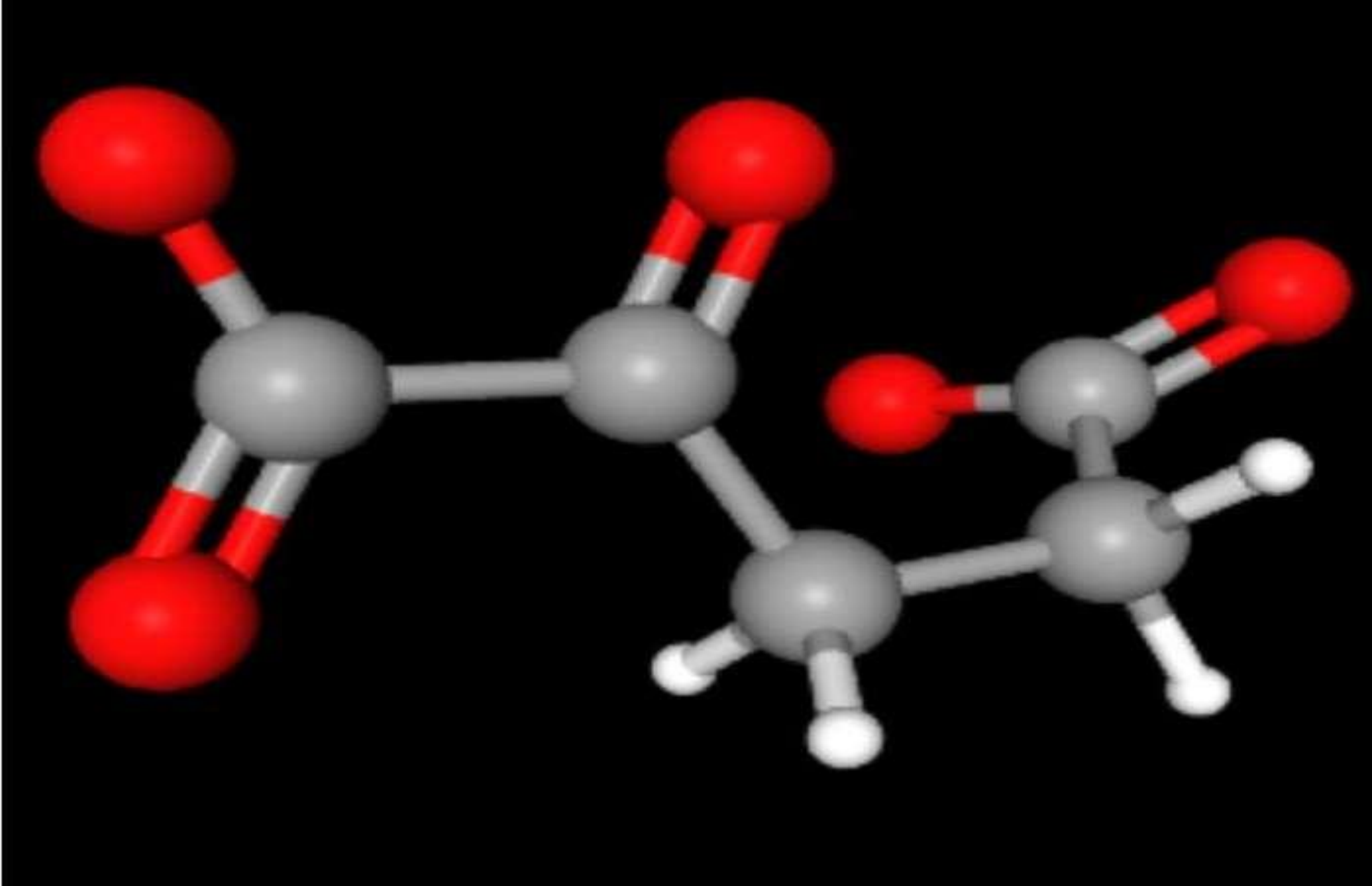
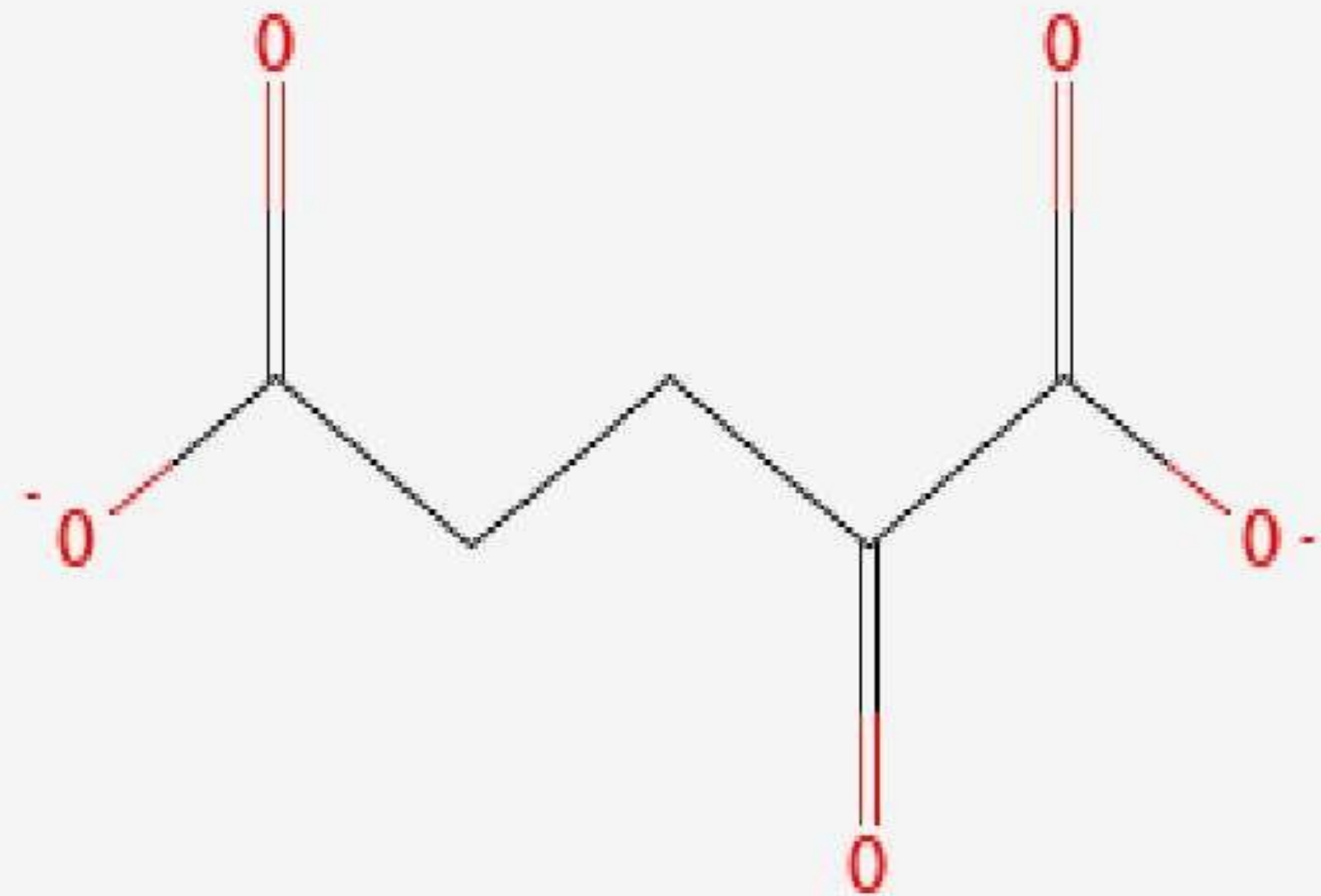
Malato

- Fórmula Molecular: C₄H₆O₅
- Peso Molecular : 134.09 g/mol
- Nome (IUPAC):2-hydroxybutanedioic acid



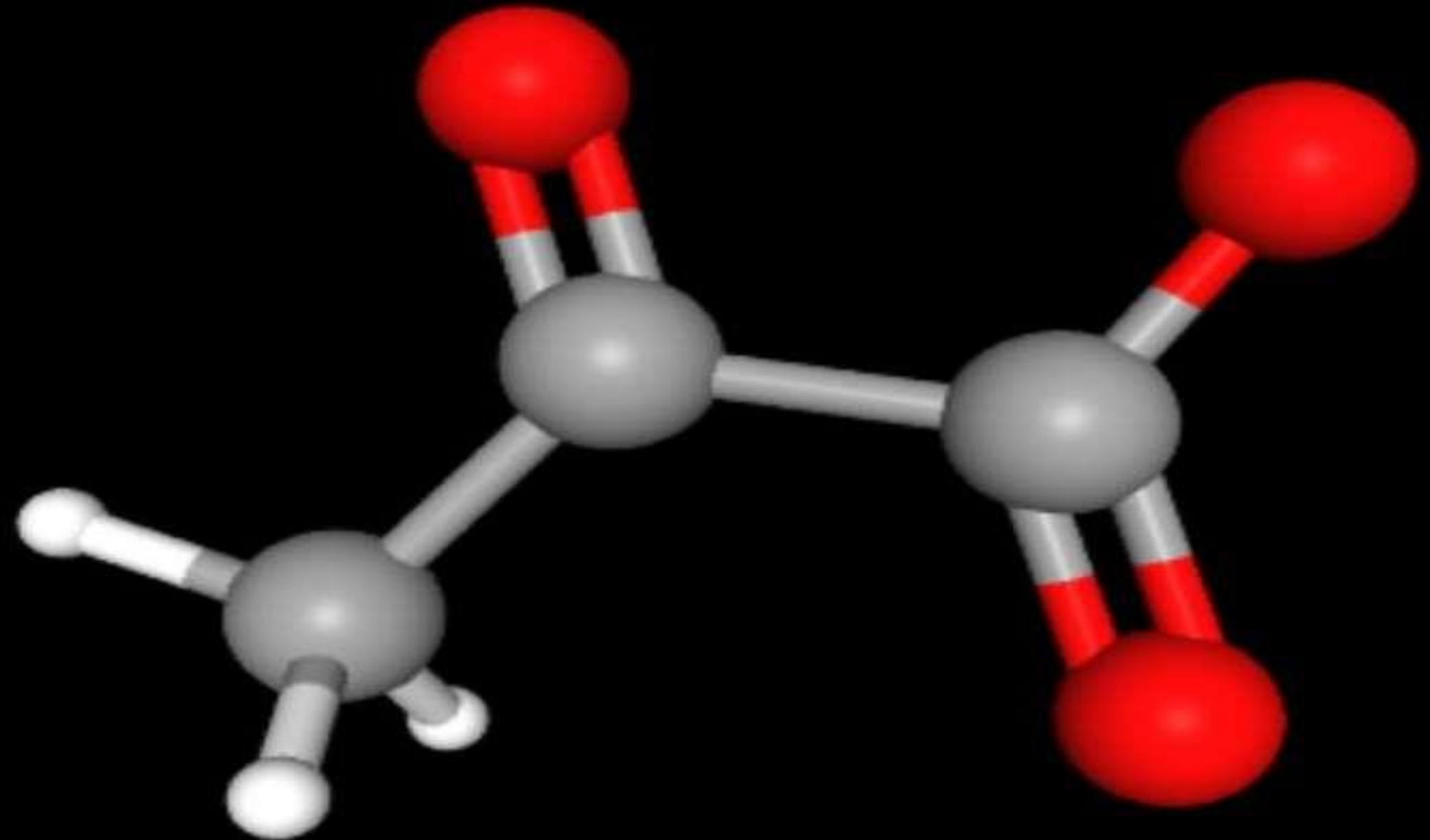
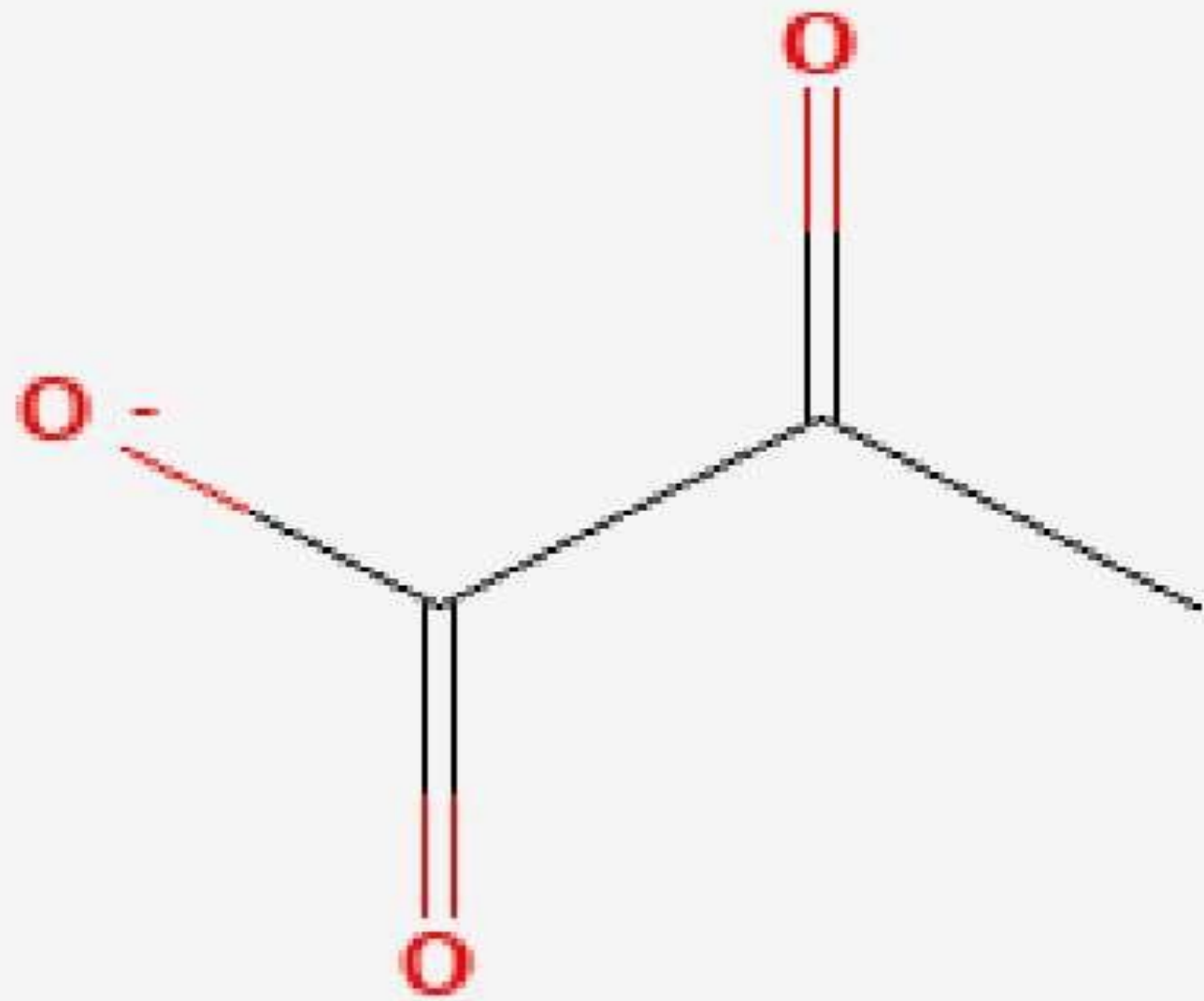
Ácido Glutâmico

- Fórmula Molecular: C₅H₉NO₄
- Peso Molecular : 147.13 g/mol
- Nome (IUPAC):(2S)-2-aminopentanedioic acid



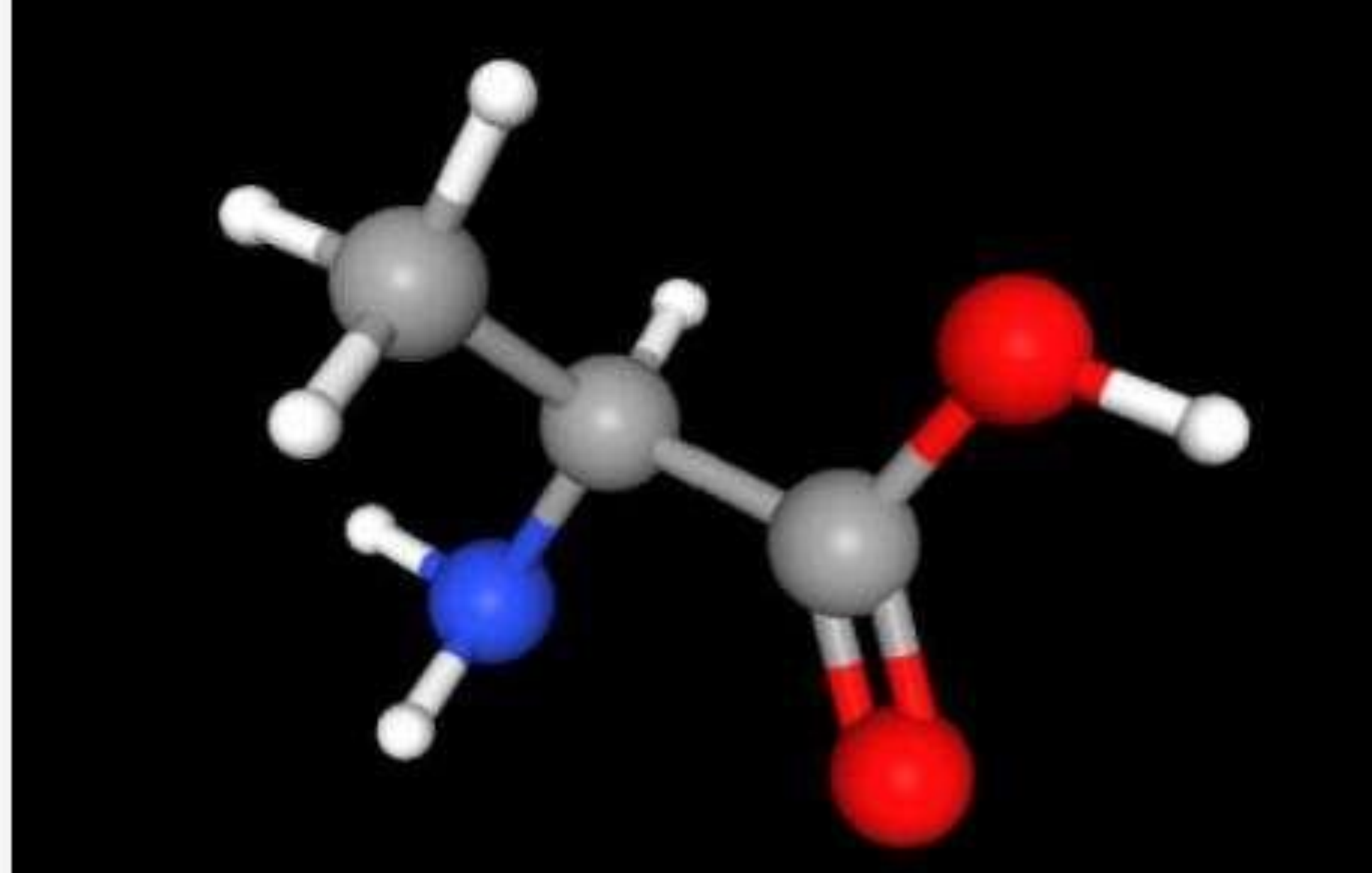
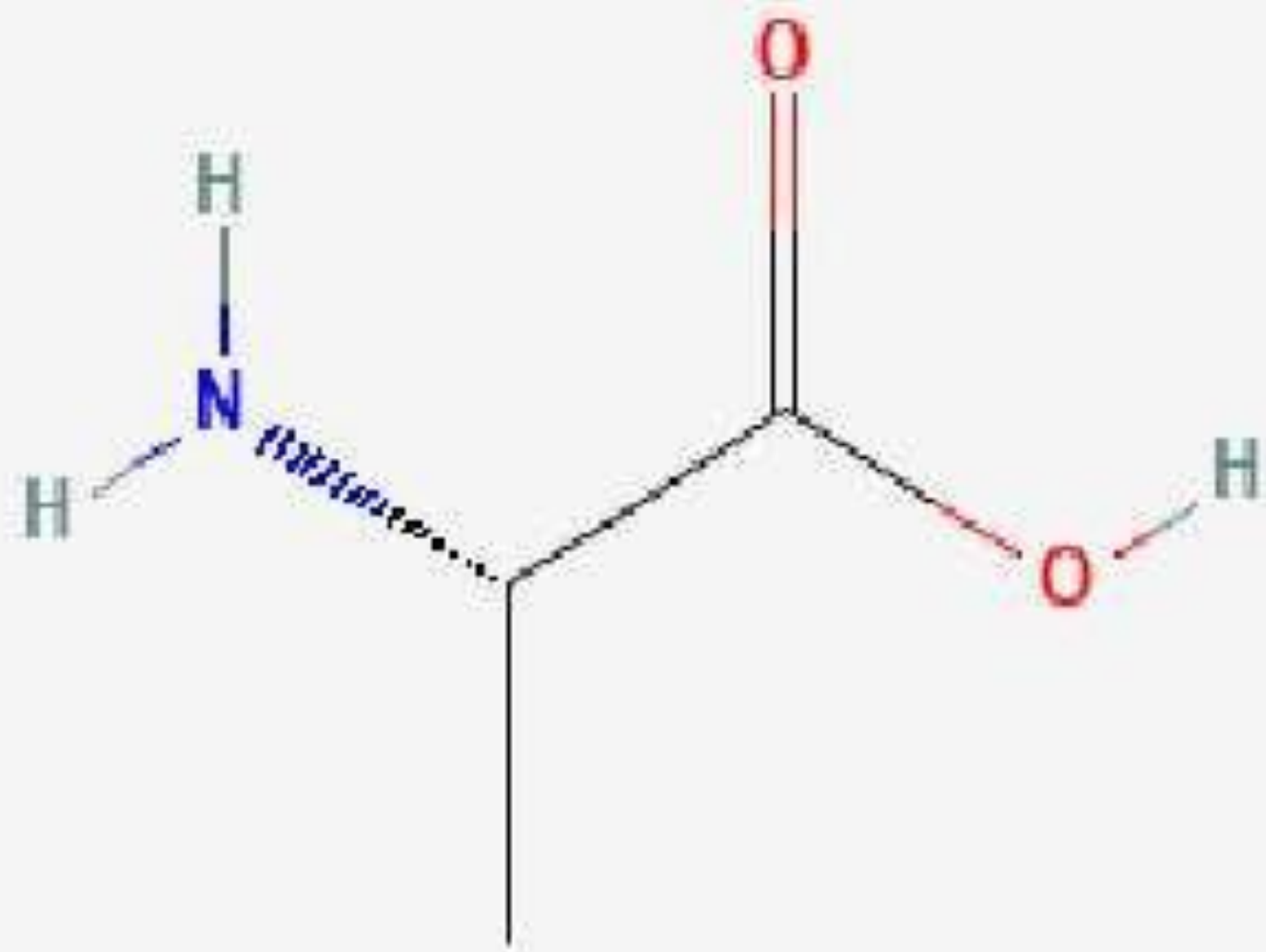
α -cetogluturato

- Fórmula Molecular: $C_5H_4O_5^{2-}$
- Peso Molecular : 144.08 g/mol
- Nome (IUPAC): 2-oxopentanedioate



Piruvato

- Fórmula Molecular: $C_3H_3O_3^-$
- Peso Molecular : 87.05 g/mol
- Nome (IUPAC): 2-oxopropanoate



Alanina

- Fórmula Molecular: C₃H₇NO₂
- Peso Molecular: 89.09 g/mol
- Nome (IUPAC): (2S)-2-aminopropanoic acid

Referência Bibliográfica

- GOWIK U, WESTHOFF P. The path from C3 to C4 photosynthesis. **Plant Physiology**, vol. 155, p. 56-63, 2011.
- SAGE, R.F.; SAGE, T. L. C4 Plants. In **Encyclopedia of Biodiversity** (2ª ed.), 2013, p. 361-381. DOI: 10.1016/B978-0-12-384719-5.00192-1
- SAGE, R.F.; ZHU, X. Exploiting the engine of C4 photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, vol. 62, nº 9, pp. 2989-3000, 2011. DOI: 10.1093/jxb/err179.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017.