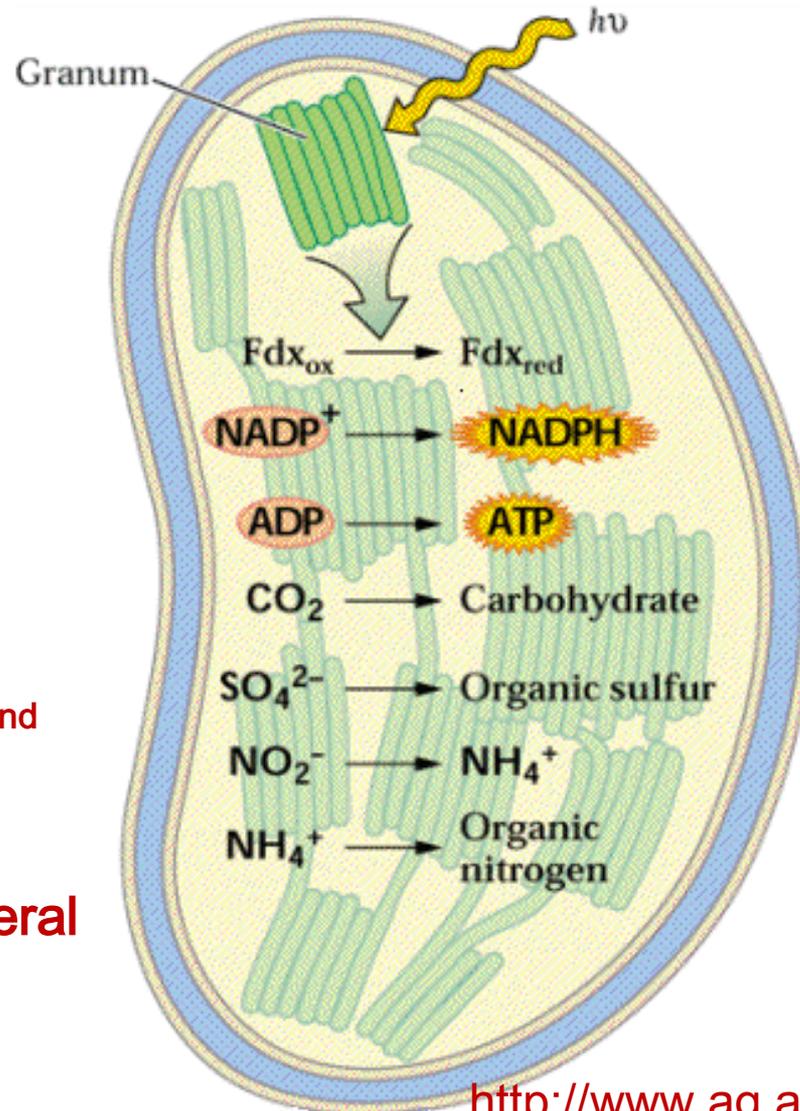


# Cloroplasto central energética dos organismos autotróficos

## Metabolismo primário

Depois do metabolismo do carbono... Metabolismo do azoto e do enxofre



### *Bibliografia*

Plant Physiology, 2<sup>nd</sup>  
ed, 2003, Taiz &  
Zieger

Assimilation of Mineral  
Nutrients

Assimilation of Mineral  
Nutrients

# FISIOLOGIA VEGETAL 2013-2014

## METABOLISMO PRIMÁRIO DO AZOTO E DO ENXOFRE

### 1. Introdução

- 1.1. Formas de azoto disponíveis e utilizadas pelas plantas: nitrato, amónio e dinitrogénio
- 1.2. Importância dos compostos biológicos de azoto nos organismos vivos
- 1.3. Formas de enxofre disponíveis e utilizadas pelas plantas: sulfato, sulfito, dióxido de enxofre, sulfureto
- 1.4. Importância funcional dos compostos biológicos de enxofre nos organismos vivos

### 2. Assimilação do nitrato e do amónio

#### 2.1. Redução do nitrato

- 2.1.1. Características da nitrato redutase (NR)
- 2.1.2. Localização da NR
- 2.1.3. Regulação da expressão e da actividade da NR

#### 2.2. Redução do nitrito

- 2.2.1. Características, localização e regulação da nitrito redutase (NiR)

#### 2.3. Assimilação do amónio

### 3. O sulfato como principal fonte de enxofre para as plantas. Assimilação do ião sulfato

- 3.1. Activação de  $\text{SO}_4^{2-}$ , formação de APS e de PAPS
- 3.2. Redução do sulfato ou do tiosulfato
- 3.3. Assimilação de sulfureto e síntese da cisteína

### 4. Síntese e transporte de aminoácidos

### 5. Coordenação entre o metabolismo do carbono e do azoto. Ciclo fotorrespiratório do azoto.

### 6. Glutationa: natureza, composição e principais funções

# **1. Introdução – Ciclos biogeoquímico e biológico do azoto**

**1.1. Formas de azoto disponíveis e utilizadas pelas plantas: nitratos, amónio e dinitrogénio**

**1.2. Importância dos compostos biológicos de azoto nos organismos vivos**

# Ciclo biológico do azoto

Taxas anuais de fixação de  $N_2$  (Teragrama, Tg  
 $10^{12}$  g =  $10^6$  ton)

**Não biológica**

Raios : 10 Tg

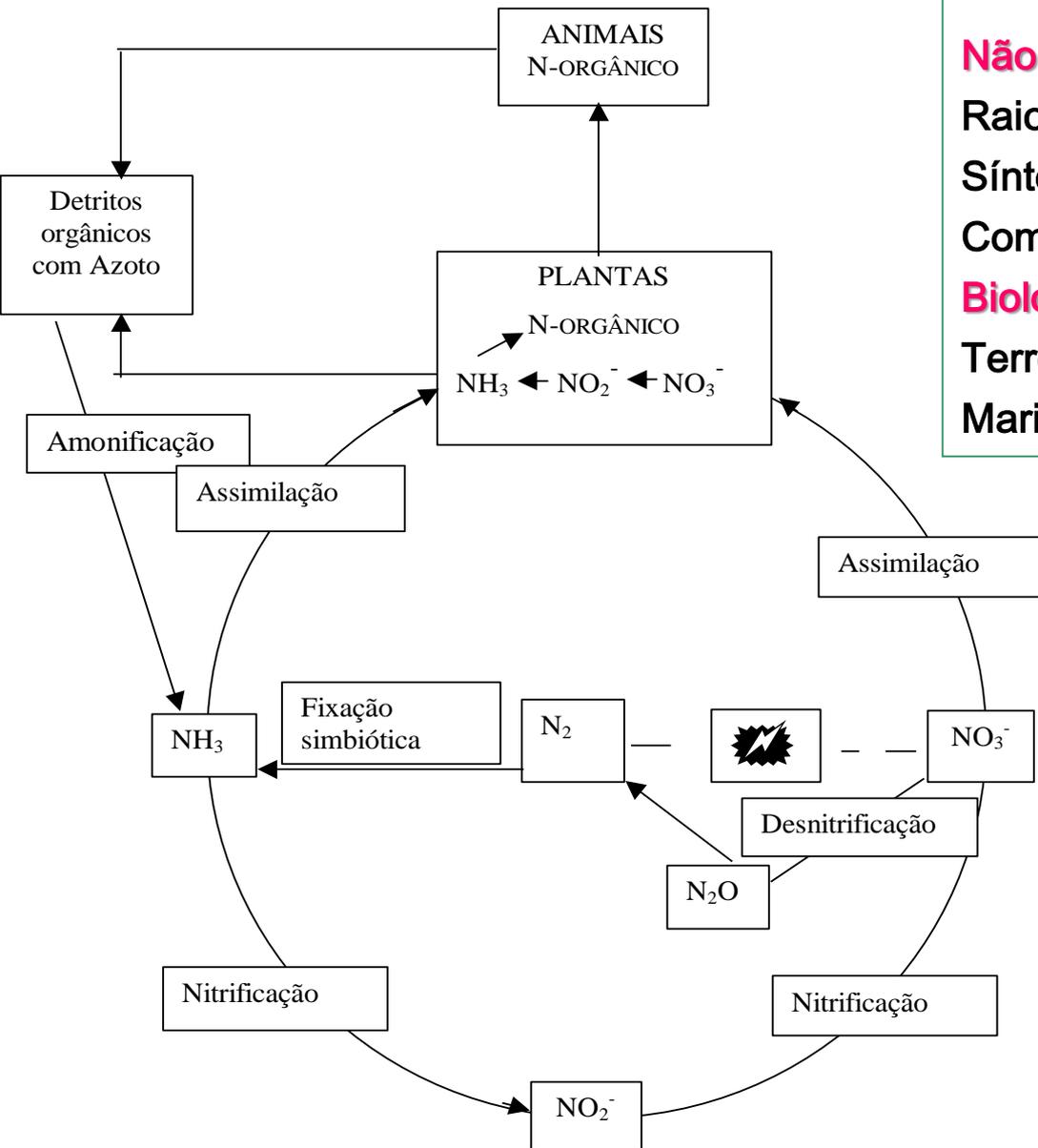
Síntese de fertilizantes : 80 Tg

Combustão de combustíveis fósseis : 20 Tg

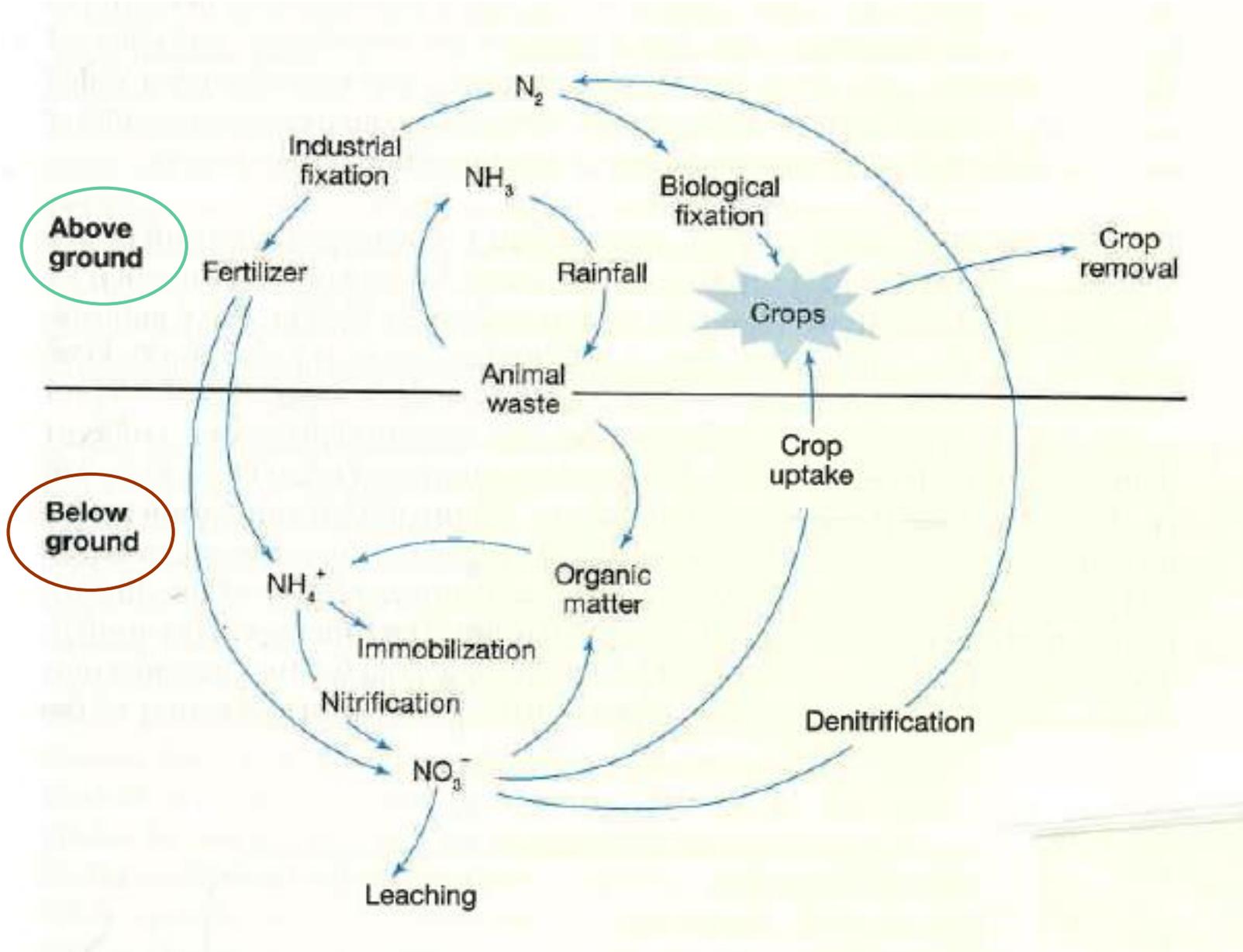
**Biológica**

Terrestre (agrícola e florestal): 140 Tg

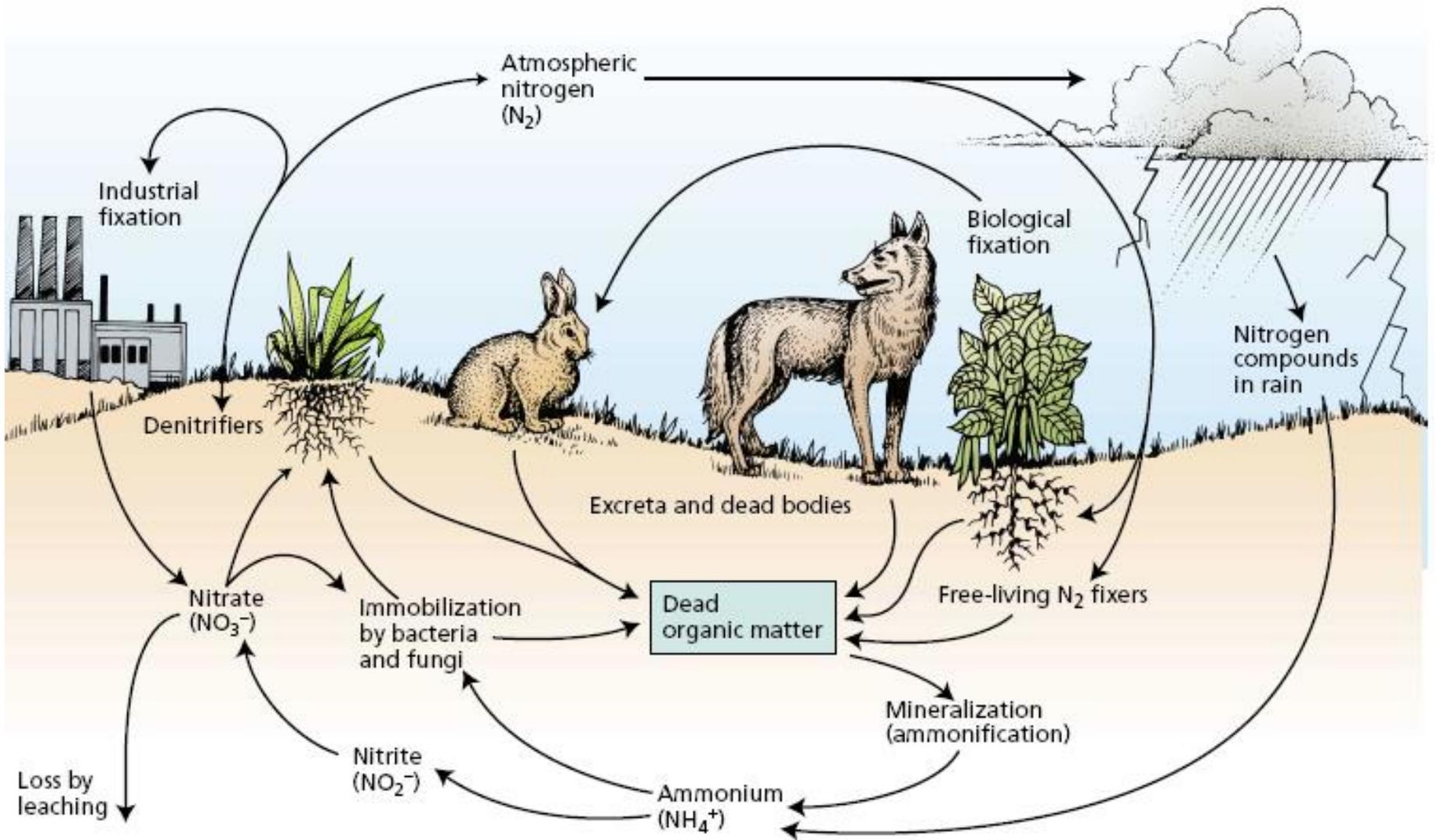
Marinha: 35 Tg



# Ciclo biológico do azoto



# Ciclo biológico do azoto

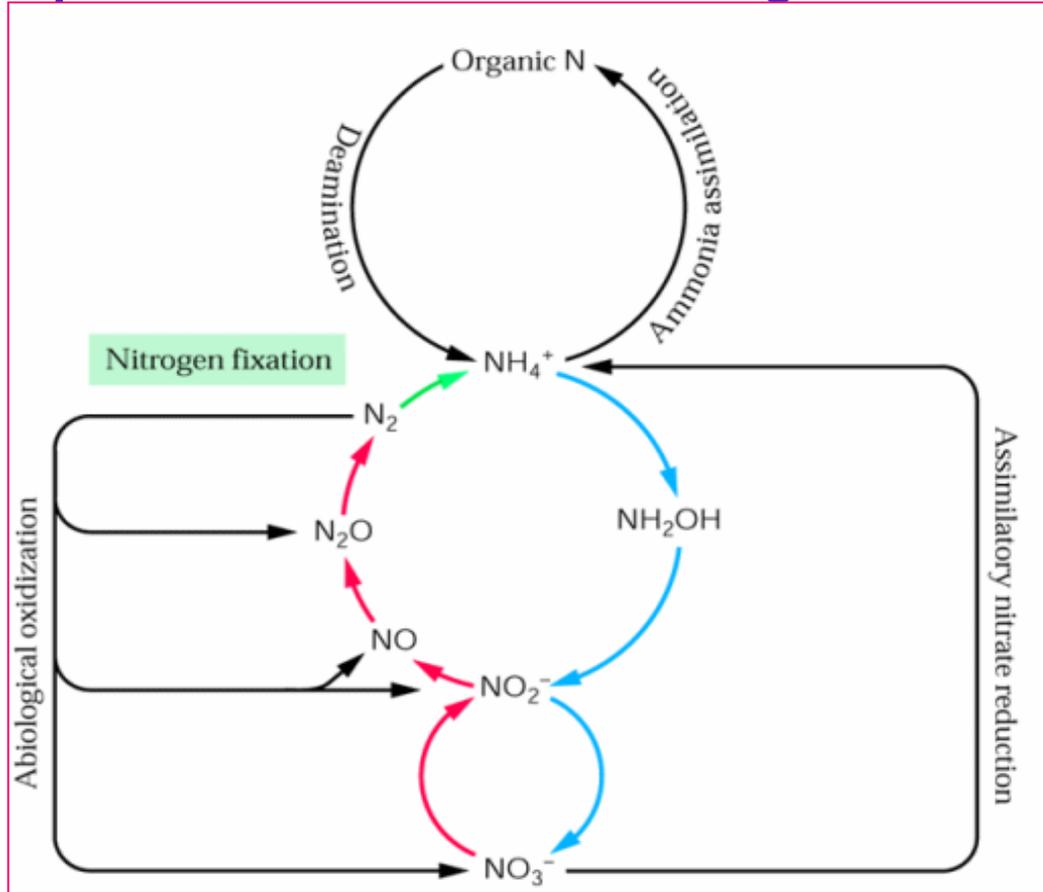


**Table 8.1 Biological and nonbiological nitrogen fixation processes**

	<b>Total nitrogen fixed per year</b>
<b>Non-biological nitrogen fixation</b>	
Atmospheric fixation via lightning and photochemical conversion of molecular nitrogen to ammonium	10 Tg
Industrial fixation of nitrogen via Haber-Bosch reaction used in nitrogenous fertilizer production	50 Tg
Fossil fuel combustion	20 Tg
<b>Biological nitrogen fixation</b>	
Agricultural land	90 Tg
Forest and nonagricultural land	50 Tg
Marine	35 Tg

The standard unit of measurement is the teragram, Tg, which is equivalent to  $10^6$  metric tons

# Os procariotas no ciclo biológico do azoto

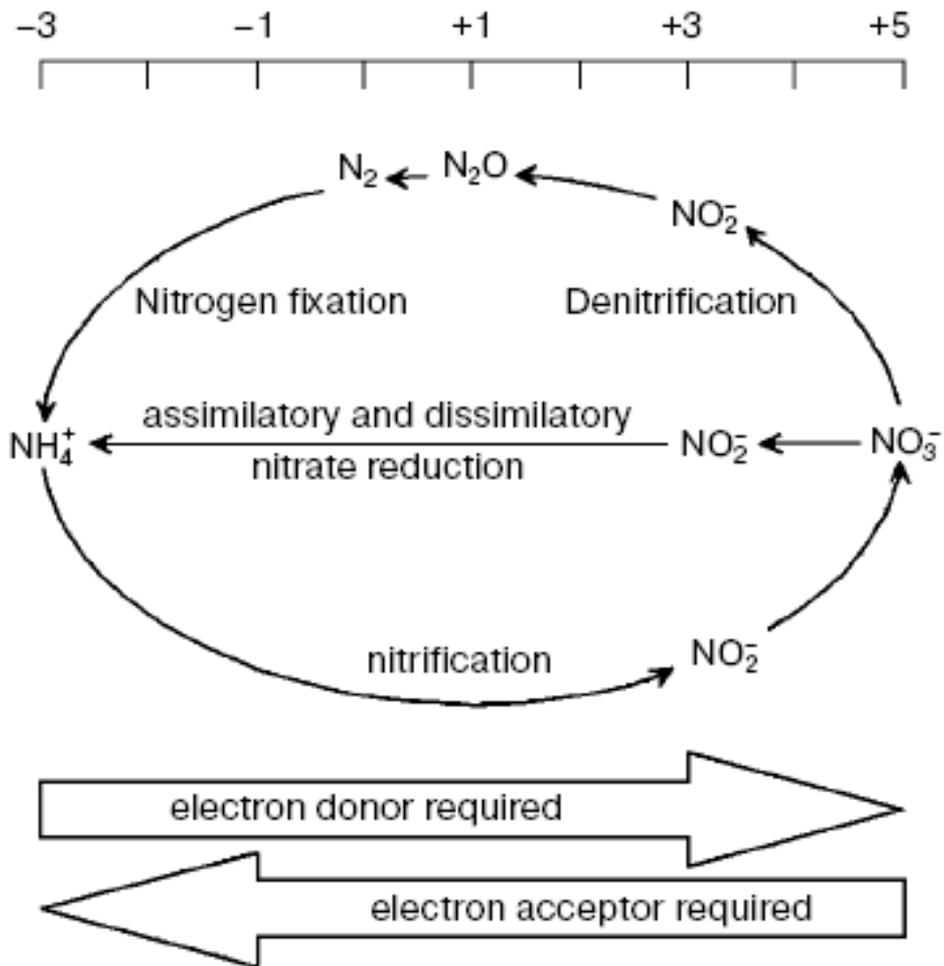


Processos biológicos que alteram o estado de oxidação do azoto catalisados exclusivamente por procariotas:

nitrificação – oxidação do amónio ou do nitrito com energia libertada usada na fixação de  $\text{CO}_2$ ; D

desnitrificação –  $\text{N}_2$  como aceitador final dos electrões; D

fixação do  $\text{N}_2$  ↗

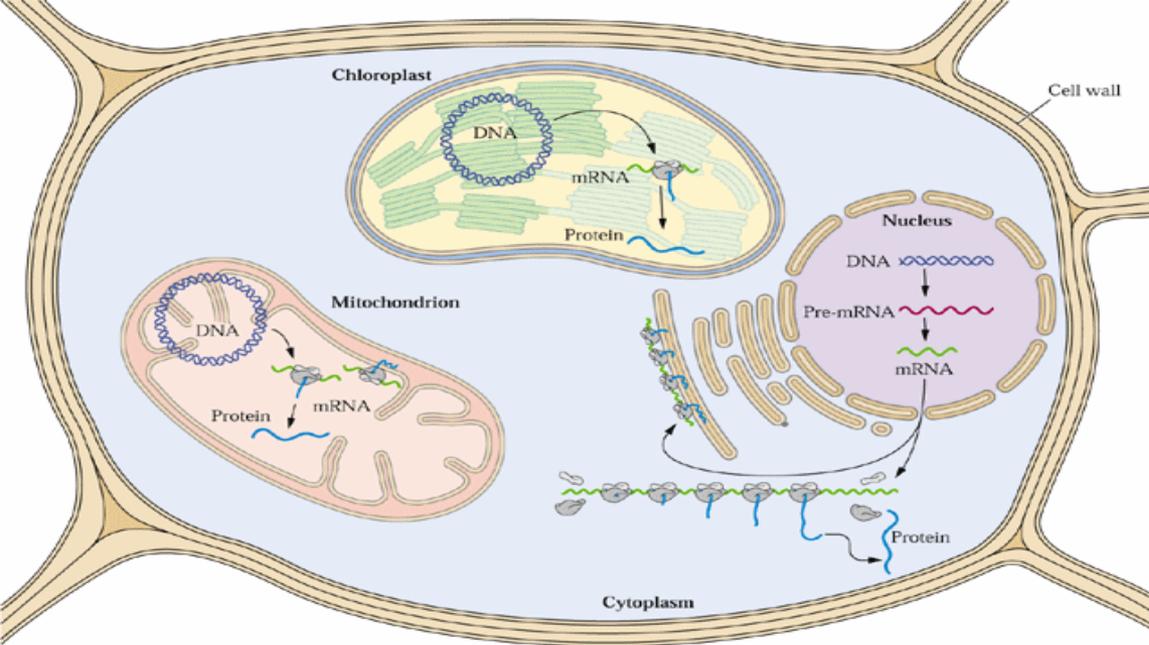


Funções da redução do Nitrato ( $NO_3^-$ ):

- i) utilização do  $NO_3^-$  como fonte de azoto (assimilação do nitrato);
- ii) produção de energia metabólica durante a utilização do  $NO_3^-$  como aceitador terminal de elétrons (“respiração” do nitrato);
- iii) dissipação do excesso de energia redutora de modo a manter o equilíbrio de óxido-redução (desassimilação do nitrato).

## Compostos inorgânicos de azoto (N)

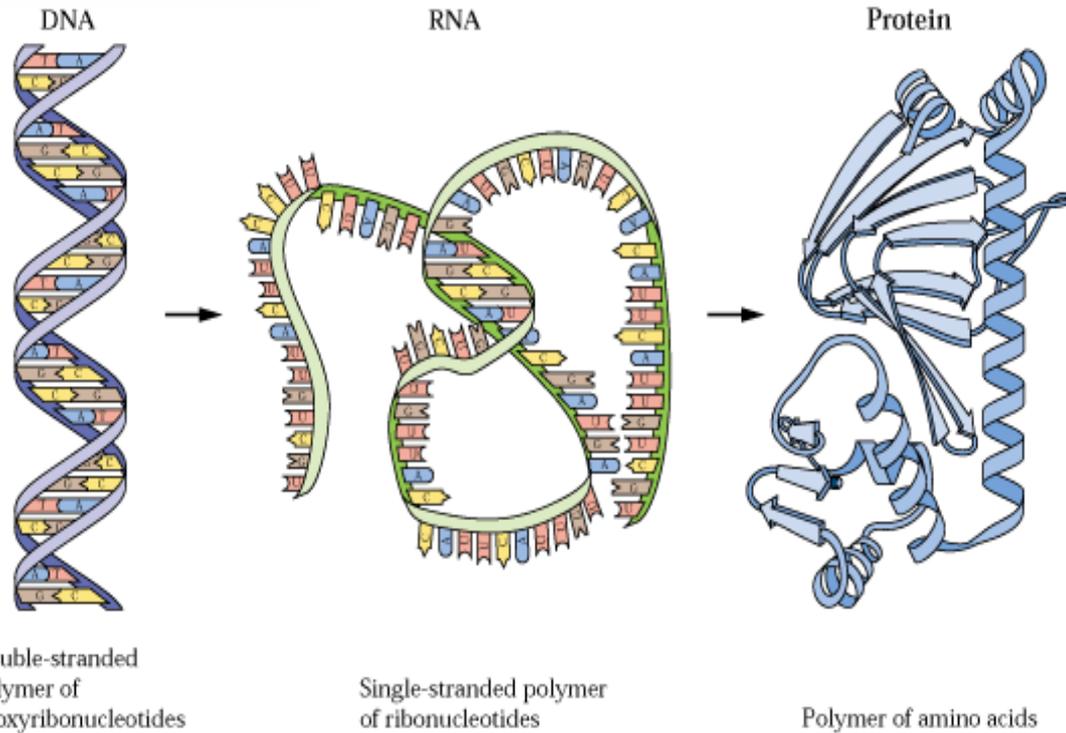
Nome do composto	Fórmula química	Estado de oxidação do N
Azoto gasoso (dinitrogéneo)	$\text{N}_2$	0
Amónia	$\text{NH}_3$	-3
Ião amónio	$\text{NH}_4^+$	-3
Óxido nitroso	$\text{N}_2\text{O}$	+1
Óxido nítrico	$\text{NO}$	+2
Dióxido de azoto	$\text{NO}_2$	+3
Nitrito	$\text{NO}_2^-$	+4
Nitrato	$\text{NO}_3^-$	+5



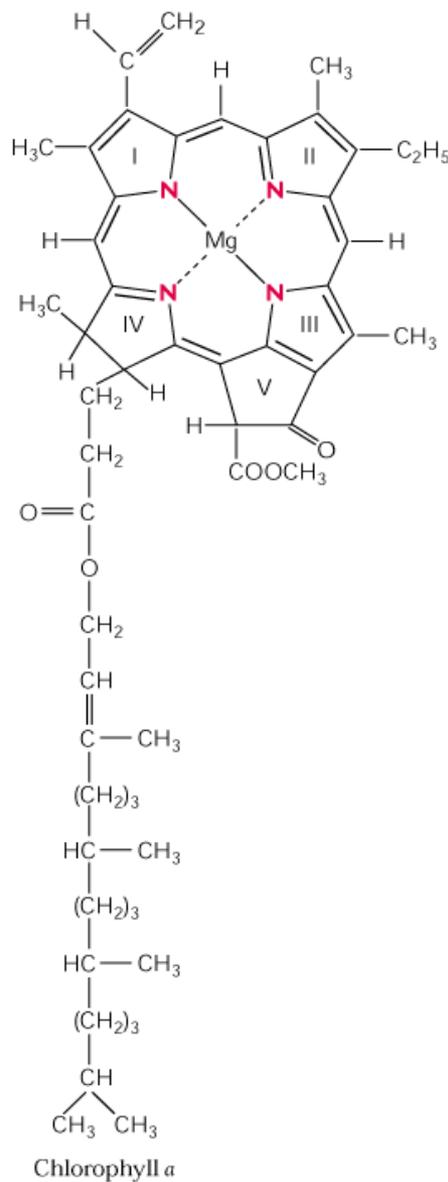
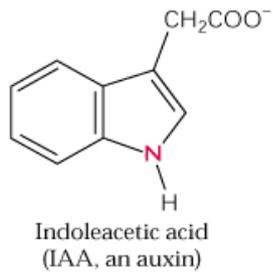
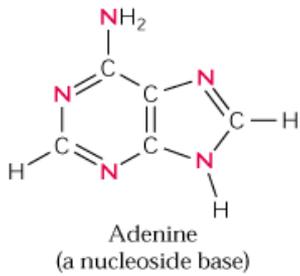
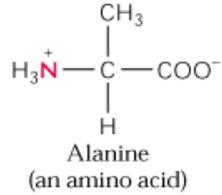
Locais de síntese proteica na célula vegetal.

Importância dos compostos de azoto

no fluxo de informação entre genes e proteínas



Importância dos compostos biológicos de azoto nos organismos vivos.

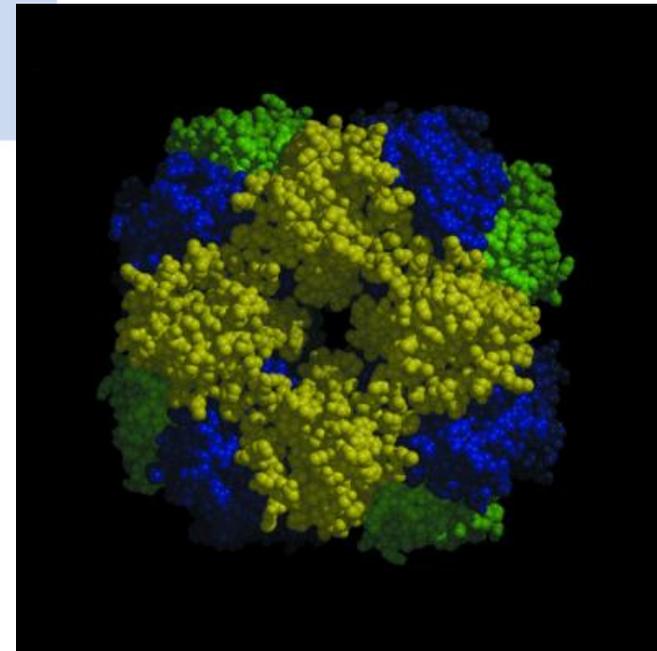


Importância dos compostos biológicos de azoto nos organismos vivos.

Alguns compostos de azoto como os alcalóides são sintetizados apenas pelas plantas

Amino acid	3-Letter code	1-Letter code	Codons
Alanine	Ala	A	GCC, GCU, GCG, GCA
Arginine	Arg	R	CGC, CGG, CGU, CGA, AGA, AGG
Asparagine	Asn	N	AAU, AAC
Aspartic acid	Asp	D	GAU, GAC
Cysteine	Cys	C	UGU, UGC
Glutamic acid	Glu	E	GAA, GAG
Glutamine	Gln	Q	CAA, CAG
Glycine	Gly	G	GGU, GGC, GGA, GGG
Histidine	His	H	CAU, CAC
Isoleucine	Ile	I	AUU, AUC, AUA
Leucine	Leu	L	UUA, UUG, CUA, CUG, CUU, CUC
Lysine	Lys	K	AAA, AAG
Methionine	Met	M	AUG
Phenylalanine	Phe	F	UUC, UUU
Proline	Pro	P	CCU, CCC, CCA, CCG
Serine	Ser	S	UCU, UCC, UCA, UCG, AGU, AGC
Threonine	Thr	T	ACU, ACC, ACA, ACG
Tyrosine	Tyr	Y	UAU, UAC
Tryptophan	Trp	W	UGG
Valine	Val	V	GUU, GUC, GUA, GUG
"Stop"	—	—	UAA, UAG, UGA

RUBISCO: exemplo de uma proteína complexa das plantas: 8 cópias da sub-unidade grande (~53 kDa, síntese no cloroplasto) 8 cópias de sub-unidade pequena (~14 kDa, síntese no citoplasma)



Nomes dos aminoácidos, abreviaturas com três letras ou com uma letra.

Codões: no processo de tradução a leitura de cada três nucleótidos de mRNA corresponde a inserção de um aminoácido na cadeia polipeptídica

# Nutrição azotada e equilíbrio ambiental.

## Influência da fertilização azotada:



Efeito da carência de azoto na cultura de beterraba

Efeito da carência de azoto numa experiência com tomateiro

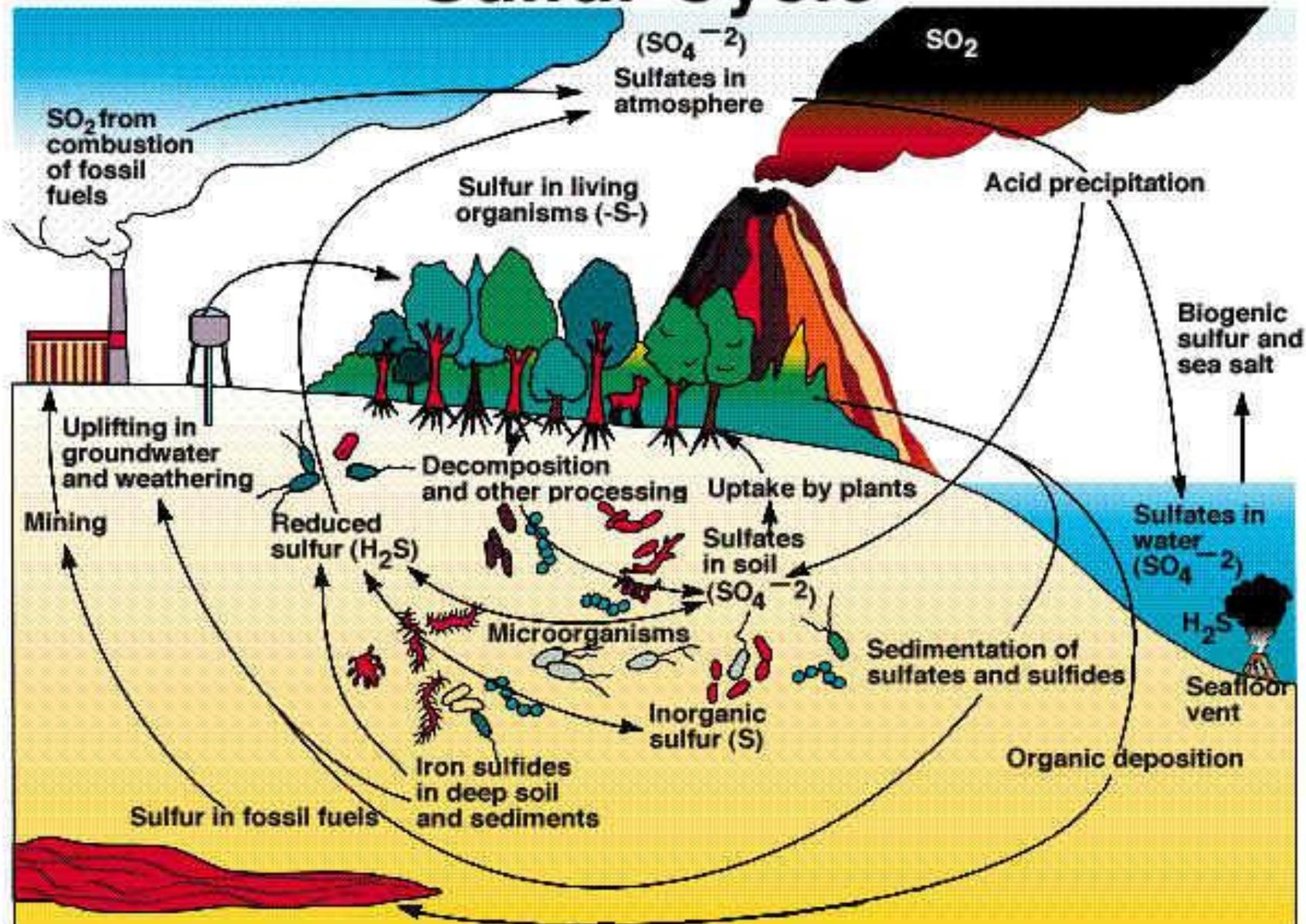


# **1. Introdução – Ciclo biogeoquímico do enxofre**

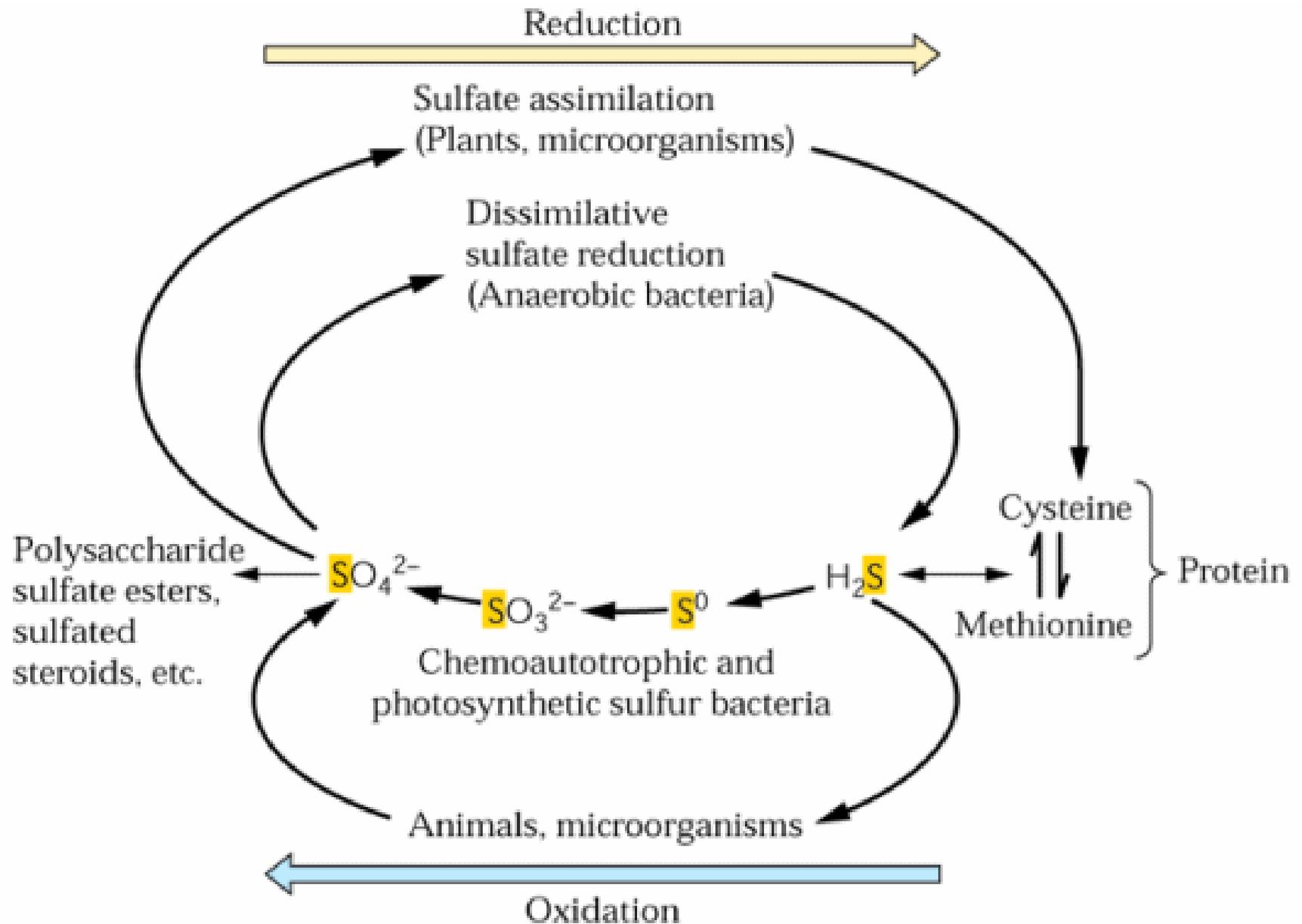
**1.3. Formas de enxofre disponíveis e utilizadas pelas plantas: sulfatos, sulfitos, dióxido de enxofre, sulfuretos**

**1.4. Importância funcional dos compostos biológicos de enxofre nos organismos vivos**

# Sulfur Cycle

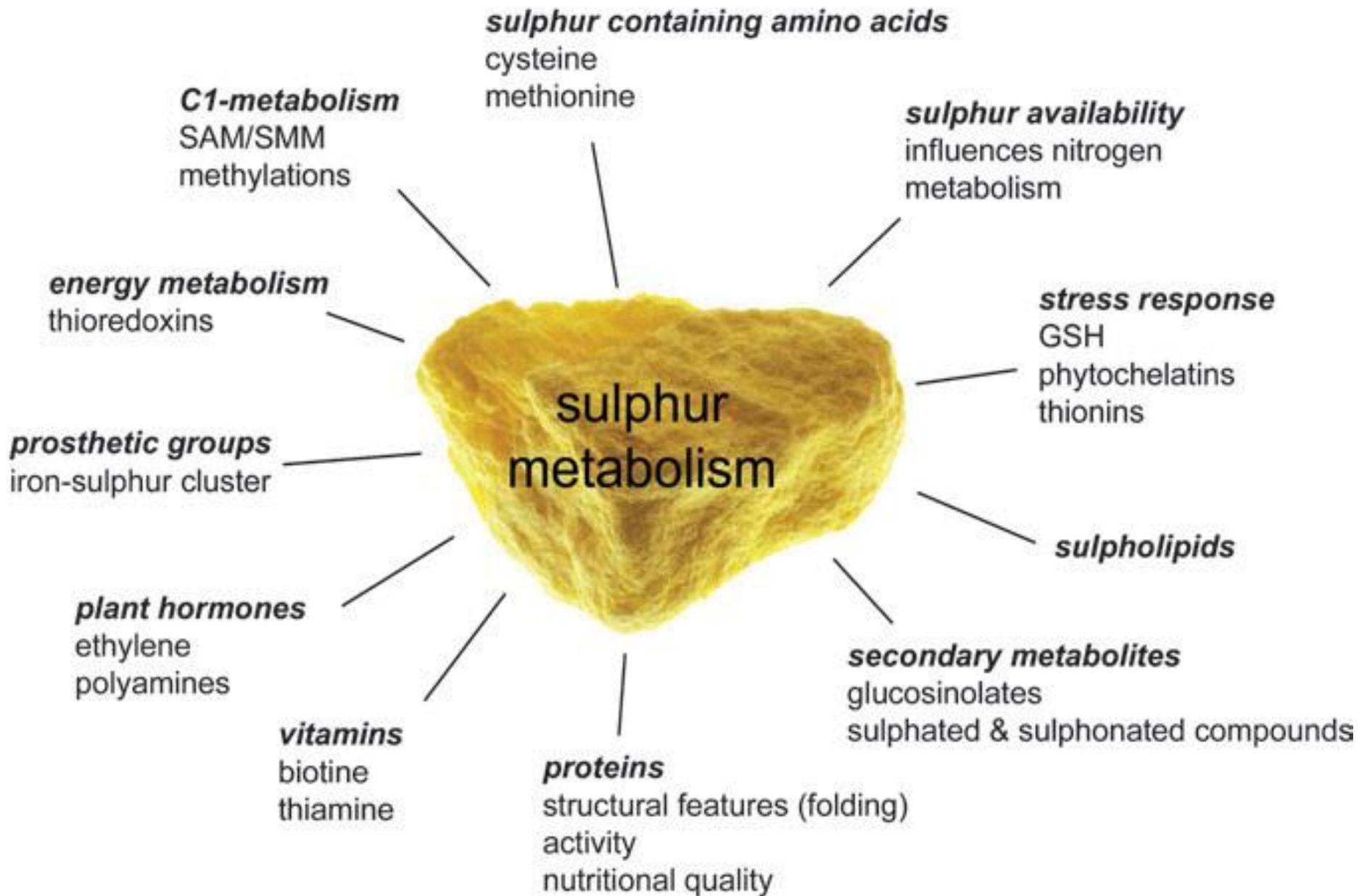


# Ciclo biológico do enxofre

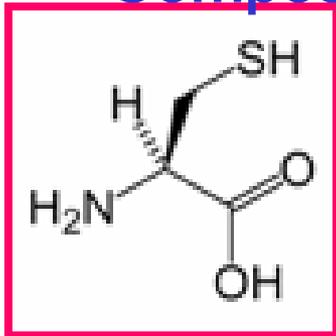


## Compostos inorgânicos de enxofre (S)

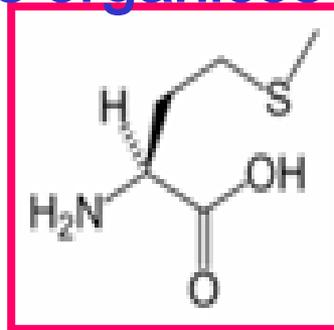
Nome do composto	Fórmula química	Estado de oxidação do S
Enxofre	 $S_0$	0
Sulfureto	$S^{2-}$	- 2
Dióxido de enxofre	$SO_2$	+4
Sulfito	$SO_3^{2-}$	+4
Sulfato	$SO_4^{2-}$	+6



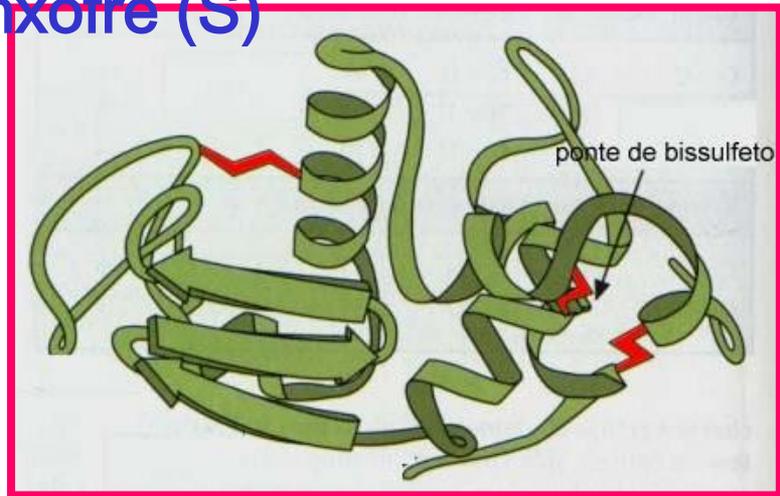
# Compostos orgânicos de enxofre (S)



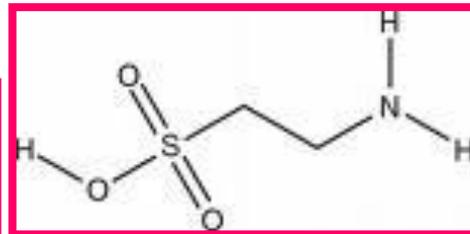
cisteína



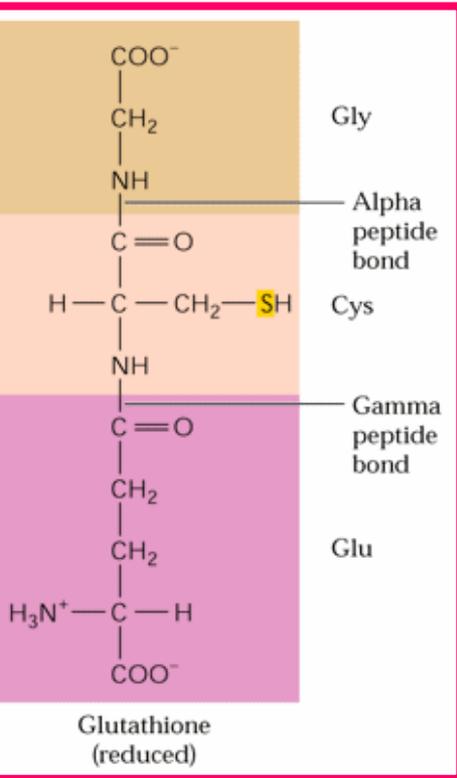
metionina



lisosima



taurina



glutationa



Efeito da adubação com sulfato  
Esquerda: diminuição das pontes de bissulfeto em trigo com carência de S



sulfóxidos



queratina

## Efeito da carência de enxofre (S) na cultura de colza

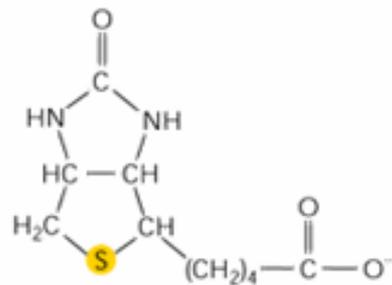
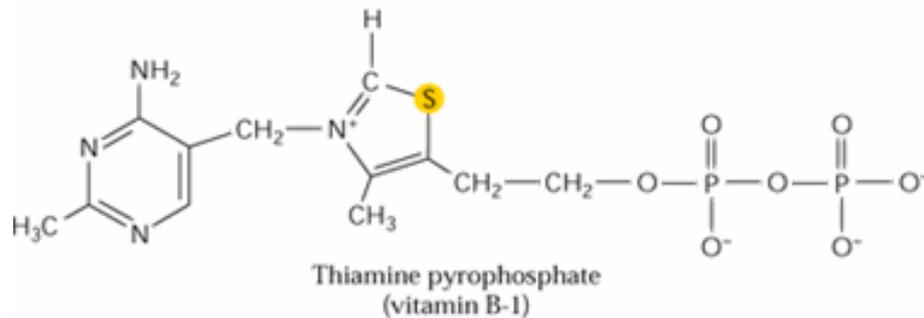
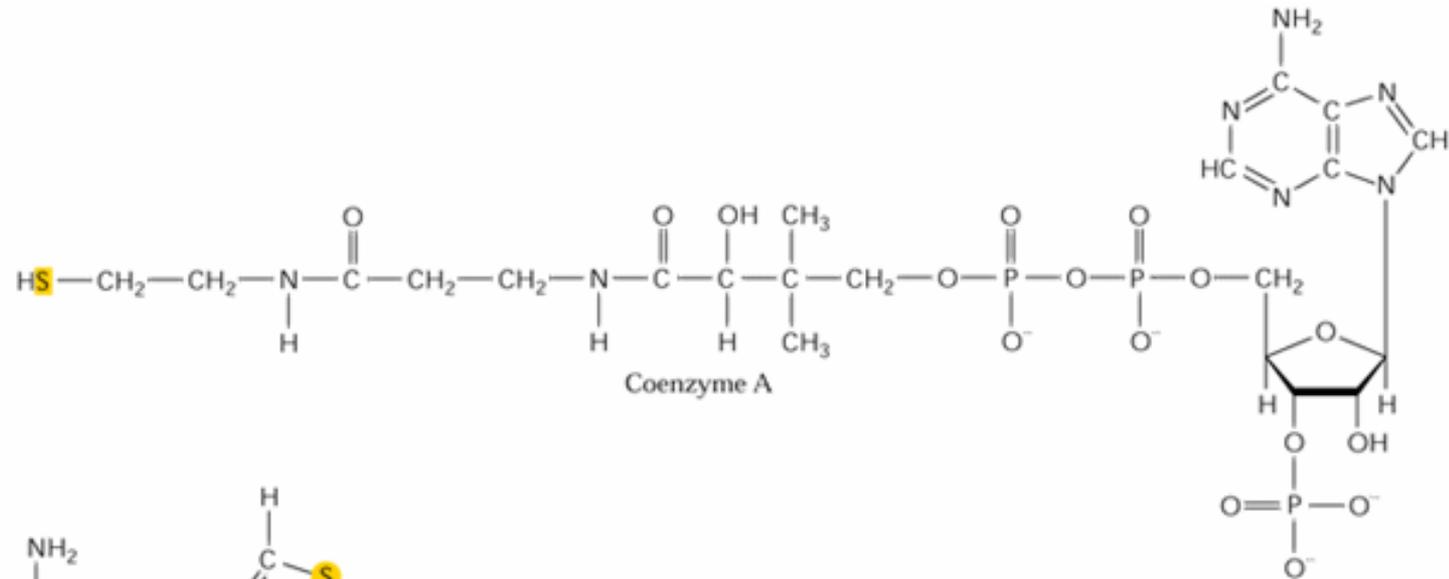


Teor médio de S nas plantas: 0,2 - 0,5% P.S

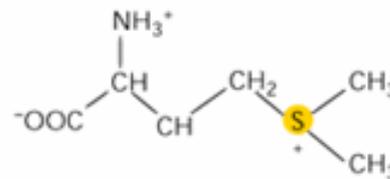
# Importância funcional dos compostos com enxofre

1. Cisteína Metionina	1º composto orgânico estável com enxofre	R=HSCH <sub>2</sub> ; R=CH <sub>3</sub> S(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ;
2. Pontes de bissulfeto	entre resíduos de cisteína, estabilização da estrutura terciária de proteínas	-S-S-
3. Sistemas redox	cisteína/cistina GSSG / GSH	$\overset{\curvearrowright}{\text{S}}\text{-S-}$ 2 SH
4. Presença de resíduos de cisteína no centro activo de enzimas	Álcool desidrogenase	
5. Presença em proteínas de Fe não hematínico e <u>S</u>	Ferredoxina Tiorredoxina	[FeS]
6. CoA, biotina, tiamina, tiamina pirofosfato		
7. Sulfóxidos	Factor lacrimogéneo ( <i>Allium cepa</i> ); odor ( <i>Allium sativum</i> )	RSOR'
8. Glucosinolatos	Produtos secundários com funções de defesa	Glucose-SC=NOSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   R

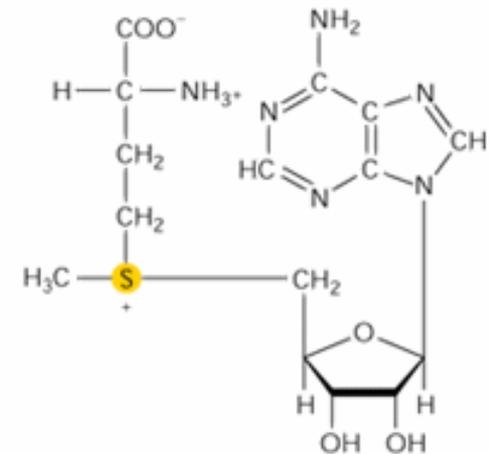
# Fórmulas de compostos das plantas com enxofre



Biotin

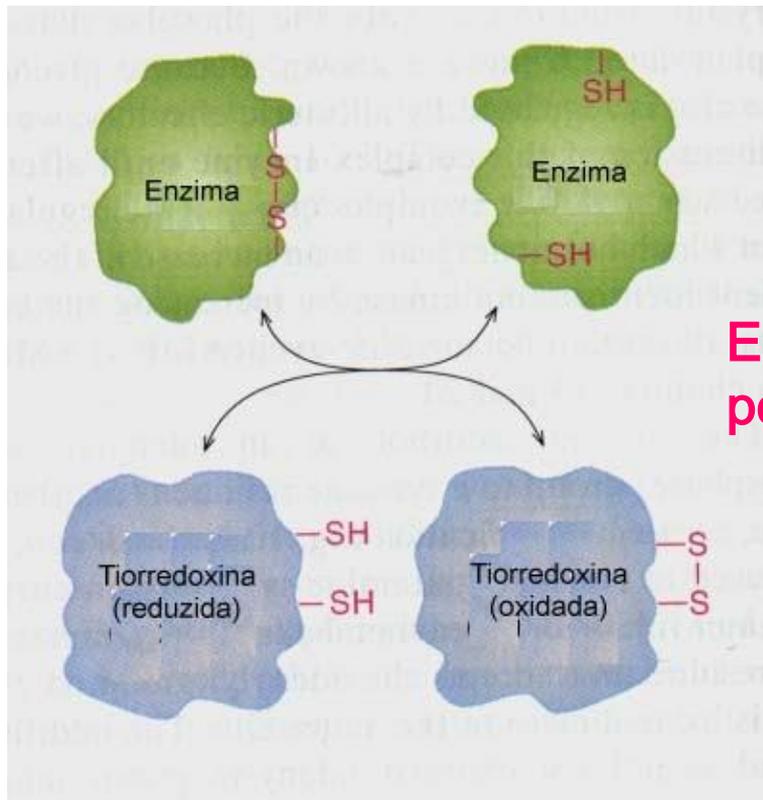
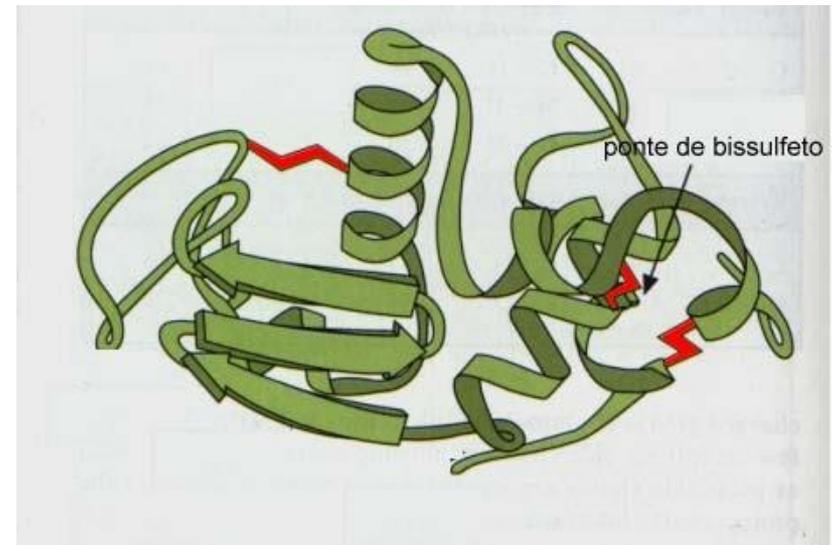
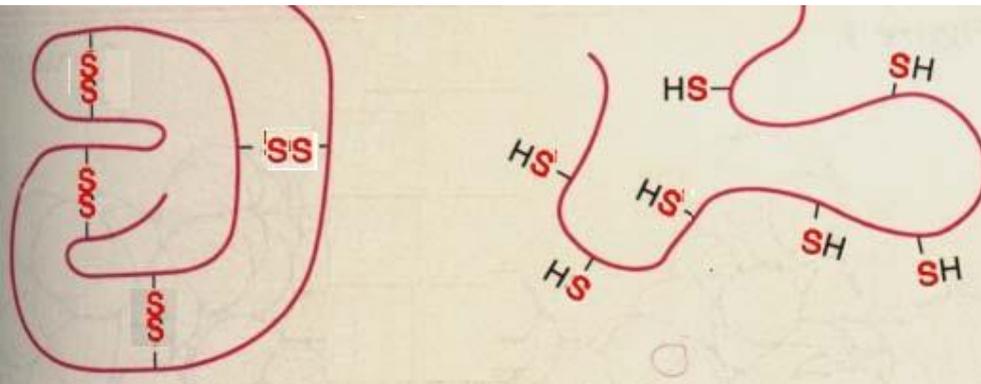


S-Methylmethionine  
(vitamin U)



S-Adenosylmethionine

# Ponte de bissulfeto e estabilização da estrutura das proteínas



Estabelecimento de pontes de bissulfeto por acção da enzima Tiorredoxina

## Pontes de bisulfeto das proteínas de reserva de sementes de trigo e características da massa de pão



**Efeito da adubação com enxofre (S, sulfato)**

Esquerda: diminuição das pontes de bisulfeto em trigo com carência de S;

Centro: pontes de bisulfeto em trigo com fertilização adequada;

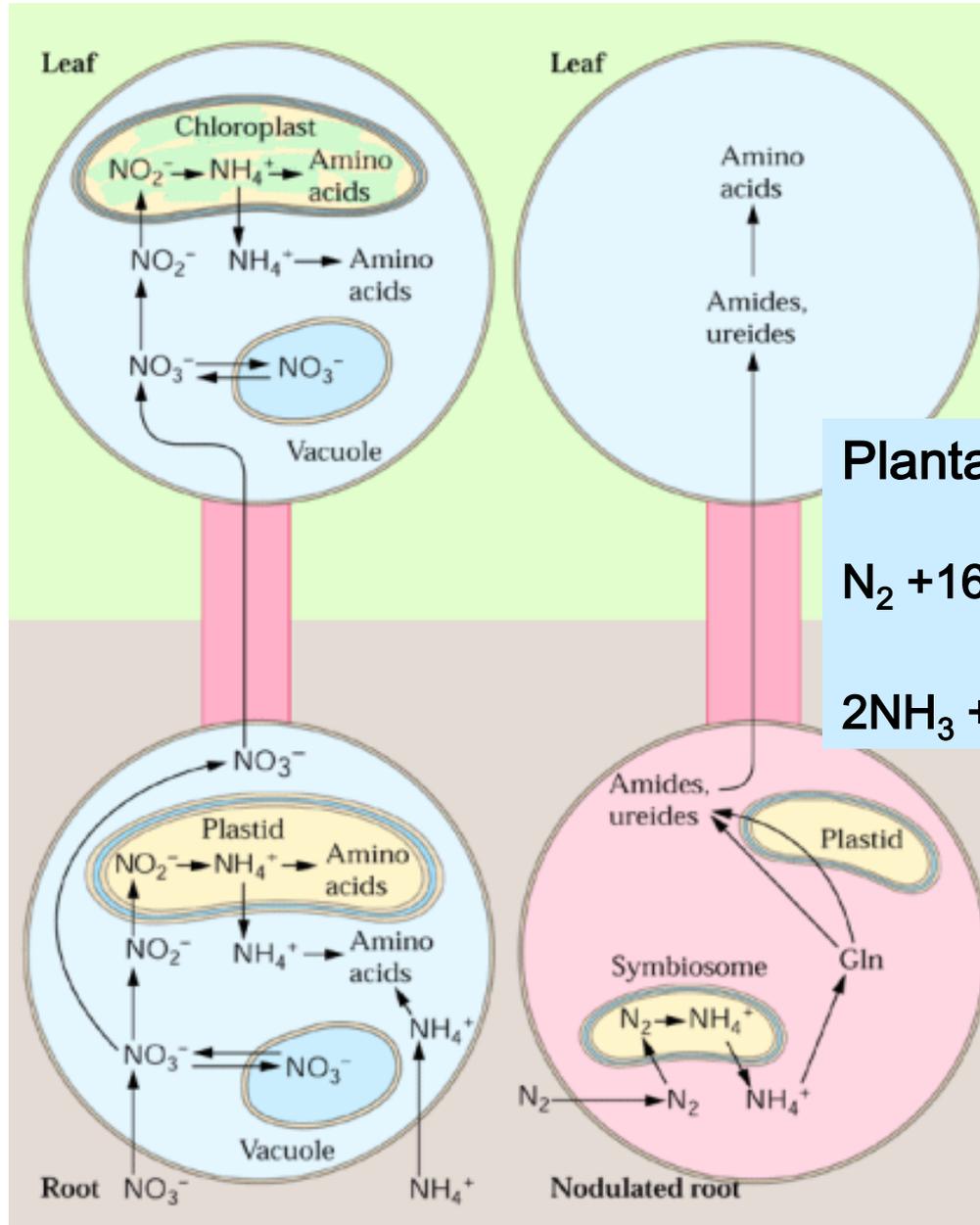
Direita: número excessivo de pontes de bisulfeto por excesso de S

# Assimilação do azoto

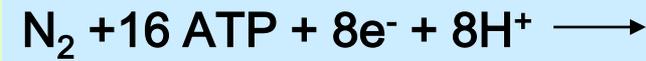
## 2. Assimilação dos iões nitrato e amónio

### 2.1. Redução do nitrato

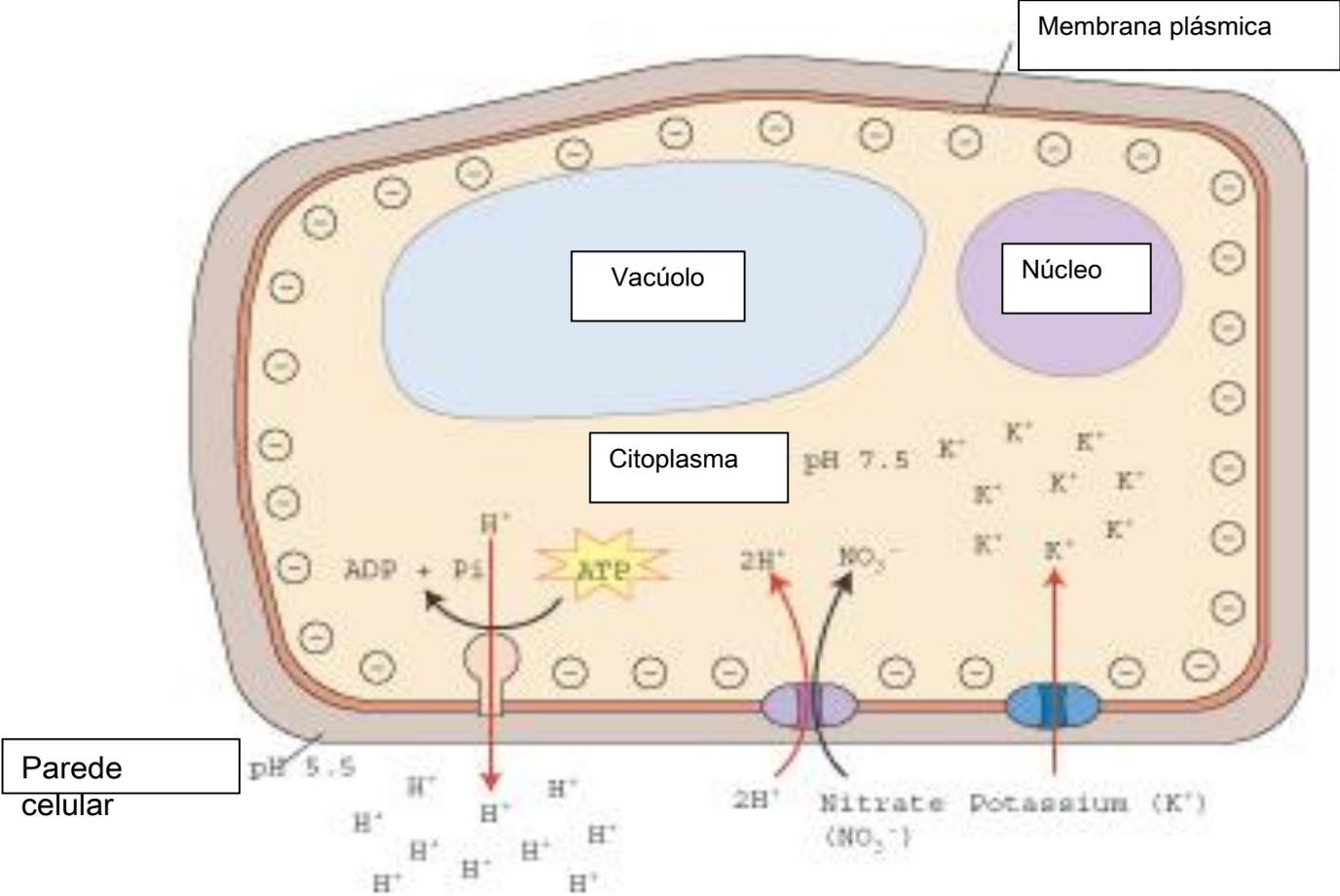
# Absorção e assimilação do azoto

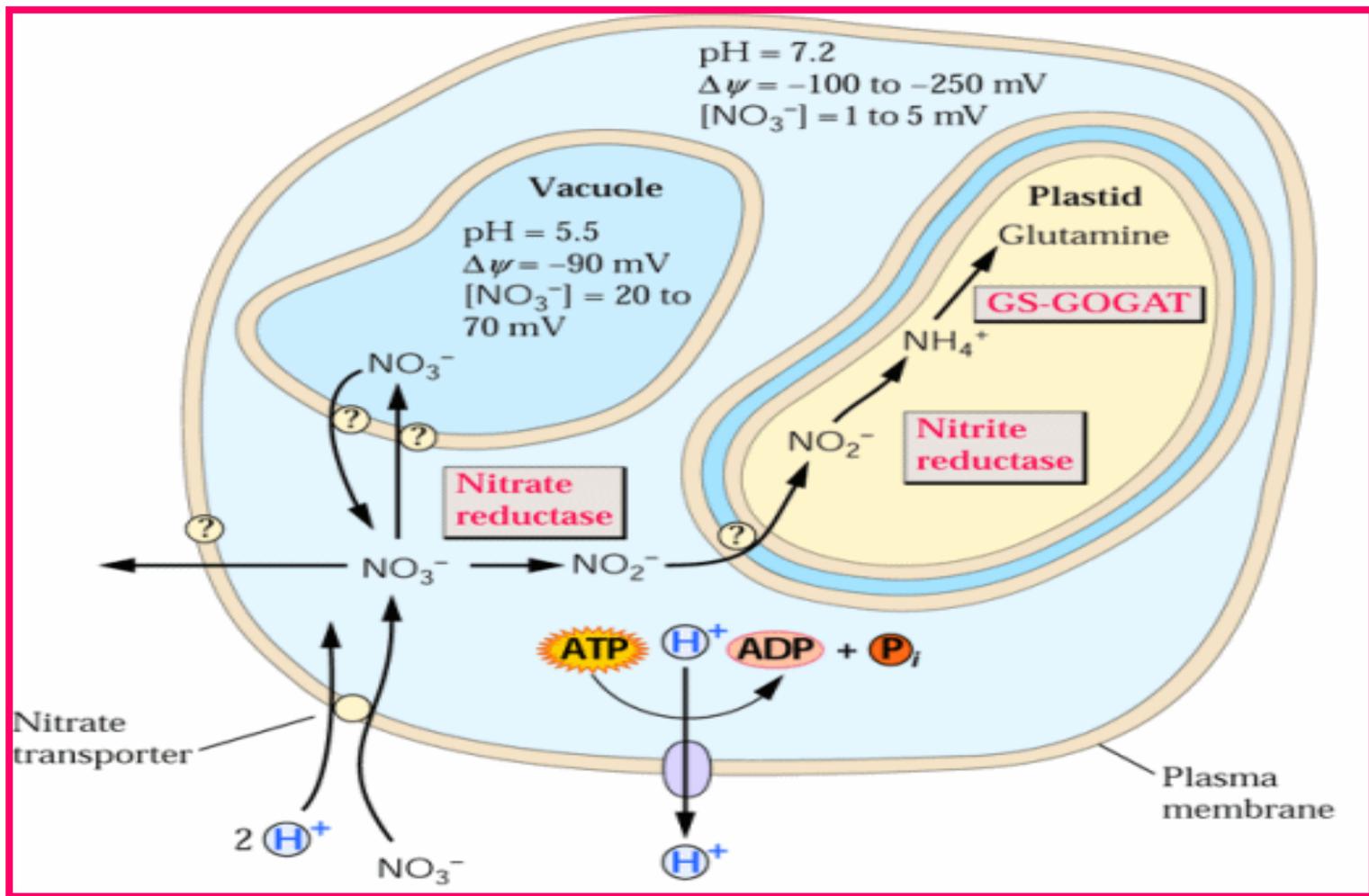


Plantas fixadoras de  $\text{N}_2$



# Esquema da absorção do nitrato por uma célula da raiz





Transporte do nitrato através da membrana de células da raiz e diferentes destinos celulares: saída – translocação xilémica; redução no citoplasma e assimilação no plastídeo; acumulação no vacúolo.

M, membrana plásmica; P, plastídeo; V, vacúolo; NR, nitrato redutase; NiR, nitrito redutase; Gln, glutamina. (Adaptado de Buchanan et al., eds, 2000)