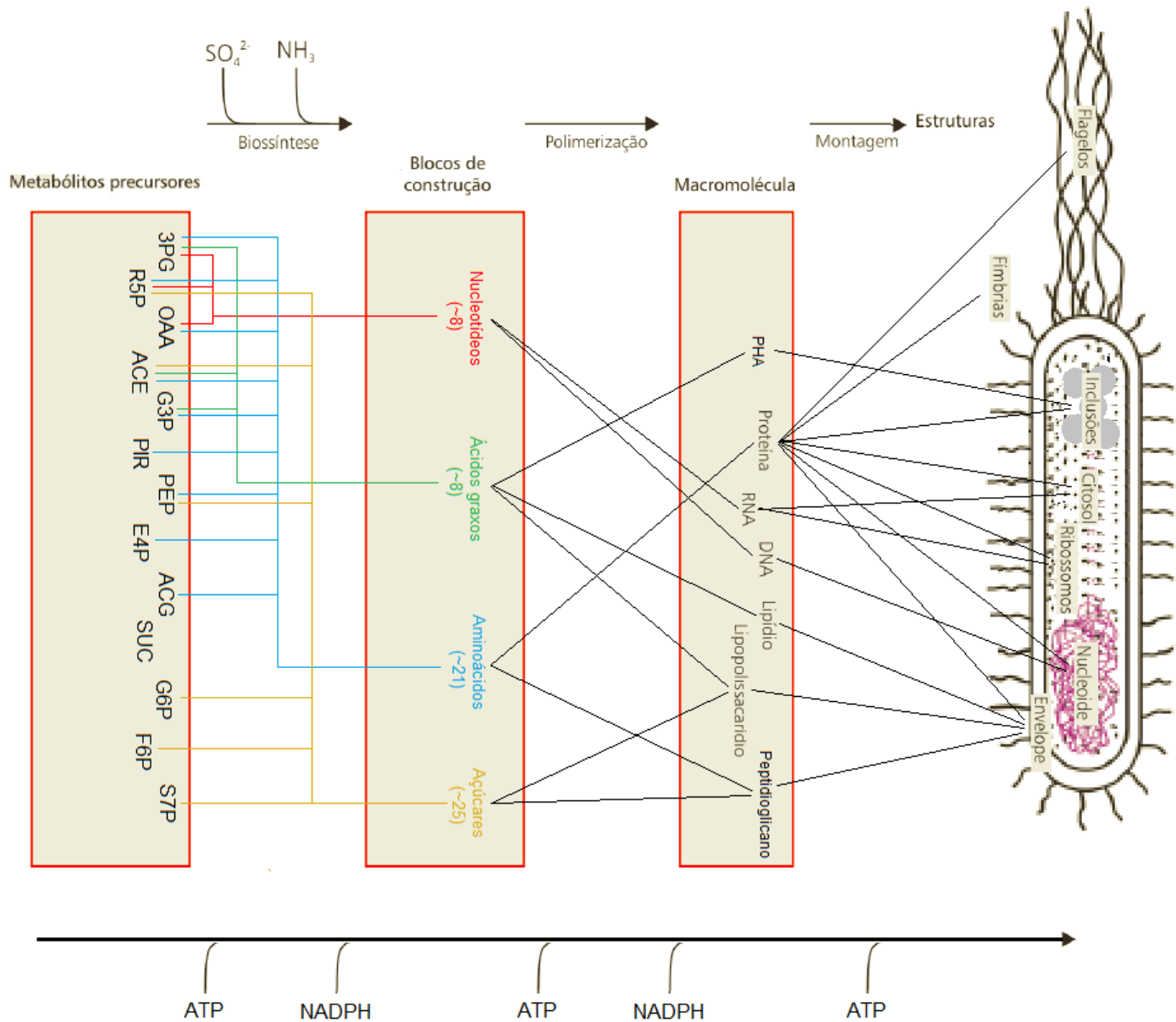
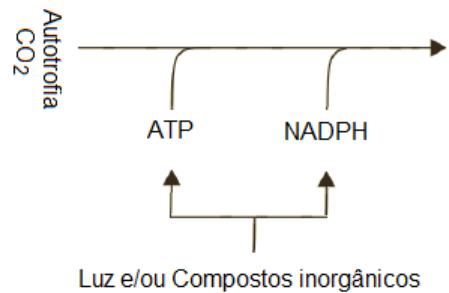
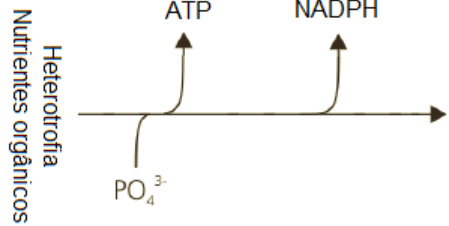


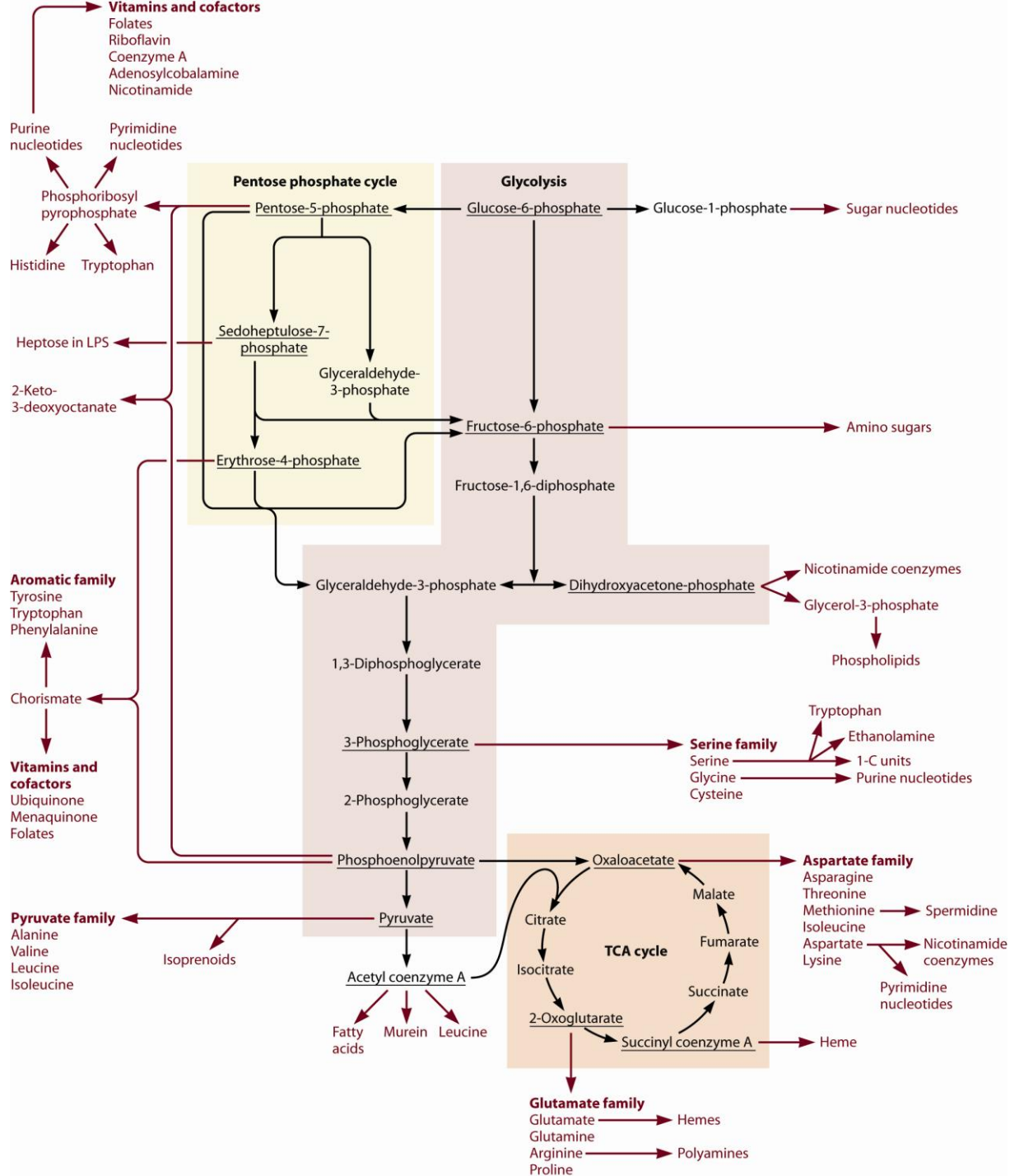
Metabolismo do Carbono e seu papel nos ecossistemas

José Gregório Cabrera Gomez
jgcgomez@usp.br



DEPARTAMENTO DE
MICroBiologia
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO





Ciclo de Calvin

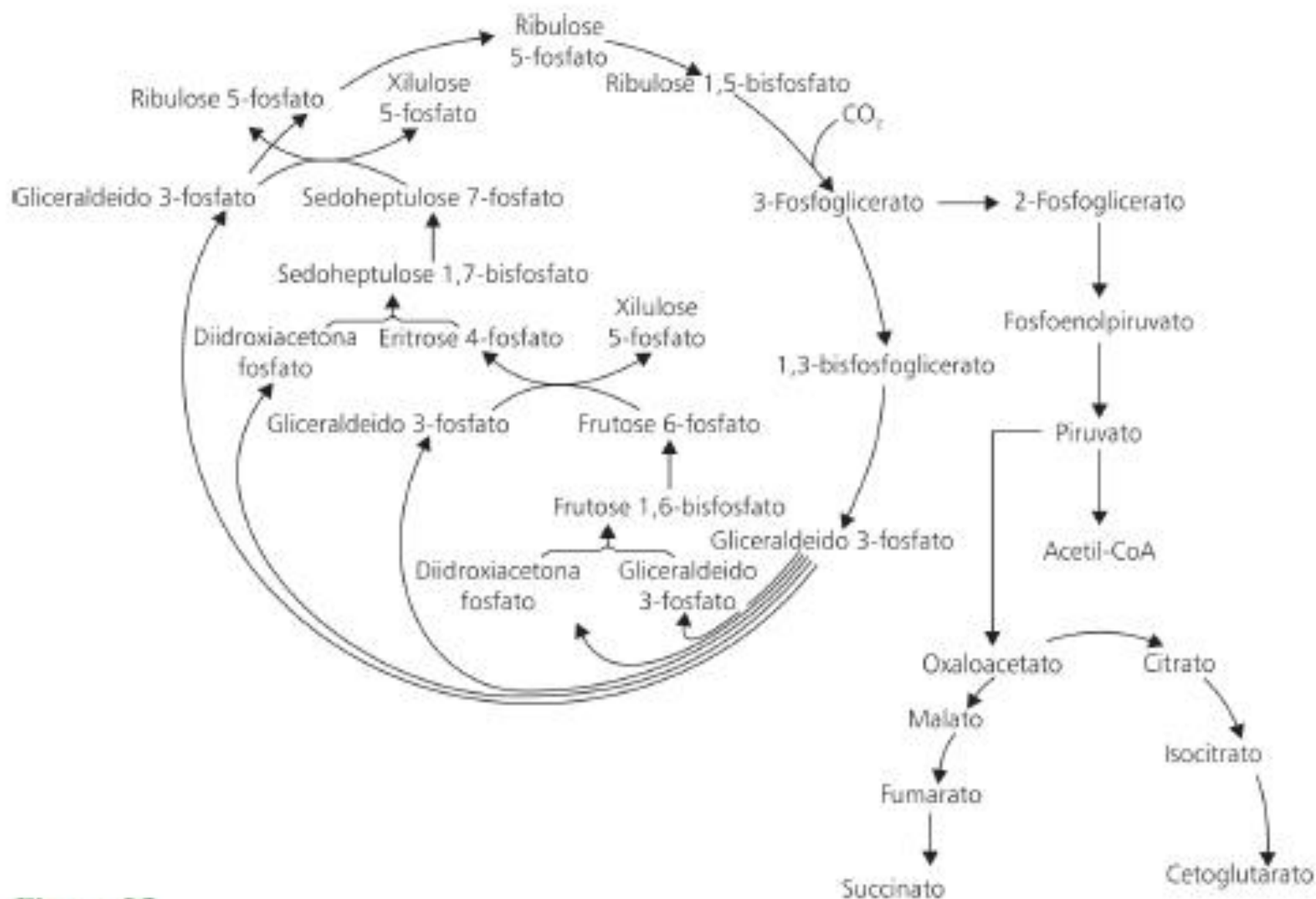


Figura 25

Table 6.10 Pathways of CO₂ fixation other than the Calvin cycle

Pathway	Key reaction	Distribution
Reductive TCA cycle	Fixes CO ₂ by running the TCA cycle backwards; instead of releasing two molecules of CO ₂ , it fixes two.	<i>Chlorobium</i> and certain other photoautotrophic bacteria; some hydrogen-oxidizing bacteria
Hydroxypropionate pathway	Fixes CO ₂ via two reactions in which acetyl-CoA and propionyl-CoA are CO ₂ acceptors; in a cyclic series of reactions, acetyl-CoA is regenerated.	<i>Chloroflexus</i> , a photoautotrophic bacterium
Acetyl-CoA pathway ^a	Fixes CO ₂ in a fermentation in which H ₂ is used to reduce CO ₂ and ultimately form acetate	<i>Desulfobacterium autotrophicum</i> , certain clostridia, and other acetogenic bacteria and archaea

^aCoA, coenzyme A.

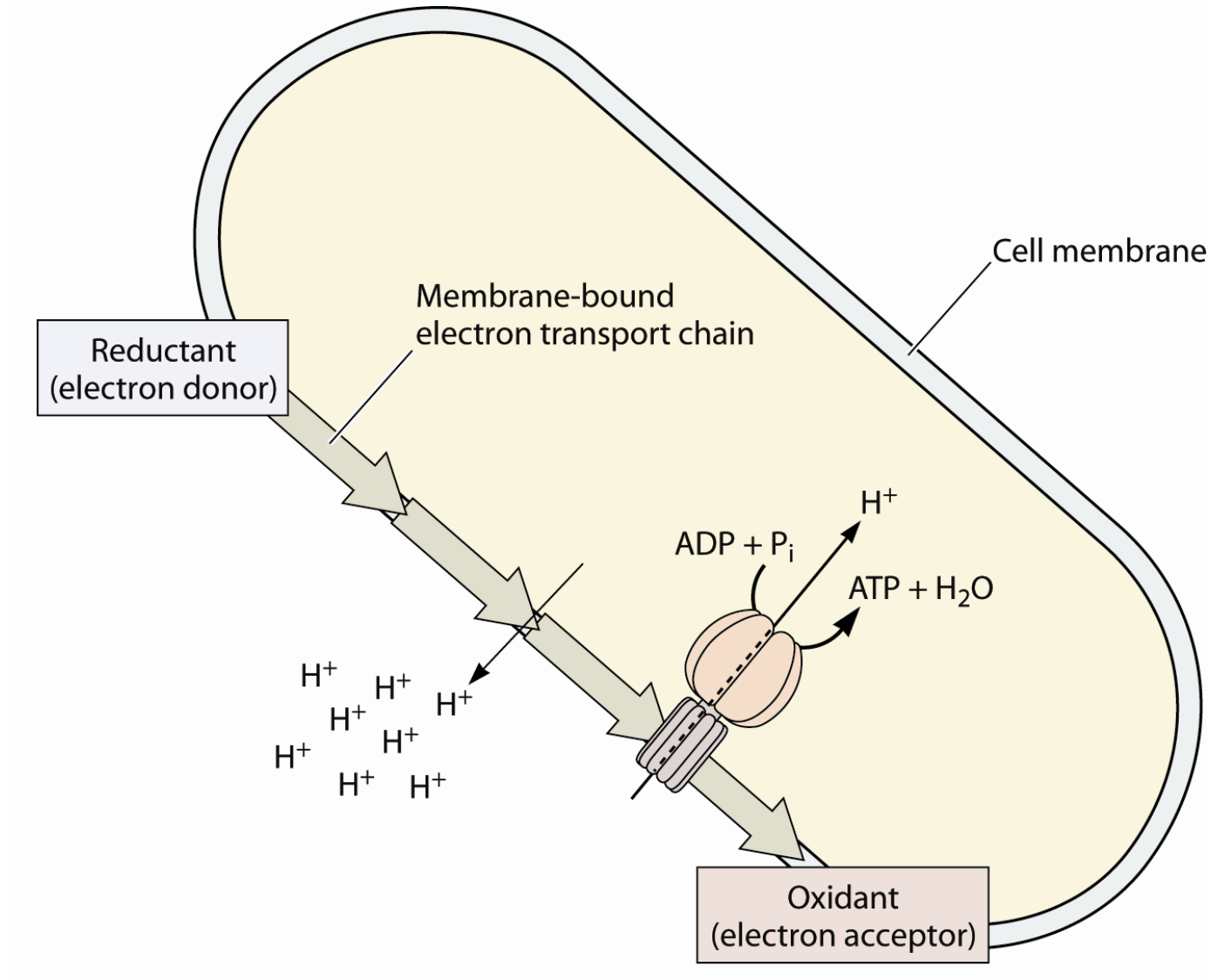


Table 6.4 Inorganic compounds that can serve as electron donors for chemoautotrophs

Compound	Biological processes
NH_4^+	Ammonia-oxidizing bacteria, by producing nitrite, mediate the first step of nitrification, the process, occurring principally in soil, by which ammonia is rapidly converted to nitrate (see Chapter 18).
NO_2^-	Nitrate-oxidizing bacteria, by producing nitrate, mediate the second step of nitrification.
H_2	The ability to oxidize hydrogen for chemoautotrophic growth is widespread among bacteria—both gram positive and gram negative—and archaea. Most such prokaryotes are also capable of chemoheterotrophic growth, i.e., they are facultative chemoautotrophs, sometimes referred to as mixotrophs.
Fe^{2+}	Ferrous-ion-oxidizing bacteria—called iron bacteria—are widespread in acid aquatic environments, where Fe^{2+} can persist without being spontaneously oxidized. They are found in streams, bogs, and some marine environments. They are noticeable in such locations by the clumps of iron oxide that they form.
Mn^{2+}	Most iron bacteria are also capable of chemoautotrophic growth at the expense of manganous ion.
$\text{H}_2\text{S}, \text{S}^0, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	Chemoautotrophs that oxidize reduced sulfur compounds are also widespread in nature. They are the primary producers for the elaborate biological communities that exist near hydrothermal vents in the ocean floors. Because H_2S is spontaneously oxidized by O_2 , bacteria that utilize it are located in regions where their sources of H_2S and O_2 diffuse in from opposite directions.

Tabela 3.4 Bactérias quimiolitotróficas, respectivos substratos e valor do ΔG° da reação de oxidação.

Bactéria	Reação	ΔG° (mV/mol)
<i>Nitrosomonas europaea</i>	$2 \text{ NH}_4^+ + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_2^- + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ H}^+$	-551,2
<i>Nitrobacter winogradskyi</i>	$2 \text{ NO}_2^- + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_3^-$	-74,3
<i>Cupriavidus necator</i>	$2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$	-472,5
<i>Pseudomonas carboxydovorans</i>	$2 \text{ CO} + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$	-504,9
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	$2 \text{ S}^0 + 3 \text{ O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ SO}_4^{2-} + 4 \text{ H}^+$	-588,2
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	$4 \text{ Fe}^{2+} + \text{ O}_2 + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 4 \text{ Fe}^{3+} + 2 \text{ H}_2\text{O}$	-17,7
<i>Leptothrix spp.</i>	$2 \text{ Mn}^{2+} + \text{ O}_2 + \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ MnO}_2 + 4 \text{ H}^+$	-77,6
<i>Paracoccus denitrificans</i>	$5 \text{ H}_2 + 2 \text{ NO}_3^- + 2 \text{ H}^+ \rightarrow 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{ N}_2$	-958,8
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	$4 \text{ H}_2 + \text{ SO}_4^{2-} + 2 \text{ H}^+ \rightarrow \text{ H}_2\text{S} + 4 \text{ H}_2\text{O}$	-154,4
<i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i>	$4 \text{ H}_2 + \text{ HCO}_3^- + \text{ H}^+ \rightarrow \text{ CH}_4 + 3 \text{ H}_2\text{O}$	-138,6

Como obter NADPH – cte reversa

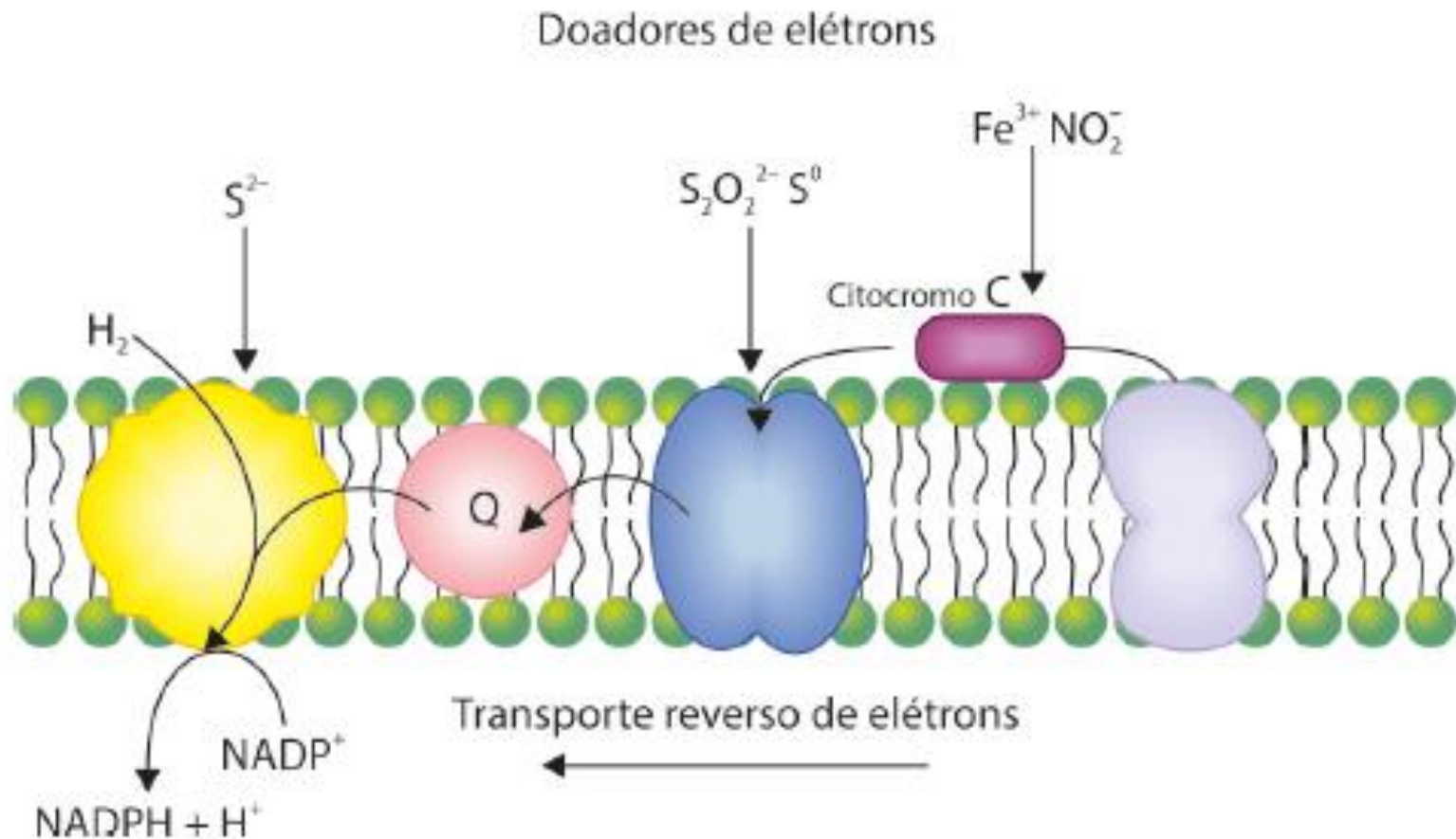


Figura 3.27 Redução de NADP pela cadeia de transporte de elétrons reversa.

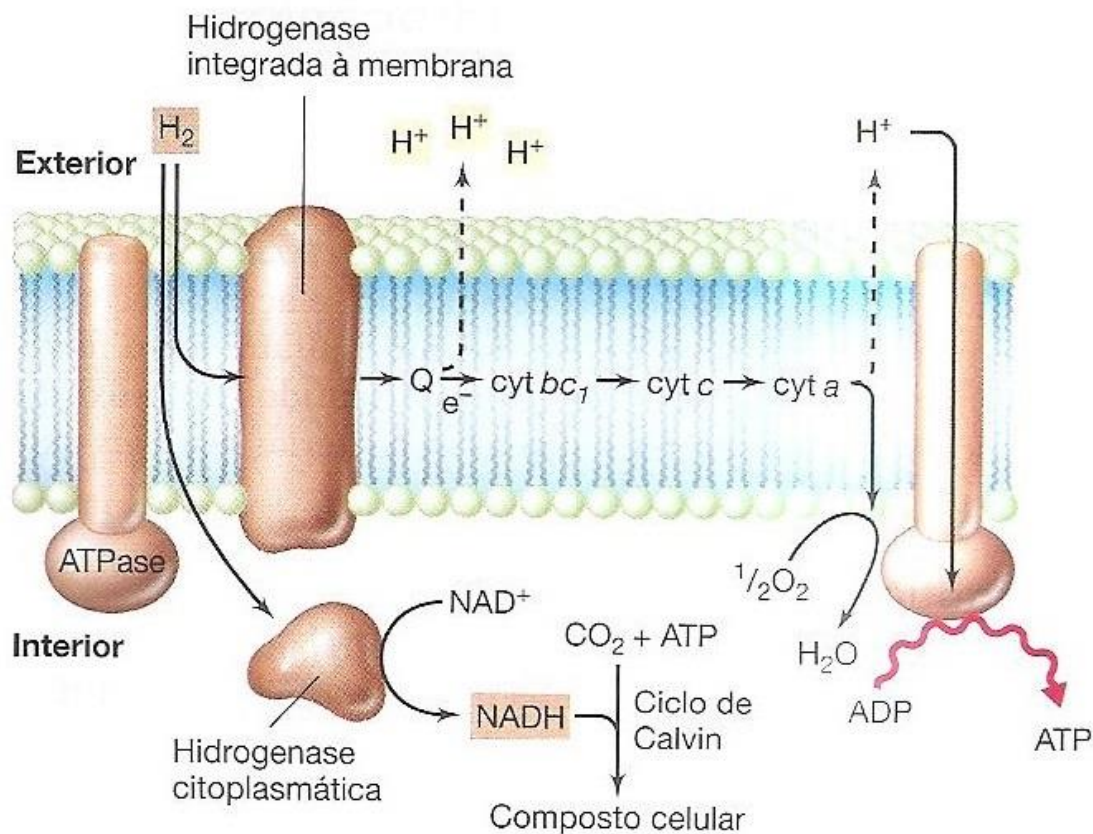
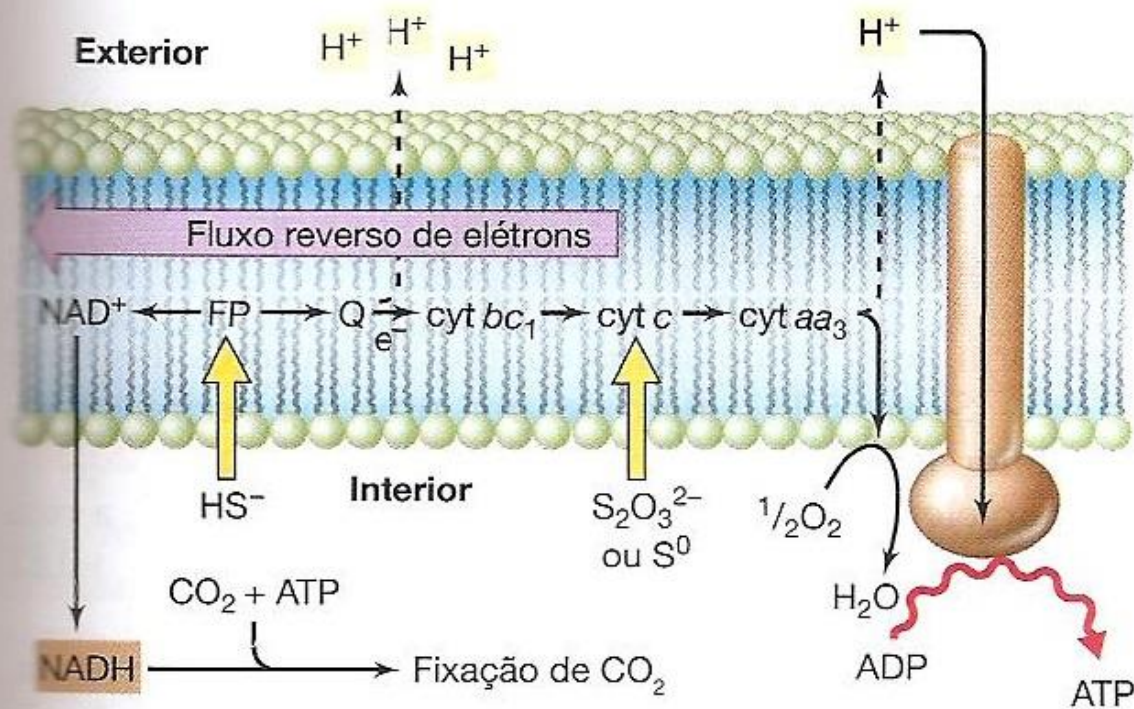


Figura 20.25 Bioenergética e função das duas hidrogenases de bactérias aeróbias do H_2 . Em *Ralstonia eutropha* existem duas hidrogenases; a hidrogenase ligada à membrana está envolvida na energética, enquanto a hidrogenase citoplasmática gera NADH para o ciclo de Calvin. Algumas bactérias do H_2 apresentam apenas a hidrogenase ligada à membrana e nestes organismos o poder redutor é sintetizado por meio do fluxo reverso de elétrons, a partir de Q para NAD^+ , originando NADH. Cyt, citocromo; Q, quinona.



(b)

Figura 20.27 Oxidação de compostos reduzidos de enxofre, por quimiolitotróficos do enxofre. (a) Etapas da oxidação de diferentes compostos. São conhecidas três vias distintas. (b) Elétrons de compostos sulfurados são introduzidos na cadeia de transporte para promover uma força próton motiva; os elétrons do tiosulfato e enxofre elementar são introduzidos em nível do citocromo c. O NADH deve ser formado pelas reações do fluxo reverso de elétrons, uma vez que os doadores de elétrons apresentam E_0' mais eletropositivo que NAD^+/NADH . Cyt, citocromo; FP, flavoproteína; Q, quinona. Ver, na Figura 21.15, a estrutura de APS.

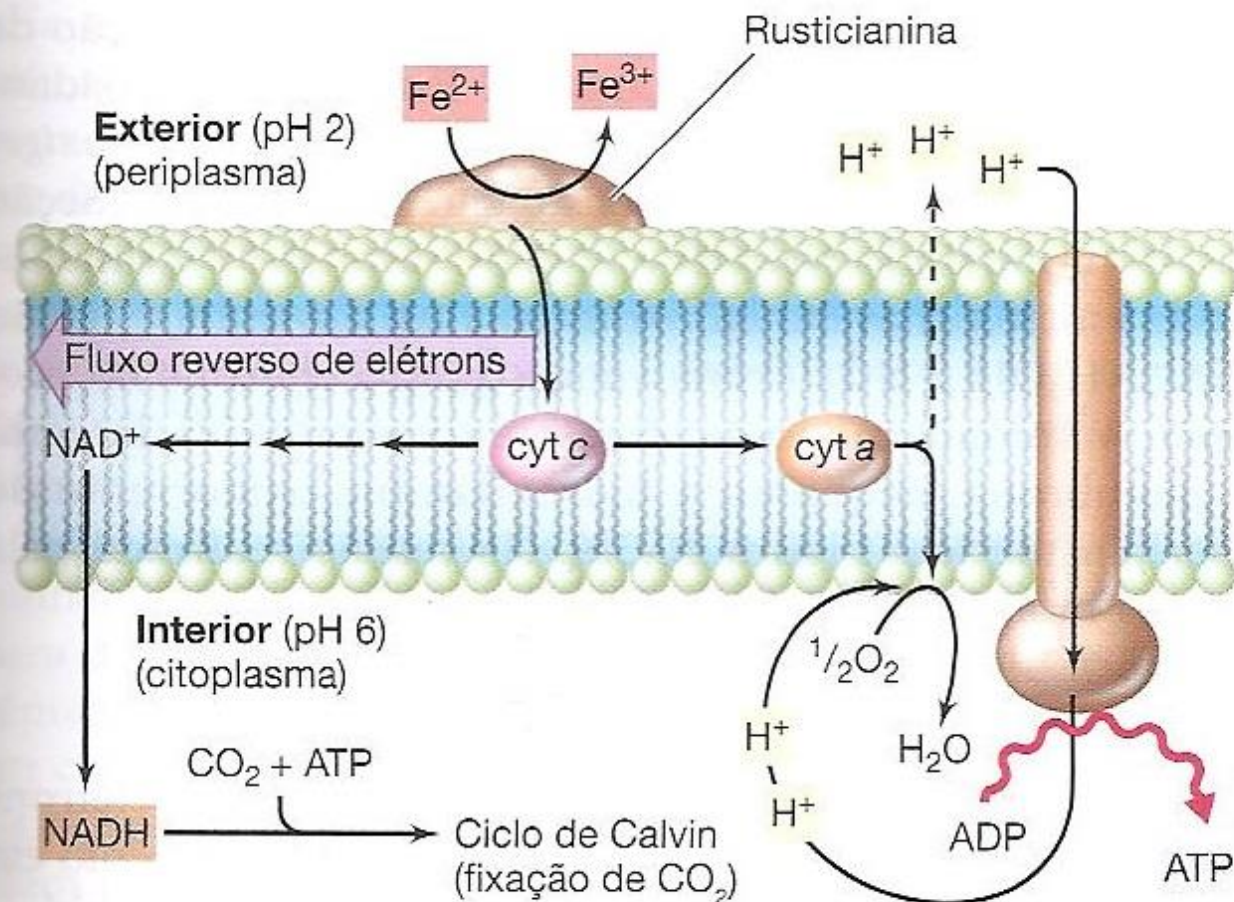


Figura 20.30 Fluxo de elétrons durante a oxidação de Fe^{2+} pelo acidófilo *Acidithiobacillus ferrooxidans*. A proteína periplasmática contendo cobre, rusticianina, é o receptor imediato de elétrons do Fe^{2+} . A partir deste ponto, os elétrons são transferidos ao longo de uma pequena cadeia transportadora, que resulta na redução de O_2 a H_2O . O poder redutor que dirige o ciclo de Calvin é oriundo do fluxo reverso de elétrons. Observe o acentuado gradiente de pH (~4 unidades) através da membrana.

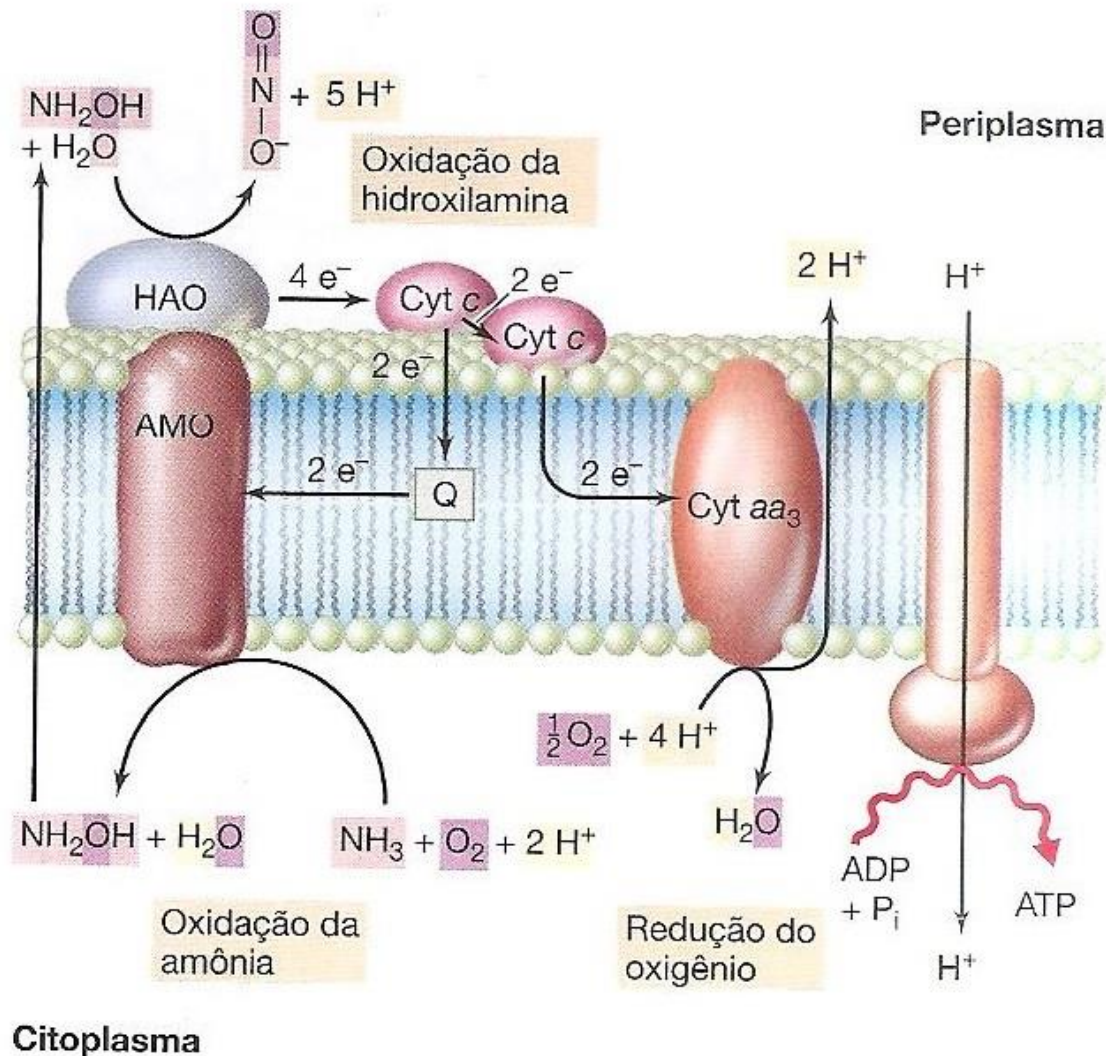


Figura 20.32 Oxidação da amônia e fluxo de elétrons em bactérias oxidantes de amônia. Os reagentes e produtos desta série de reações encontram-se destacados. O citocromo c (Cyt c) no periplasma é uma forma diferente do Cyt c presente na membrana. AMO, amônia mono-oxigenase; HAO, hidroxilamina oxidoredutase; Q, ubiquinona.

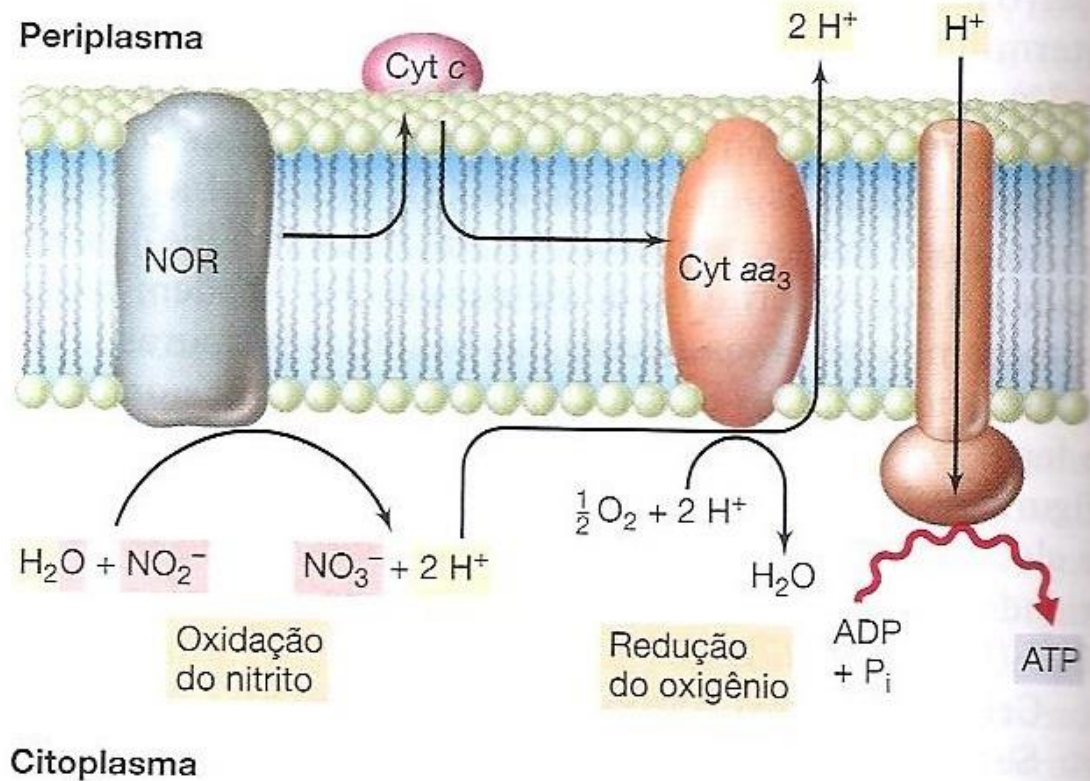
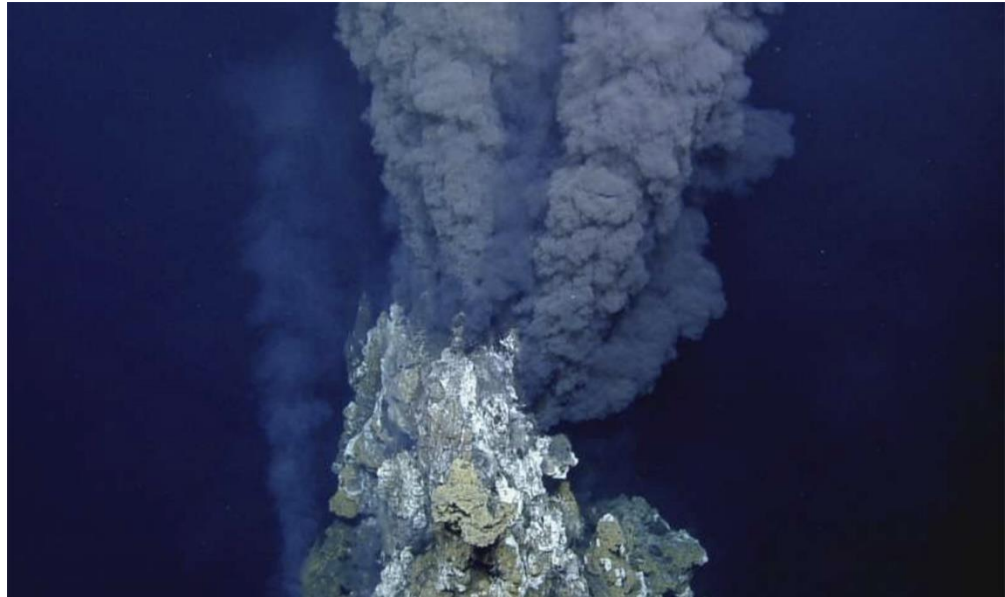
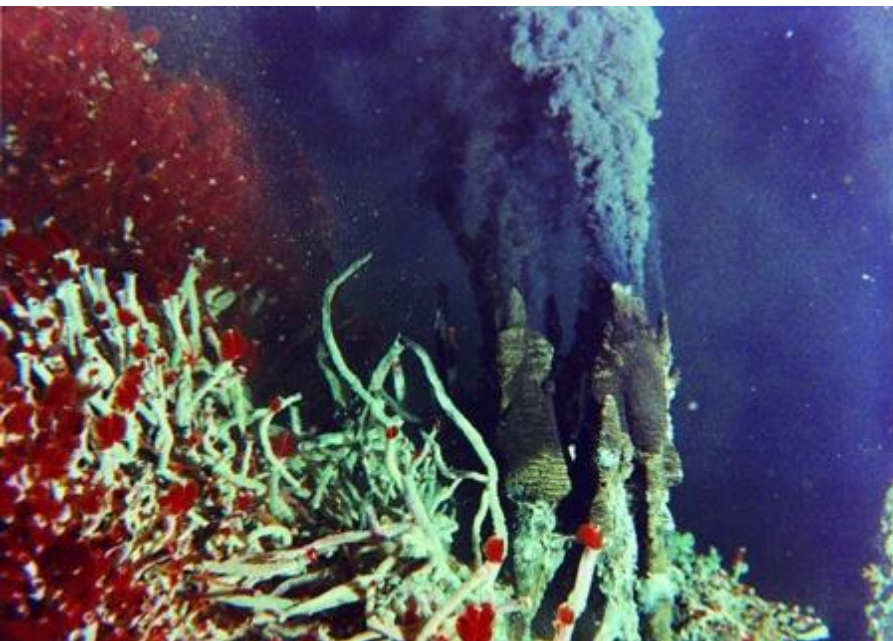
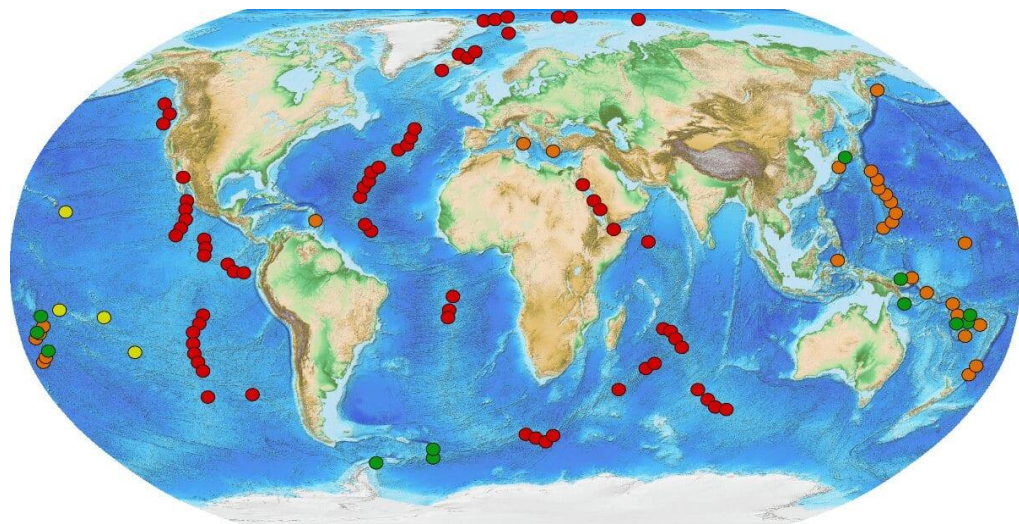
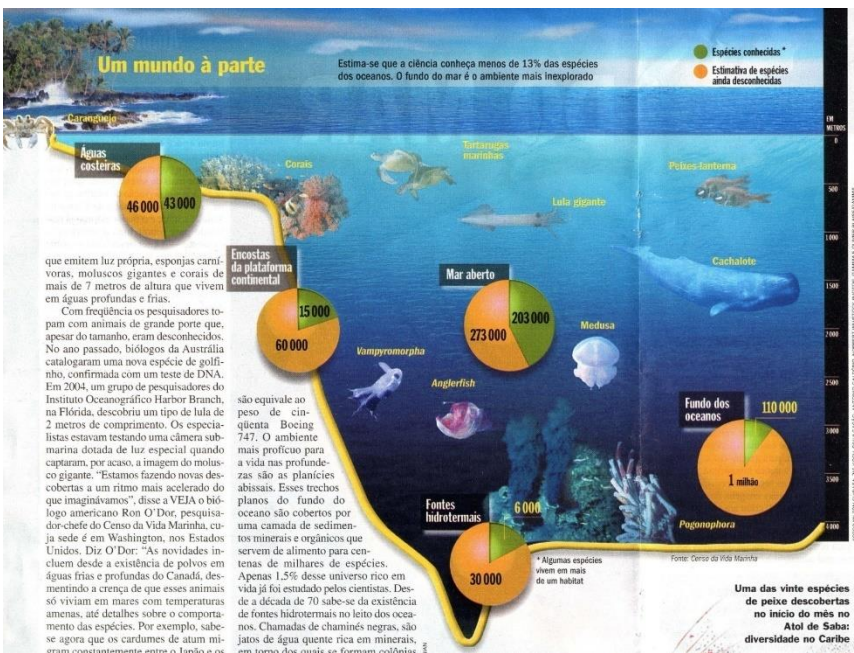


Figura 20.33 Oxidação do nitrito a nitrato por bactérias nitrificantes. Os reagentes e produtos desta série de reações encontram-se destacados para o acompanhamento da reação. NOR, nitrito oxidoreductase.



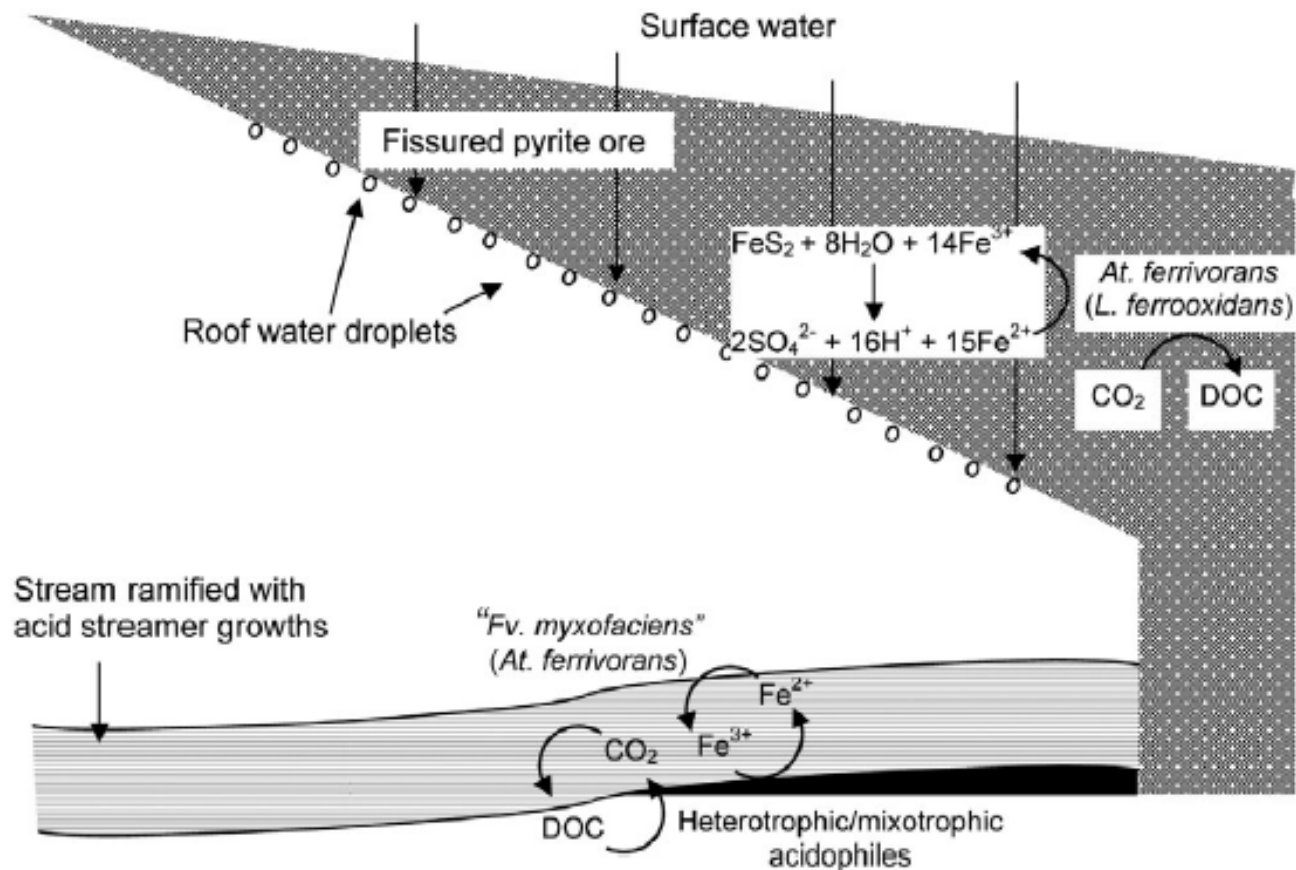


Fig. 4. Schematic representation of the iron-based chemoautotrophic ecosystem in the abandoned, low-temperature Cae Coch pyrite mine. Surface water percolating through the fractured residual pyrite ore that forms the roof of the hollowed-out mine becomes acidic and enriched with dissolved iron and sulfate due to the activities of iron-oxidizing autotrophic bacteria. Water collects into a drainage stream, which is extensively colonized with acid streamer growths. Cycling of both iron and carbon occurs within the stream, catalysed by different groups of acidophilic bacteria.

Fotossíntese - anoxigênica

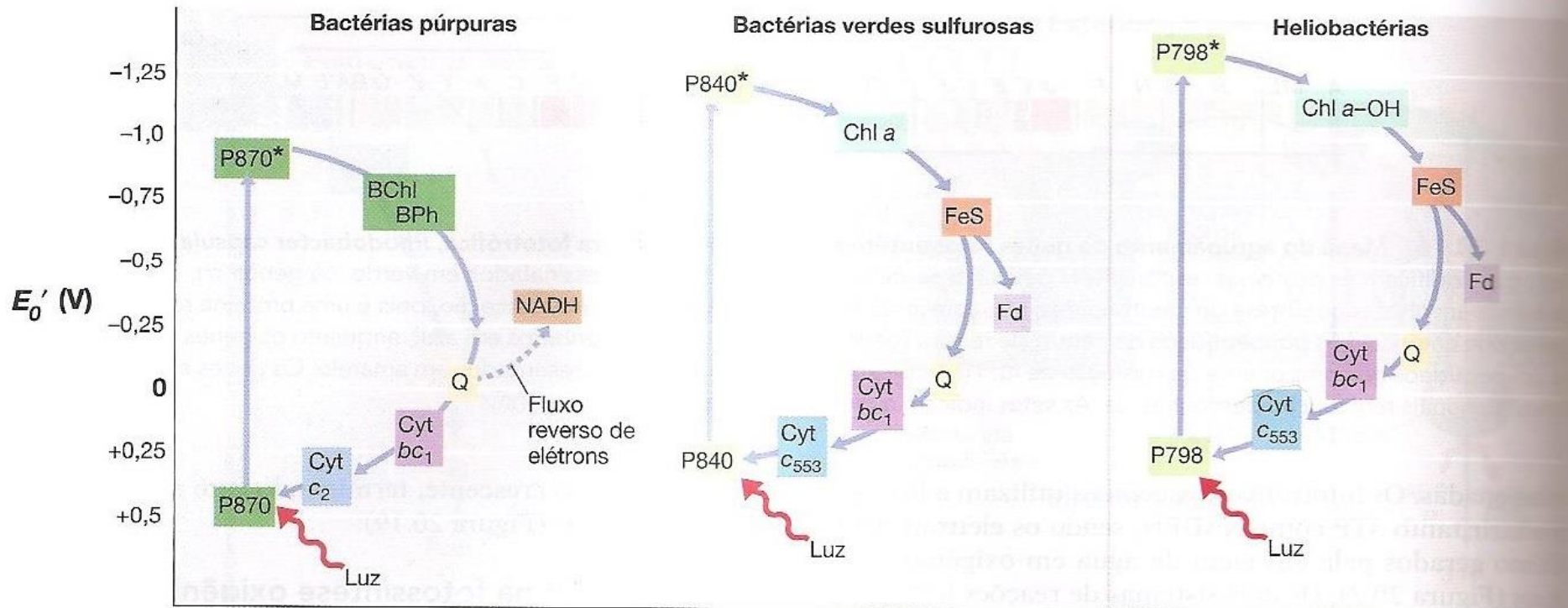


Figura 20.18 Fluxo de elétrons em bactérias púrpuras, bactérias verdes sulfurosas e heliobactérias. Observe que, nas bactérias púrpuras, o fluxo reverso de elétrons é necessário à produção de $NADH$, uma vez que o aceitador primário (quinona, Q) tem potencial mais positivo que o par $NAD^+/NADH$. Nas bactérias verdes e heliobactérias, a ferredoxina (Fd), cujo E'_0 é mais negativo do que aquele do $NADH$, é produzida por reações dirigidas pela luz. Nas bactérias verdes, a ferredoxina, e não o $NADH$, é o poder redutor para a autotrofia (Figura 20.24a). Bchl, Bacterioclorofila; Bph, Bacteriofeofitina. $P870$ e $P840$ são os centros de reação das bactérias púrpuras e verdes, respectivamente, consistindo em Bchl a . O centro de reação das heliobactérias ($P798$) contém a Bchl g e o centro de reação de *Chloroflexus* é similar ao das bactérias púrpuras. Observe a presença de clorofila a nos centros de reação das bactérias verdes e heliobactérias.

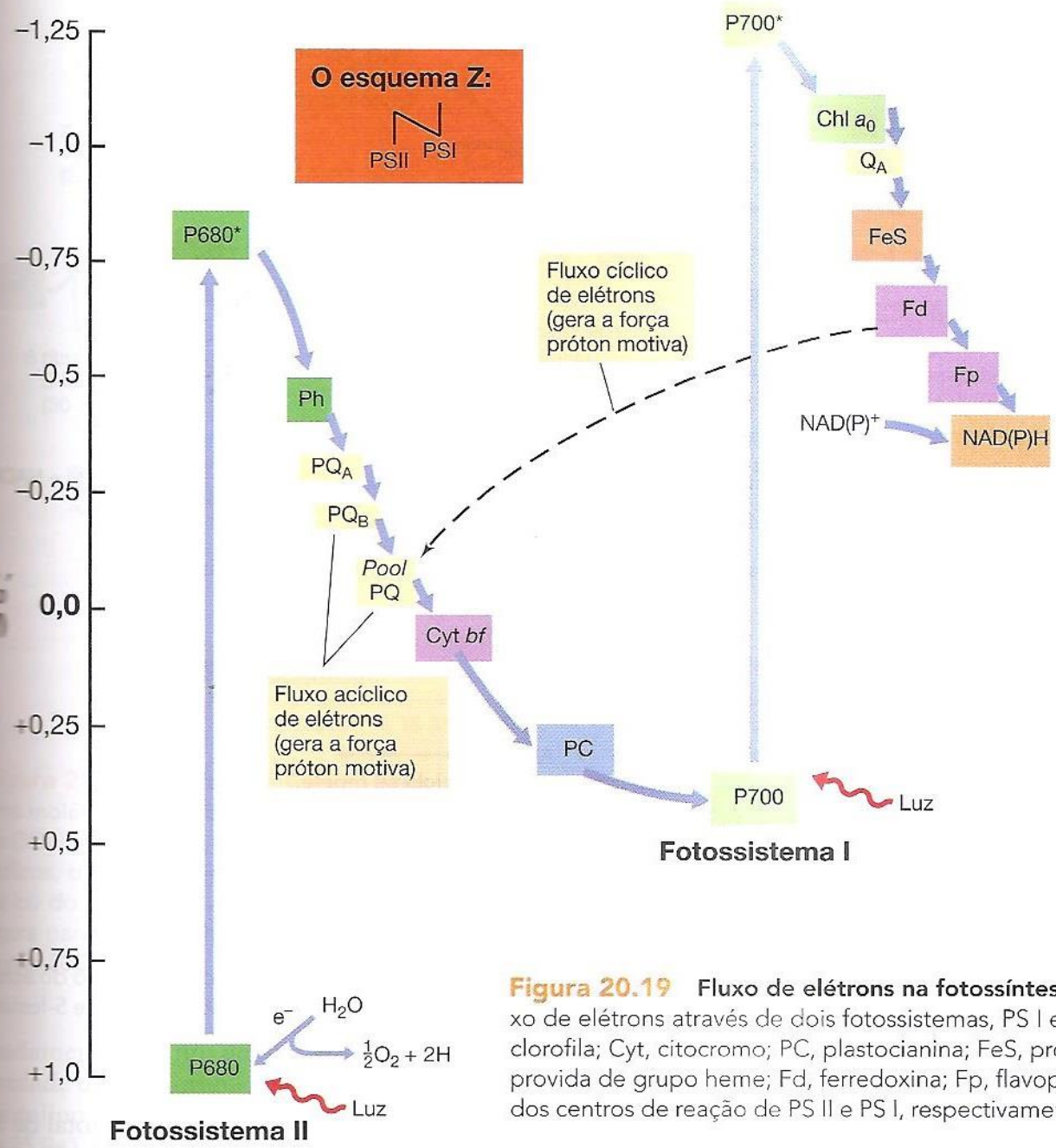


Figura 20.19 Fluxo de elétrons na fotossíntese oxigênica, o esquema "Z". O fluxo de elétrons através de dois fotossistemas, PS I e PS II. Ph, Feofitina; Q, quinona; Chl, clorofila; Cyt, citocromo; PC, plastocianina; FeS, proteína contendo ferro e enxofre, desprovida de grupo heme; Fd, ferredoxina; Fp, flavoproteína; P680 e P700 são as clorofilas dos centros de reação de PS II e PS I, respectivamente. Compare com a Figura 20.14.



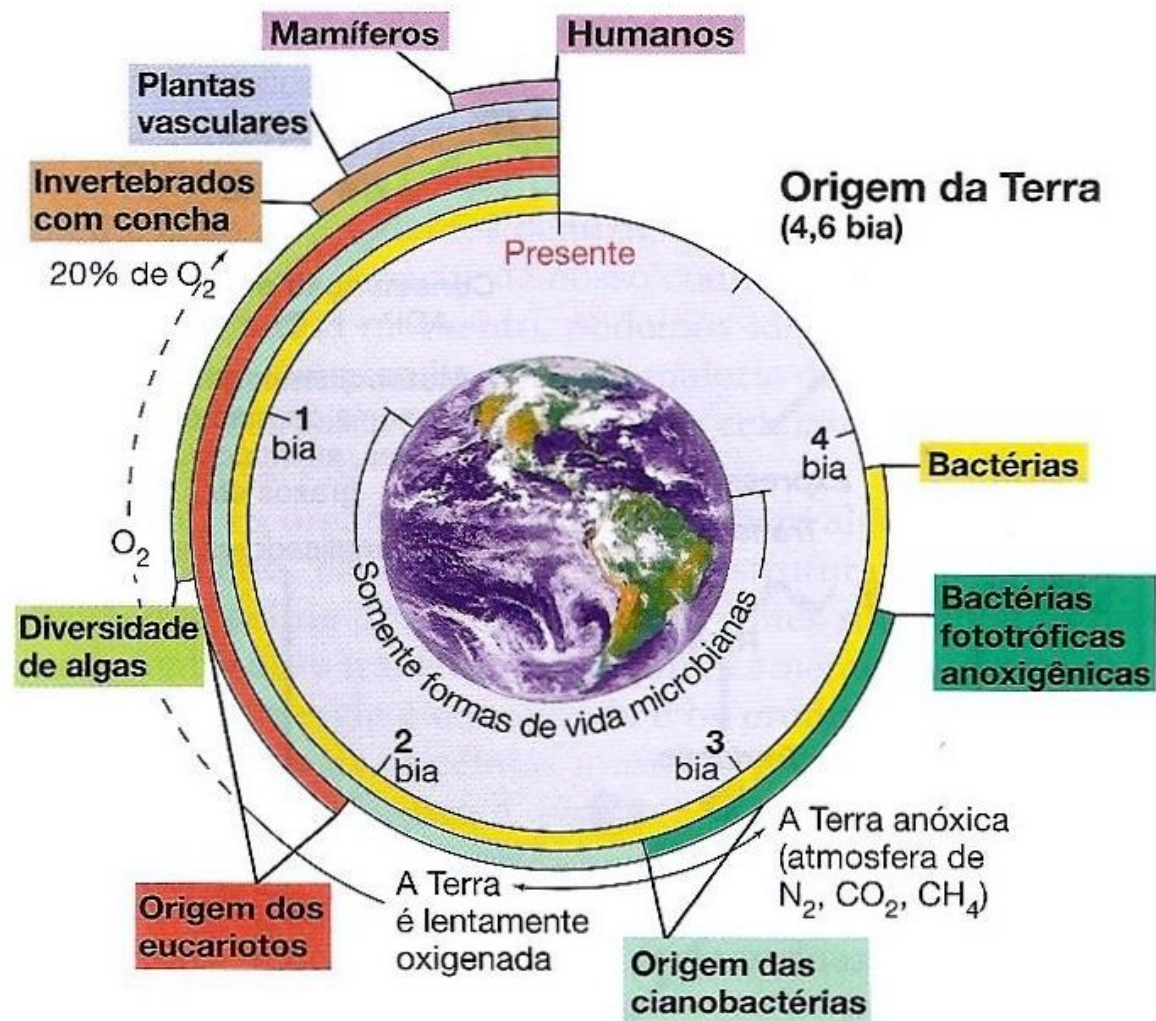


Figura 1.6 Resumo da vida na Terra através do tempo. A vida celular encontrava-se presente na Terra há cerca de 3,8 bilhões de anos (bia). As cianobactérias iniciaram a lenta oxigenação da Terra há cerca de 3 bia, porém os atuais níveis de oxigênio na atmosfera não foram alcançados antes dos últimos 500-800 milhões de anos.

Metanogênese

Metanogênese

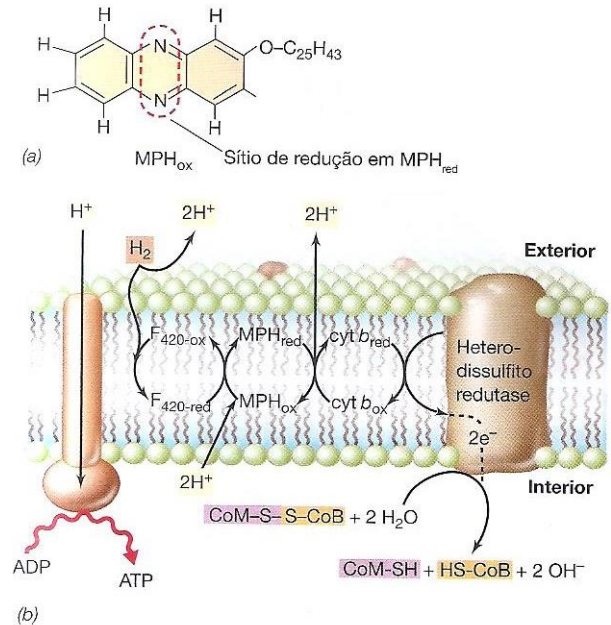
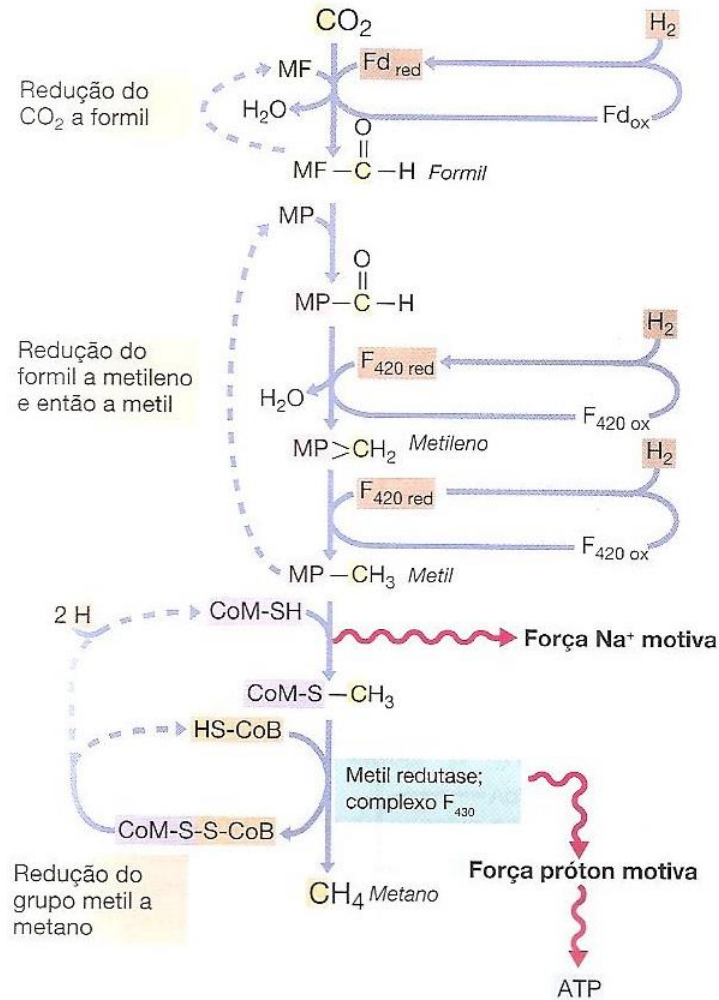


Figura 21.23 Conservação de energia na metanogênese. (a) Estrutura de metanofenazina (MPH, na parte b), um carreador de elétrons da cadeia de transporte que promove a síntese de ATP; o anel central da molécula pode ser alternadamente reduzido e oxidado. (b) Etapas do transporte de elétrons. Os elétrons oriundos do H_2 reduzem F_{420} e, então, a metanofenazina. Esta última, por meio de um citocromo do tipo b , reduz a heterodissulfeto redutase, com a extrusão de prótons para fora da membrana. Na etapa final, a heterodissulfeto redutase reduz o complexo CoM-S-S-CoB em HS-CoM e HS-CoB . Ver, na Figura 21.19, as estruturas de CoM e CoB .

Figura 21.21 Metanogênese, a partir de CO_2 e H_2 . O átomo de carbono reduzido é assinalado em amarelo, enquanto a fonte de elétrons é destacada em marrom. Ver, na Figura 21.19, as estruturas das coenzimas, e, no texto, uma discussão sobre a bomba reversível de Na^+ . MF, metanofurano; MP, metanopterina; CoM, coenzima M; $\text{F}_{420(\text{red})}$, coenzima F_{420} reduzida; F_{430} , coenzima F_{430} ; Fd, ferredoxina; CoB, coenzima B.

Metanogênese

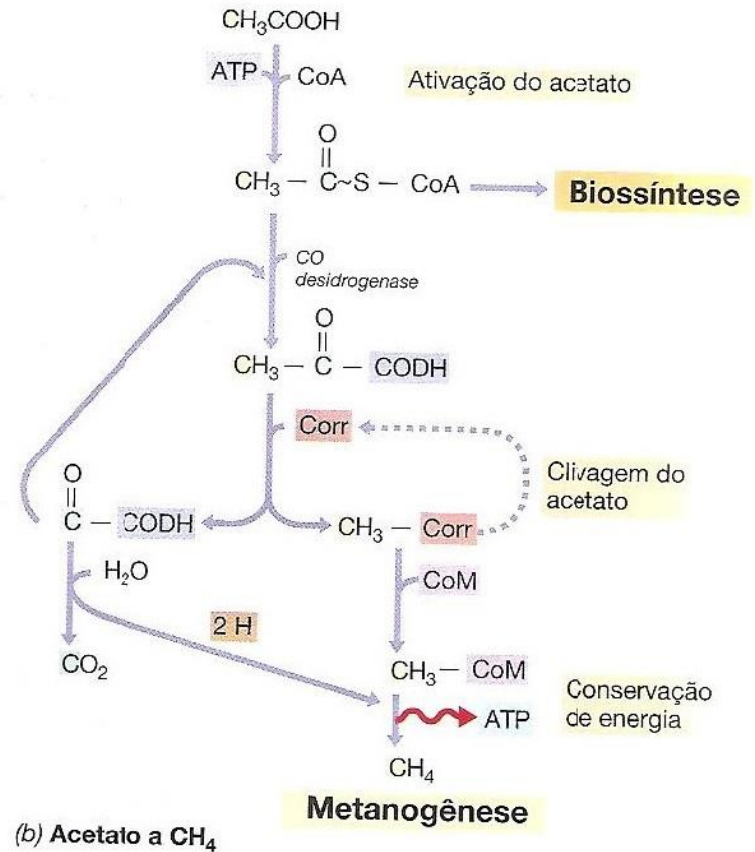
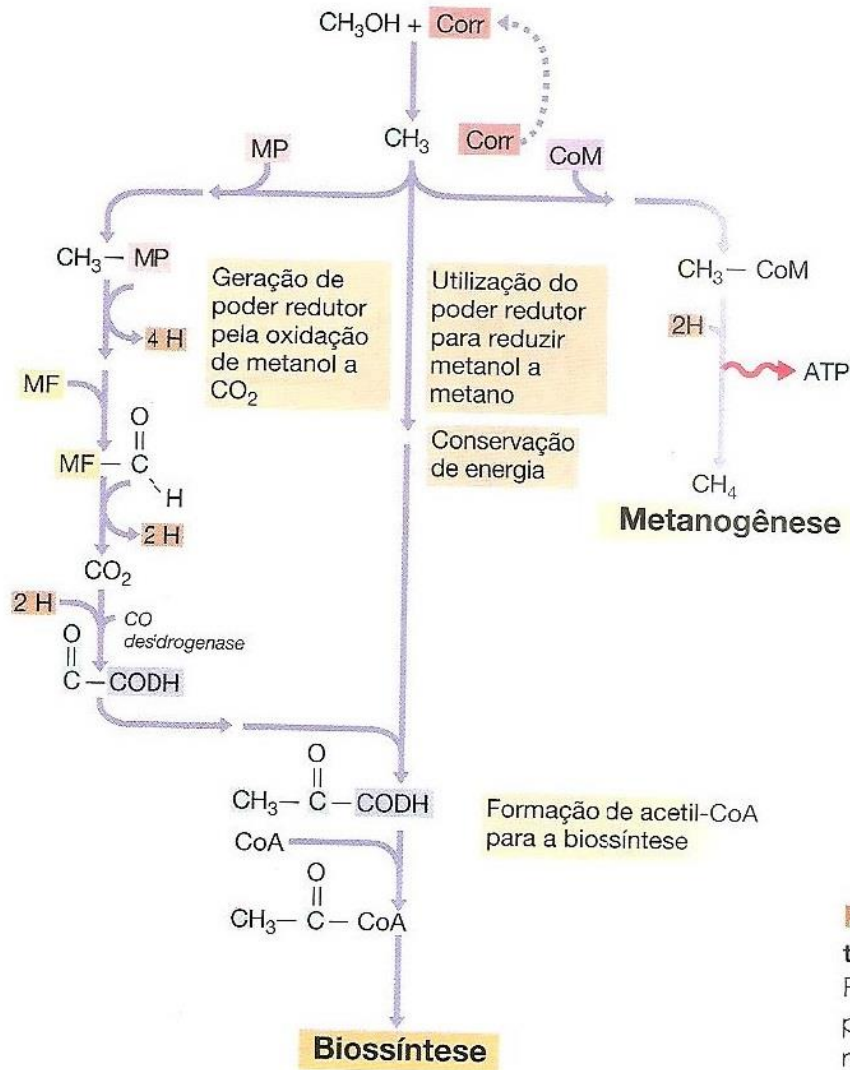


Figura 21.22 A metanogênese a partir de metanol e acetato. As duas séries de reações contêm partes da via do acetil-CoA. Para o crescimento a partir do metanol, a maior parte do carbono presente no metanol é convertida a CH₄, enquanto uma quantidade menor é convertida a CO₂ ou, pela formação de acetil-CoA, é assimilada em compostos celulares. As abreviações e cores utilizadas são as mesmas empregadas nas Figuras 21.19 e 21.21. Corr, proteína contendo corrinoide; CODH, monóxido de carbono desidrogenase.

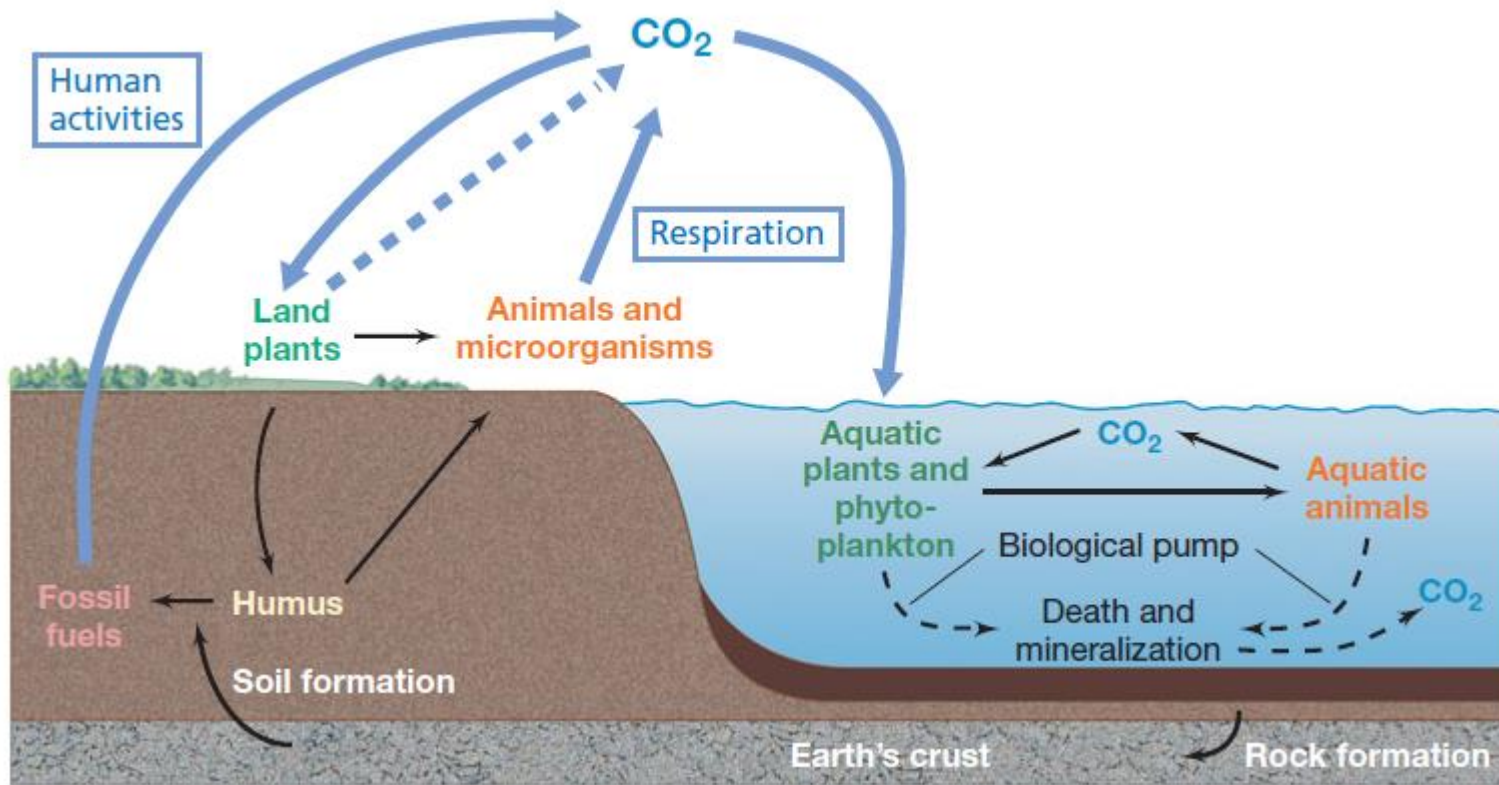


Figure 24.1 The carbon cycle. The carbon and oxygen cycles are closely connected, as oxygenic photosynthesis both removes CO_2 and produces O_2 , and respiratory processes both produce CO_2 and remove O_2 . As the accompanying table shows, by far the greatest reservoir of carbon on Earth is in rocks and sediments, and most of this is in inorganic form as carbonates.



Figure 24.3 Burning methane hydrate. Frozen methane ice retrieved from marine sediments is ignited.

Major Carbon Reservoirs on Earth

Reservoir	Percent of Total ^a
Rocks and sediments	99.5 (80% inorganic)
Oceans	0.05
Methane hydrates	0.014
Fossil fuels	0.006
Terrestrial biosphere	0.003
Aquatic biosphere	0.000002

^a Total carbon, 76×10^{15} tons

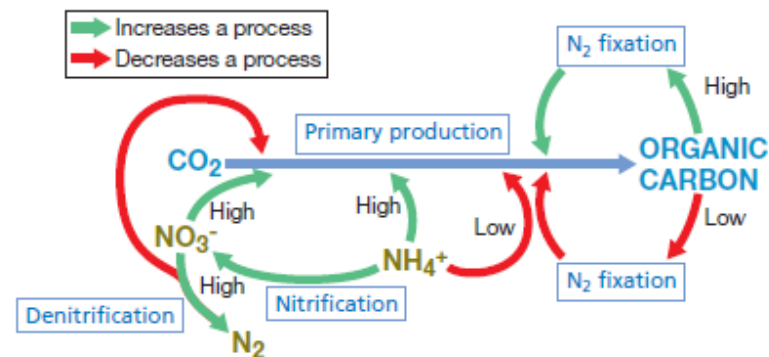
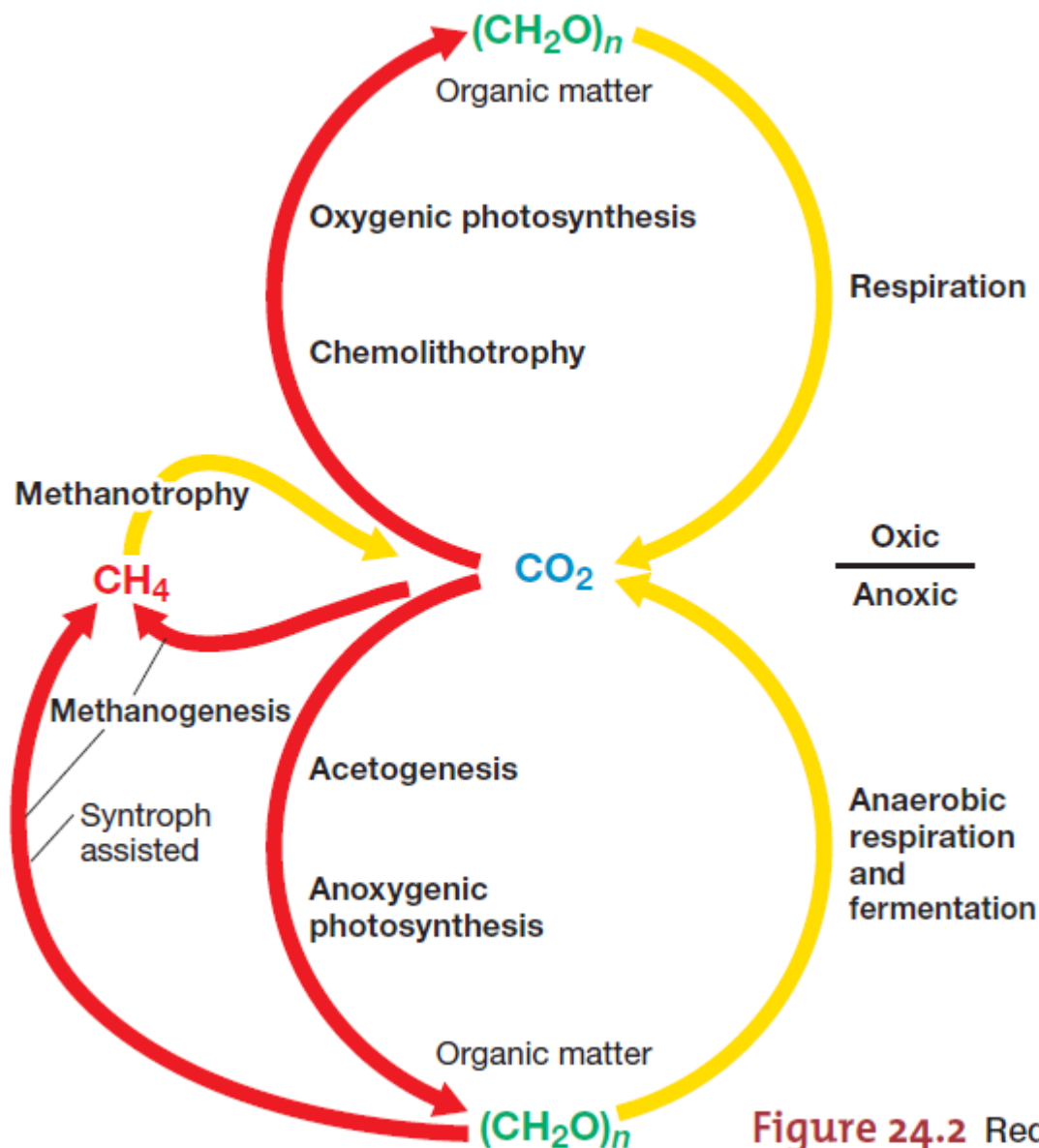
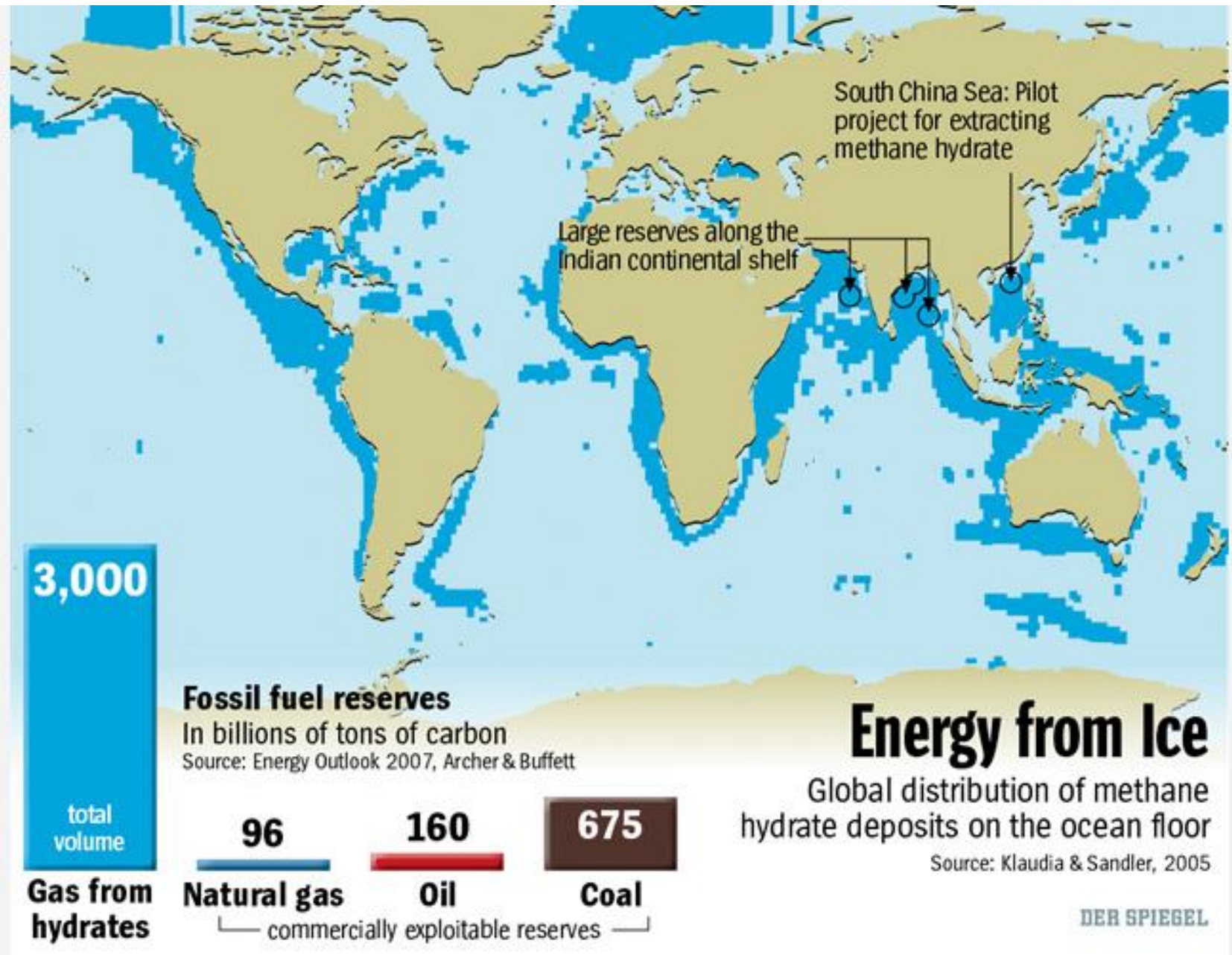


Figure 24.4 Coupled cycles. All nutrient cycles are interconnected, but the carbon and nitrogen cycles are extremely closely coupled. In the carbon cycle, CO_2 supplies the C for carbon compounds. The N cycle, shown in more detail in Figure 24.7, supplies N for many of the compounds.

Figure 24.2 Redox cycle for carbon. The diagram contrasts autotrophic processes ($\text{CO}_2 \rightarrow$ organic compounds) and heterotrophic processes (organic compounds $\rightarrow \text{CO}_2$). Yellow arrows indicate oxidations; red arrows indicate reductions.



Metanogênese e sintrofia

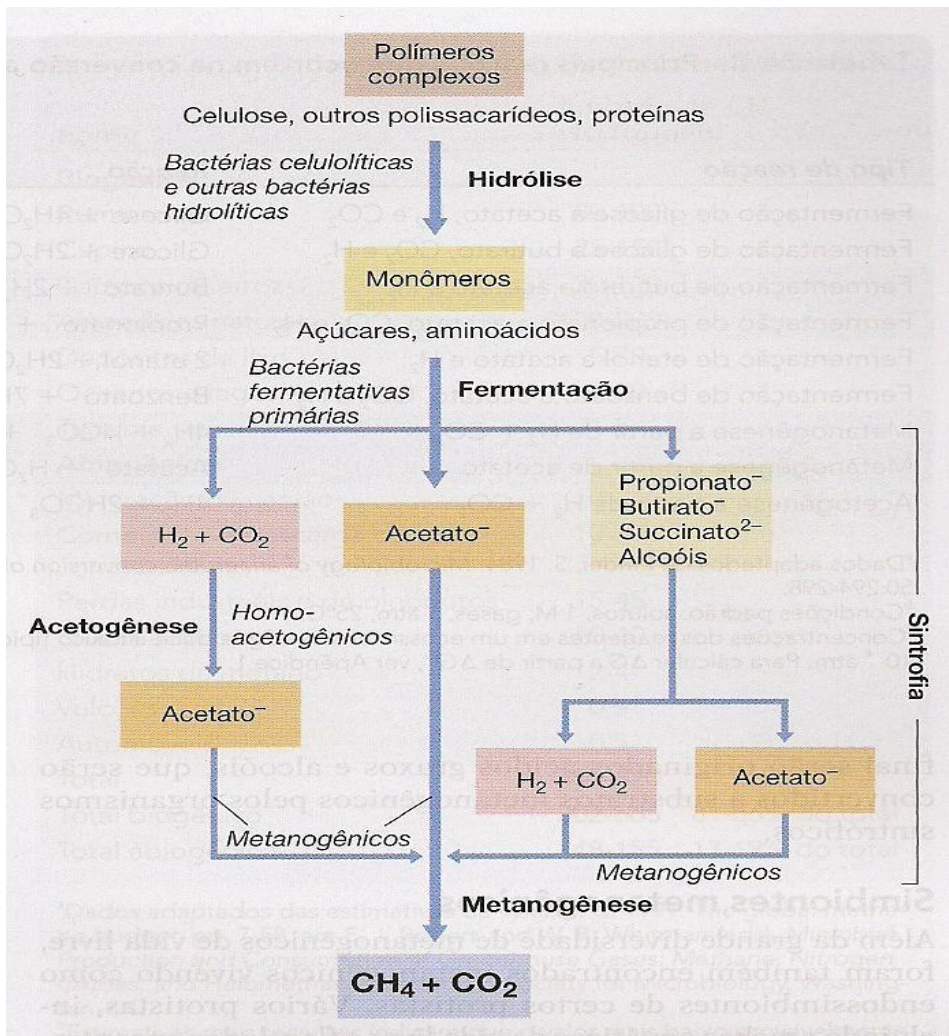
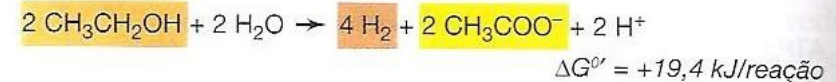


Figura 24.3 Decomposição anóxica. É apresentado o processo geral de decomposição anóxica, em que vários grupos de anaeróbios fermentativos cooperam na conversão de compostos orgânicos complexos a metano (CH_4) e CO_2 . Este quadro é representativo de ambientes onde as bactérias redutoras de sulfato desempenham apenas um papel secundário, por exemplo, em sedimentos de lagos de água doce, no lodo de esgoto de biorreatores ou no rúmen.

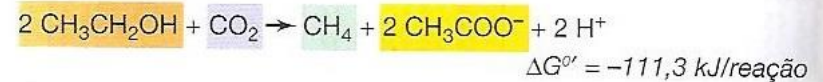
Fermentação de etanol:



Metanogênese:



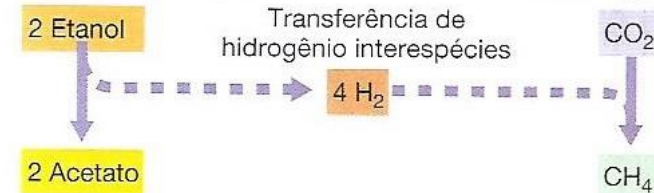
Reação acoplada:



(a) Reações

Fermentador de etanol

Metanogênico



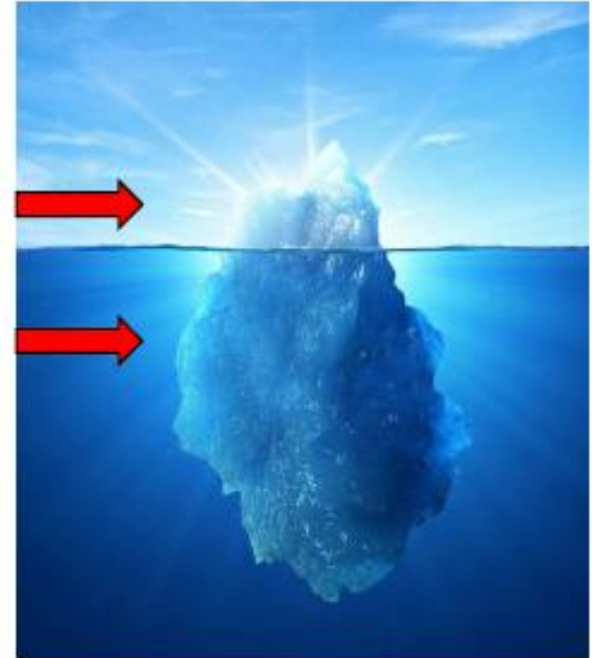
(b) Transferência sintrófica de H_2

Figura 21.10 Sintrofia: transferência de H_2 interespecífica. A fermentação de etanol a metano e acetato, pela associação sintrófica de uma bactéria oxidante de etanol e um parceiro consumidor de H_2 , (metanogênico) é apresentada. (a) Reações envolvidas. Os dois organismos partilham a energia liberada pela reação acoplada. (b) Natureza da transferência sintrófica de H_2 .

VÍRUS

Doenças

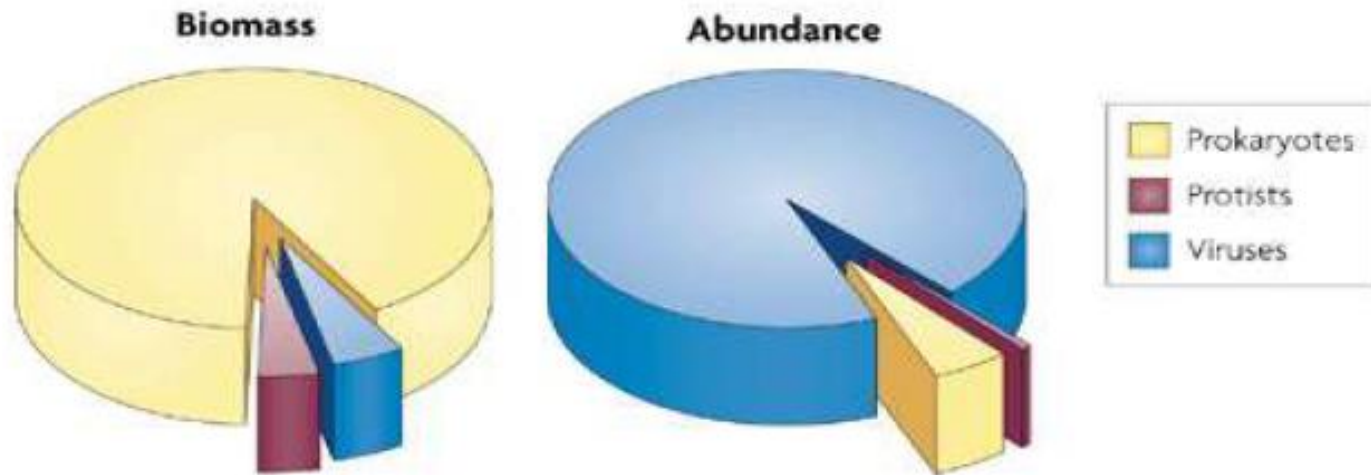
Aspectos ecológicos



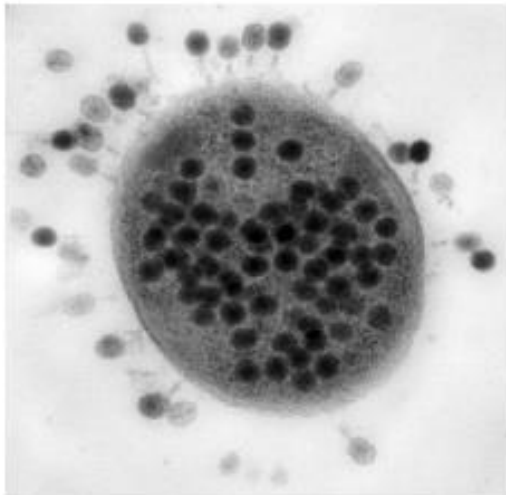
Ambiente aquático

- Partículas de 0,2 a 200 μm
- Elevadas Concentrações:
 - 10^6 partículas/mL (oceano profundo)
 - 10^8 partículas/mL (região costeira)
- Estima-se nos oceanos: 4×10^{30} vírus

Virioplâncton



Nature Reviews | Microbiology

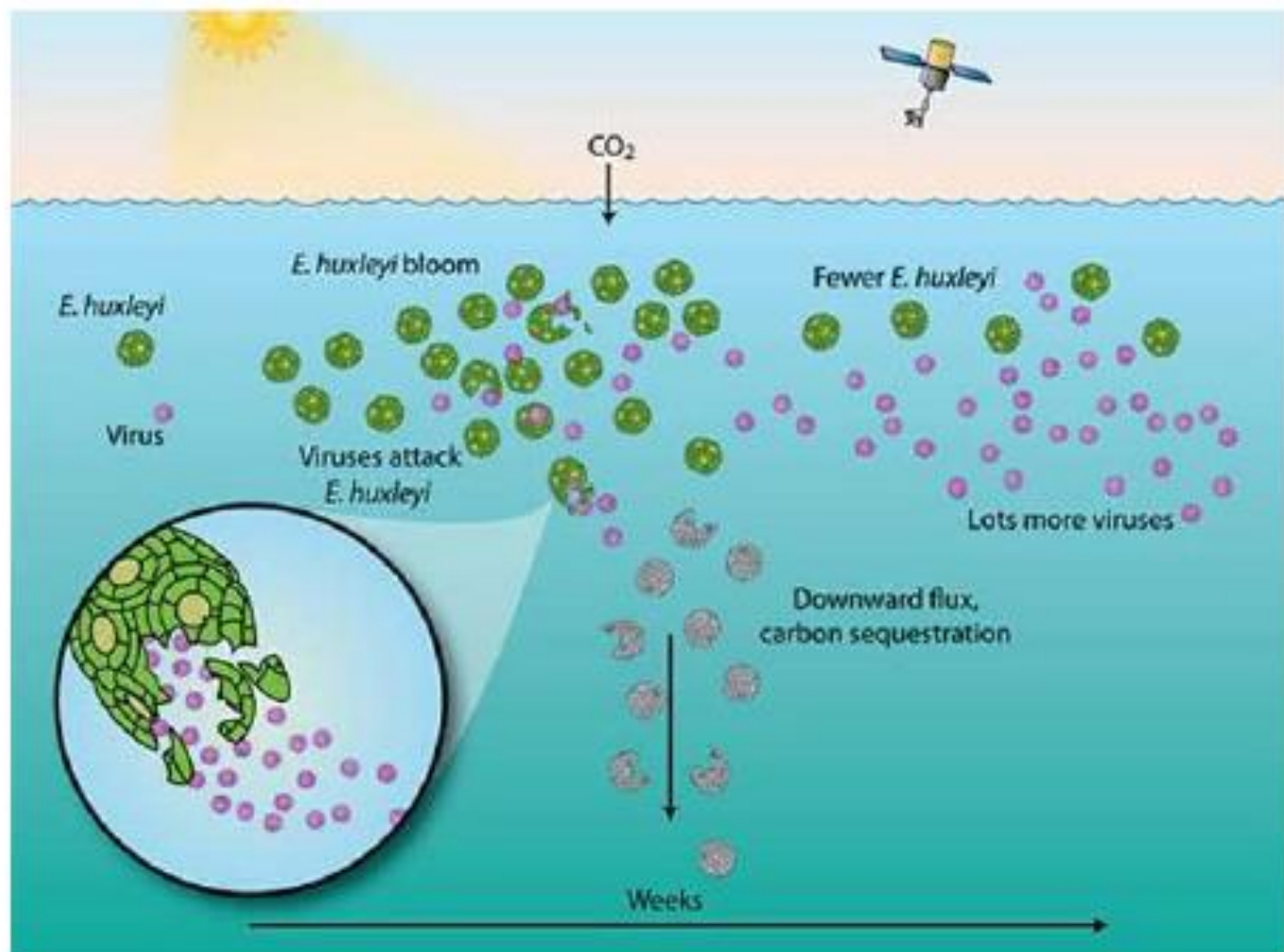


VÍRUS

Concentração 15x maior do que as bactérias e arqueias

Por que tão numerosos?





Hipótese "Kill the Winner"

“ a população mais bem sucedida deve ser eliminada”

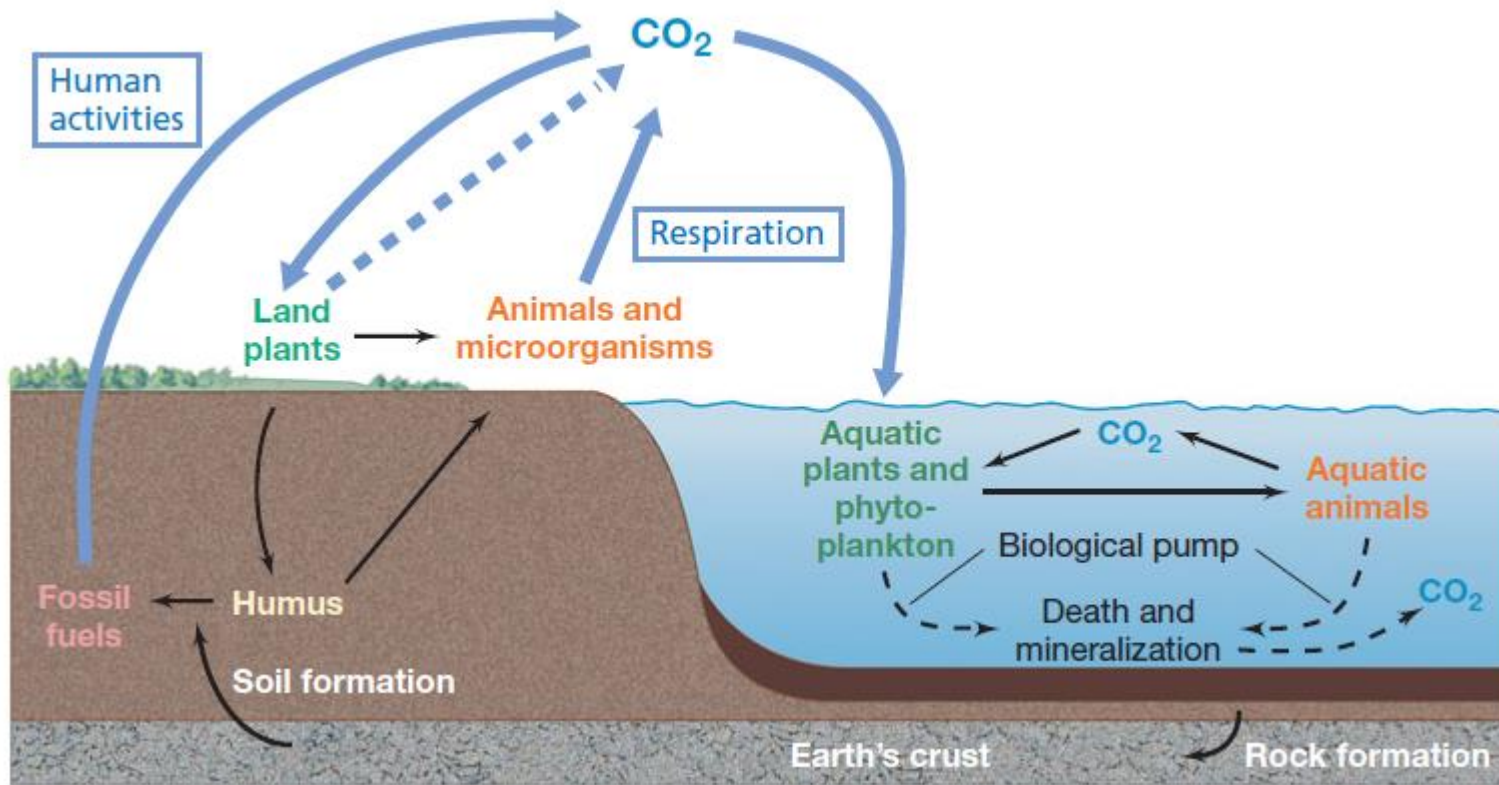


Figure 24.1 The carbon cycle. The carbon and oxygen cycles are closely connected, as oxygenic photosynthesis both removes CO_2 and produces O_2 , and respiratory processes both produce CO_2 and remove O_2 . As the accompanying table shows, by far the greatest reservoir of carbon on Earth is in rocks and sediments, and most of this is in inorganic form as carbonates.

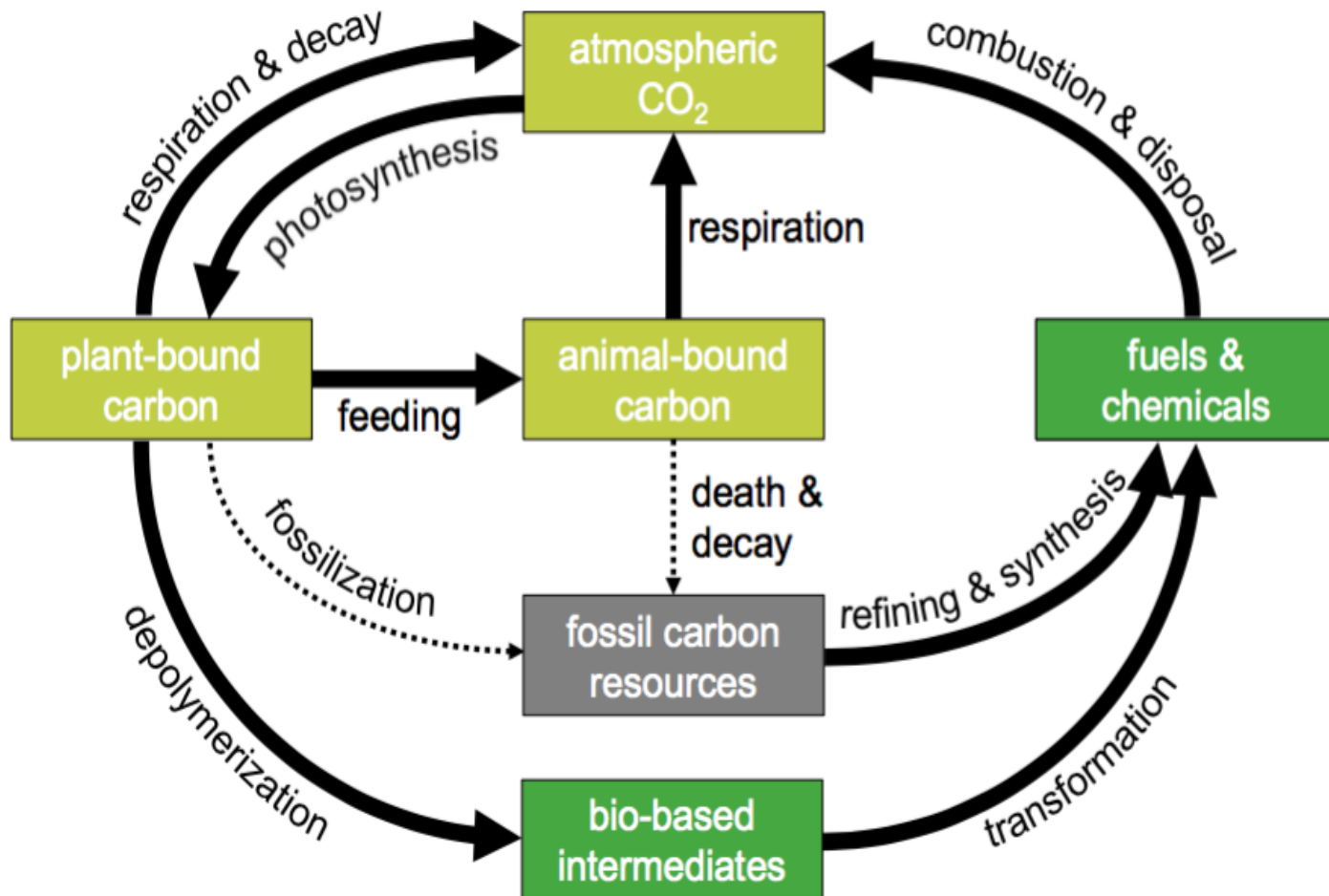


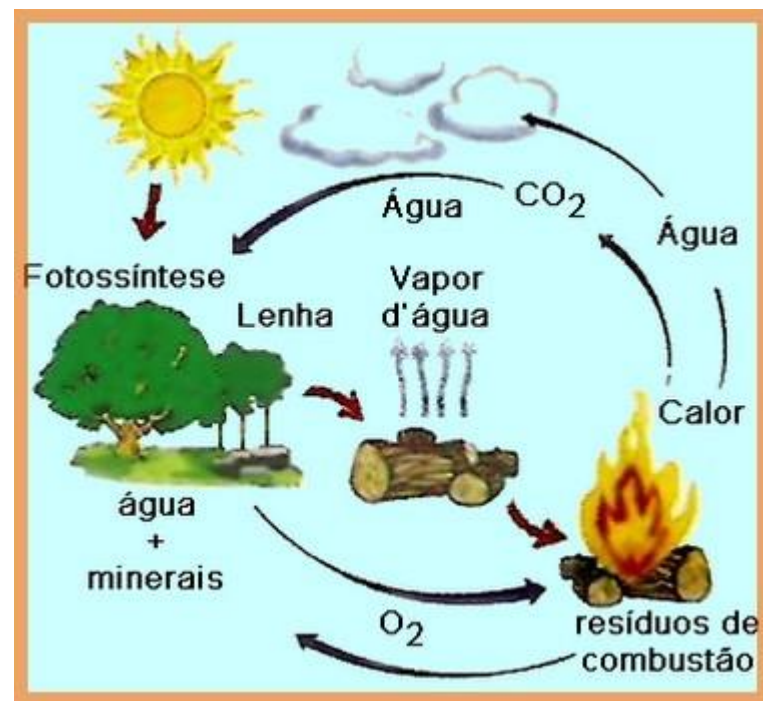
Figure 24.3 Burning methane hydrate. Frozen methane ice retrieved from marine sediments is ignited.

Major Carbon Reservoirs on Earth

Reservoir	Percent of Total ^a
Rocks and sediments	99.5 (80% inorganic)
Oceans	0.05
Methane hydrates	0.014
Fossil fuels	0.006
Terrestrial biosphere	0.003
Aquatic biosphere	0.000002

^a Total carbon, 76×10^{15} tons



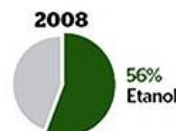
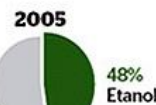


Como funciona uma usina de álcool

Do canavial ao posto de gasolina, todas as fases da produção

ACÚCAR X ALCÓOL

A proporção de cana que vira etanol ou açúcar varia conforme o preço. Hoje, a vantagem é do etanol



ENERGIA
O bagaço, adicionado à palha que foi recolhida na limpeza, abastece caldeiras de alta pressão, que alimentam turbinas e, assim, fornecem toda a eletricidade necessária ao funcionamento da usina. A sobra é vendida a concessionárias de eletricidade

1 CANA-DE-AÇÚCAR

Colhida entre fins de março e começo de dezembro no Estado de São Paulo. Na média, são 86 toneladas por hectare. O valor dessa matéria-prima está no teor de sacarose contido no caule da planta

2 SEPARAÇÃO E PESAGEM

Na entrada da usina, os caminhões são pesados, calculando-se a remuneração do fornecedor independente, assim como o valor que corresponde aos cortadores que trabalham na colheita manual

3 LIMPEZA

Restos de palha, gravetos, areia, pedriscos e terra são removidos por lavagem em esteiras contínuas. Essa água é reciclada e circula várias vezes, em circuito fechado. Hoje, o processo industrial consome menos de 20% da água que era necessária 30 anos atrás

4 PICADORES

Os caules são picados em toletes de comprimento mais ou menos regular, etapa importante para melhor aproveitamento do processo automático que vem a seguir

5 SEPARAÇÃO

Moendas separam o caldo, que nada mais é que a garapa vendida nas feiras livres. Sobram 250 quilos de bagaço por tonelada de cana

6 BANHO QUÍMICO

Começa o tratamento do caldo. A primeira parada é nos misturadores, onde se adicionam substâncias químicas que uniformizam o líquido e forçam o depósito, no fundo do tanque, dos traços de celulose que acompanharam o caldo

7 PURIFICAÇÃO

A seguir se retiram os aditivos químicos da fase anterior, que também são reciclados e aproveitados várias vezes. Na sequência do processo industrial, entram somente substâncias naturais

8 FERMENTAÇÃO

Um dos grandes segredos do sucesso do etanol brasileiro, as cepas de enzimas que provocam a fermentação natural do caldo têm a missão de quebrar as moléculas de sacarose para que o mosto, obtido depois de um período que pode variar entre oito e 15 horas, ofereça a produtividade esperada

9 DESTILAÇÃO

Calor e alta pressão gerada nas caldeiras fazem o salto definitivo do processo físico-químico que libera o biocombustível. As torres de destilação são feitas de aço inoxidável e representam a parte mais sofisticada do equipamento da usina

HIDRATADO

Na saída da destilação, o etanol traz uma porcentagem de água, na transformação química. Essa parte, geralmente entre 4% e 6%, integra o combustível chamado álcool hidratado

ANIDRO

Alcool desidratado em processamento adicional, serve para a mistura de 23% na gasolina brasileira. Algumas usinas preferem desidratar todo o seu álcool e, depois, acrescentar água pura quando vendem uma partida de "hidratado"

10 ARMAZENAGEM E LOGÍSTICA

A rede brasileira de dutos é limitada. As usinas precisam de grandes instalações para armazenagem. Mais: o escoamento se faz basicamente por caminhões no Brasil, enquanto os Estados Unidos aproveitam hidrovias e uma gigantesca malha de dutos



Qual a fonte de energia para mover carros elétricos?





I'm green

Atívia com selo I'm green. Assim, o verde não fica só na embalagem.

A parceria entre a Danone e a Braskem possibilita o desenvolvimento da primeira embalagem de iogurte feita de plástico verde no Brasil. Uma tecnologia que utiliza matéria-prima de fonte renovável, a cana-de-açúcar, e contribui para a redução dos gases de efeito estufa. Um diferencial de produto que faz a diferença para a natureza.

Para mais informações, acesse www.braskem.com.br/plasticoverde

DANONE **Braskem**
Novas formas de ver o mundo



I'm green

Faber-Castell com selo I'm green. Preservando o verde e todas as suas cores.

A Faber-Castell e a Braskem se uniram para desbravar um mundo mais sustentável. Assim, surgiu o primeiro copo escolar feito de plástico verde, que vai ao ponto-lápis. Uma tecnologia que utiliza matéria-prima de fonte renovável, a cana-de-açúcar, e contribui para a redução dos gases de efeito estufa. Um diferencial de produto que faz a diferença para a natureza.

Para mais informações, acesse www.braskem.com.br/plasticoverde

FABER-CASTELL **Braskem**
Novas formas de ver o mundo



I'm green

Sundown com O ú...
você e o p...

Sundown e Braskem inovam ao lançar a primeira linha de plástico verde. Uma tecnologia que utiliza a cana-de-açúcar, e contribui para a redução dos gases de efeito estufa. Um diferencial de produto que faz a diferença para a natureza.

Para mais informações, acesse www.braskem.com.br/plasticoverde



Polyhydroxyalkanoates - PHA

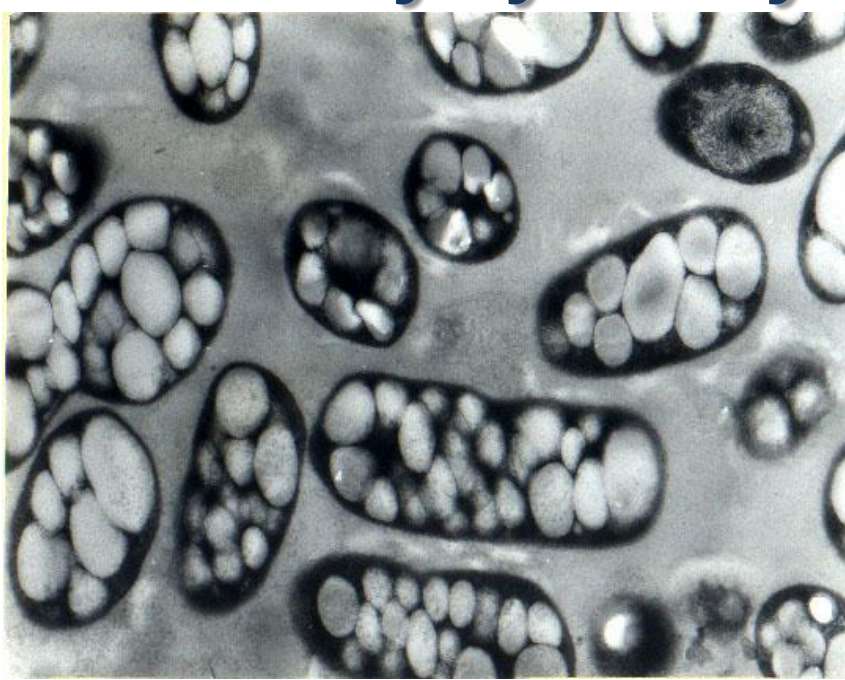
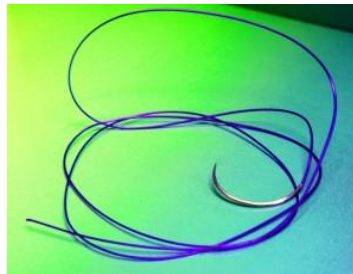


Foto: Niels Andreas

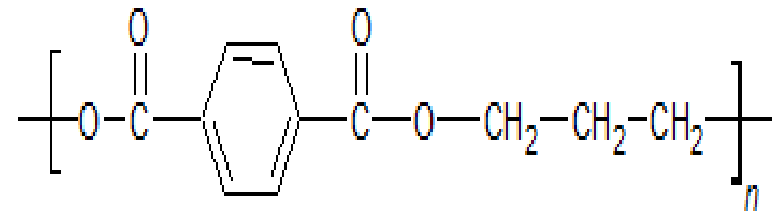
== Bioplásticos ==

Polyhydroxyalkanoates - PHA



1,3-propanodiol

- Composto formado por 3 carbonos
- Líquido incolor, miscível em água
- 1,3-propanodiol é usado principalmente na produção de Politrimetileno tereftalato (PTT)



- Propriedades físico-químicas de interesse

Melhor resiliência

Facilidade de coloração

Maior elasticidade

Produção de 1,3-propanodiol

Processo biotecnológico:

- Produção de propanodiol a partir do glicerol, por exemplo
- Bactérias produtoras como: *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* e *Clostridium butyricum*



Vantagens:

Fonte renovável, limpa e de baixo



Biopolymers

Tabela 14.1 Percentual de materiais renováveis, biodegradabilidade e fase de desenvolvimento da tecnologia de diferentes termoplásticos produzidos utilizando matérias-primas renováveis

Material	Percentual de matéria-prima renovável	Biodegradabilidade	Estágio da tecnologia
Plásticos de amido ^a	40-100	Parcial a total	Grande escala
PLA^b	100	Total	Grande escala
PHA^c	100	Total	Escala Piloto
PE^d	100	Não	Grande escala
PET^e	~30	Não	Pequena escala
PTT^f	35	Não	Pequena escala

Fonte: Shen et al. (2010).

a. amido termoplástico, amido modificado, misturas de amido e polímeros petroquímicos.

b. ácido polilático (PLA) produzido pela polimerização do ácido lático, gerado em processo biotecnológico.

c. P3HB, P3HB-*co*-3HV, P3HB-*co*-3HHx, P3HB-*co*-4HB, P4HB.

d. Etanol é convertido em etileno, polimerizado para gerar o PE de base biológica (biobased PE).

e. Etileno é gerado a partir do etanol (bioetanol) e polimerizado ácido tereftálico (petroquímico).

Biopolymers

Tabela 14.2 Potencial máximo de substituição técnica de plásticos petroquímicos por plásticos gerados com matérias-primas renováveis

Materiais.	Percentual máximo de substituição técnica						Quantidade substituída ^a
	PEBD	PEAD	PP	PVC	PS	PET	
Plásticos de amido	8	8	8		8		10.304,4
PLA		10	10		10	20	12.270,1
PHA ^b	20	20	10	10	20	10	26.348,8
PE ^c	72 ^d	62 ^d					45.746,0
PP ^c			67 ^d				30.083,0
PET ^c						50 ^d	7.749,0
PTT			5			20	5.344,6
Consumo global (2007) ^a	37.100	30.700	44.900	35.280	16.105	15.498	137.845,9/179.583 (76,8%)

Fonte: Shen *et al.* (2010).

a. Em 1000 toneladas.

b. P3HB, P3HB-*co*-3HV, P3HB-*co*-3HHx, P3HB-*co*-4HB, P4HB.

c. Produzidos a partir de matérias-primas renováveis.

d. Em princípio, uma vez que apresentam exatamente a mesma composição química de seus congêneres petroquímicos, estes polímeros poderiam substituir tecnicamente 100%. Aqui foi considerada apenas a substituição que complementa aquela dos outros polímeros.

Surfactantes

São moléculas com porções hidrofílicas e hidrofóbicas que se posicionam preferencialmente na interface entre dois fluídos com diferentes polaridades ou pontes de hidrogênio tais como óleo/água ou água/ar, sendo capazes de reduzir tensões superficiais ou interfaciais.

Praticamente todos os surfactantes em uso atualmente são compostos químicos derivados do petróleo.

Biosurfactantes

Grupo estruturalmente diverso de moléculas com atividade superficial/interfacial sintetizadas por microrganismos

Interesse:

Diversidade (glicolipídios, lipopeptídios e lipoproteínas, ácidos graxos, fosfolipídios e lipídios neutros, polímeros, partículas)

Ambientalmente amigáveis (menor toxicidade, maior biodegradabilidade, maior compatibilidade ambiental).

Propriedades úteis e especiais em diversas aplicações (alta seletividade e atividade específica sob condições extremas de temperatura, pH e salinidade; maior capacidade espumante).

Podem ser produzidos em biorreatores utilizando matérias-primas renováveis.

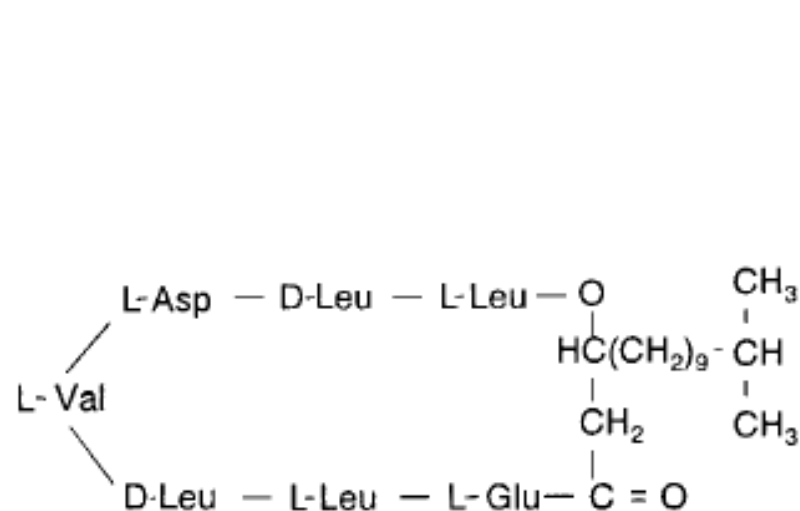
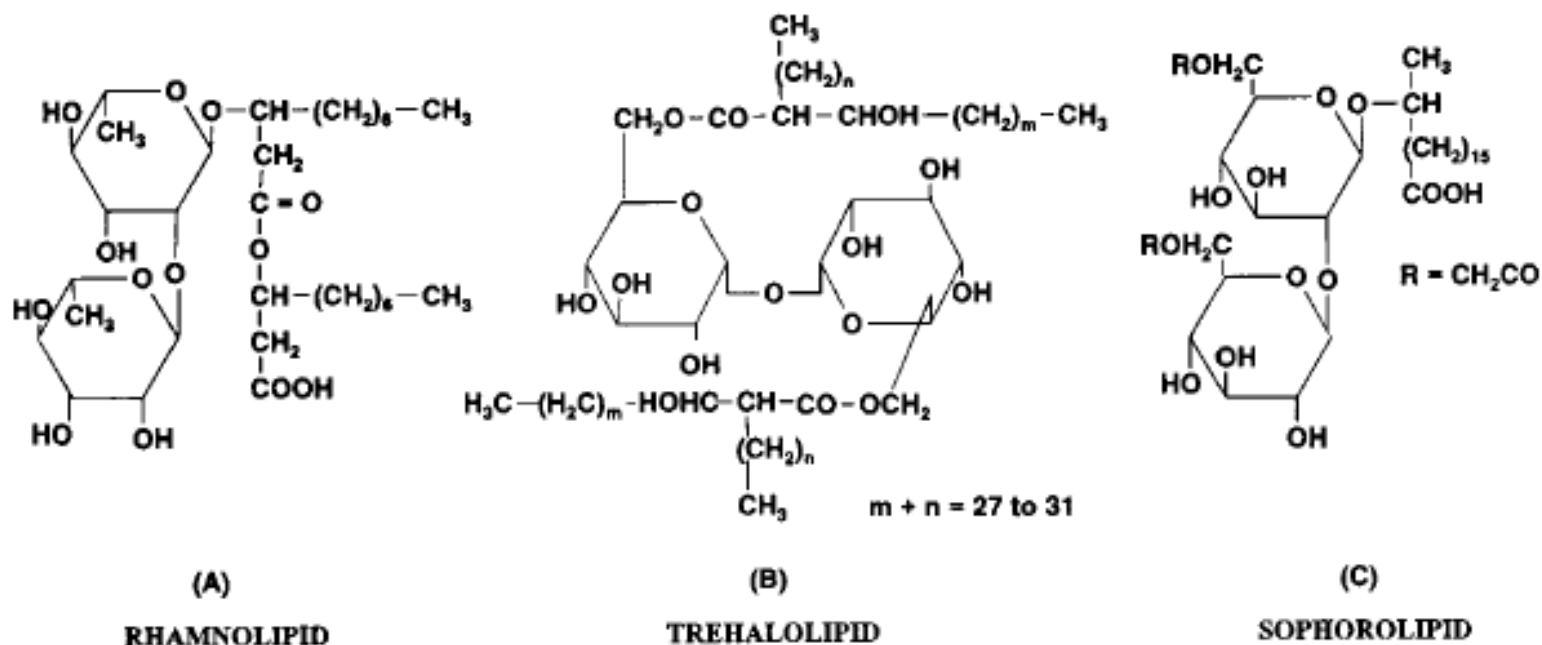


FIG. 2. Structure of cyclic lipopeptide surfactin produced by *Bacillus subtilis*.

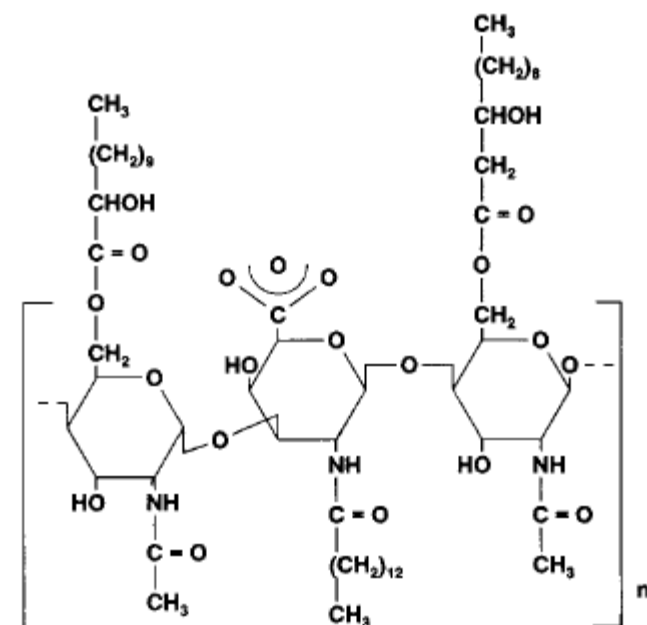


FIG. 4. Structure of emulsan, produced by *Acinetobacter calcoaceticus*, in which fatty acids are linked to a heteropolysaccharide backbone.