

GEOLOGIA MÉDICA
iii

BIOLOGIA

GEOMICROBIOLOGIA

Wilson Scarpelli
wiscar@terra.com.br

Geólogo
Geologia USP 1960
Grupo Figueira da Glete

BIOLOGIA E OS ELEMENTOS

A vida iniciou em ambientes anóxicos, com reações químicas que geram energia por redução e/ou oxidação. Metais com mais de uma valência, como Fe e Mn, foram fundamentais a essas reações químicas.

A mais de 3 bilhões de anos, no Período Arqueano, organismos vivos obtinham energia pela redução de metais por ação de H_2 , H_2S e mesmo CH_4 .

O surgimento de bactérias obtendo energia por fotossíntese, processo de maior produtividade energética, levou a colossais aumentos do nível de oxigênio na atmosfera e da massa de organismos vivos.

BIOLOGIA E GEOLOGIA

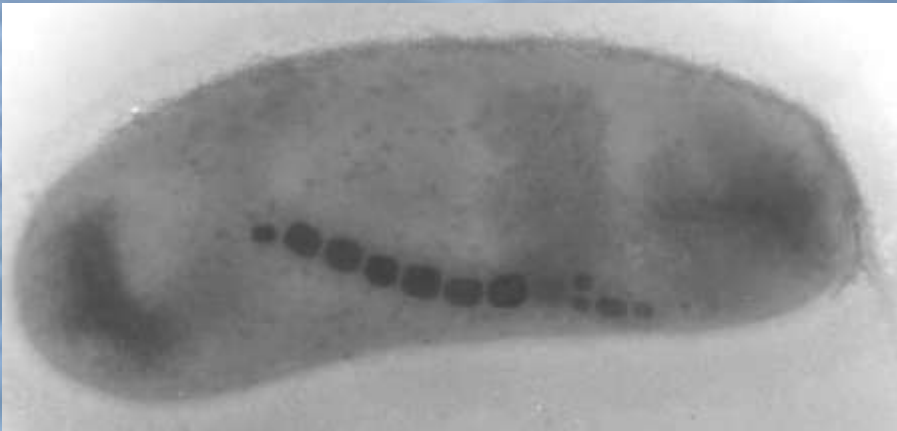
MINERAIS ESTÃO ENTRE MEIOS DE VIDA PARA MICROORGANISMOS

Fosfatos – hidroxiapatita (ossos)

Aragonita – moluscos

Magnetita – Bactérias, pombos, golfinhos, baleias, salmão, abelhas, humanos outros

Sílica – Diatomáceos
e muitos mais



bactérias magnetotáticas (3 μm)

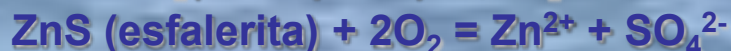
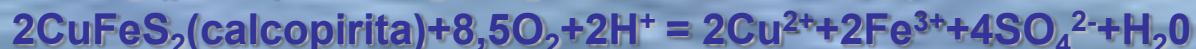
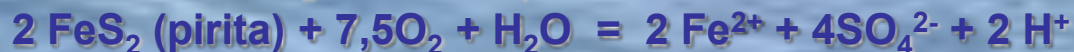
Weiner, S, e Addadi, L.; Biomineralization: *At the Cutting Edge*; Science, vol. 11, pg. 375-376, 2002

BIOLOGIA E GEOLOGIA

MINERAIS ESTÃO ENTRE AS FONTES DE ENERGIA PARA MICROORGANISMOS

Microorganismos obtêm energia em ambientes com fraco equilíbrio, catalisando transferências de elétrons em reações de oxidação-redução que não ocorrem espontaneamente devido a condições locais.

Os microorganismos usam enzimas como catalisadores para que tais reações ocorram (e a energia seja liberada).



acidianus infernus

sulfobacillus acidophilus

thiobacillus ferrooxidans

sulfolobus metallicus

metallosphaera sedula

metallosphaera prunae

FONTES DE ENERGIA PARA MICROORGANISMOS

Quemotróficos – Obtêm energia provocando e catalisando reações de oxidação e redução entre compostos subestáveis, no processo gerando novos compostos

Quemotróficos – Reações com compostos inorgânicos

Litotróficos – Reações com minerais e rochas

Quemolitotróficos – Reações com combinações das formas acima

Organotróficos – Reações de matéria orgânica

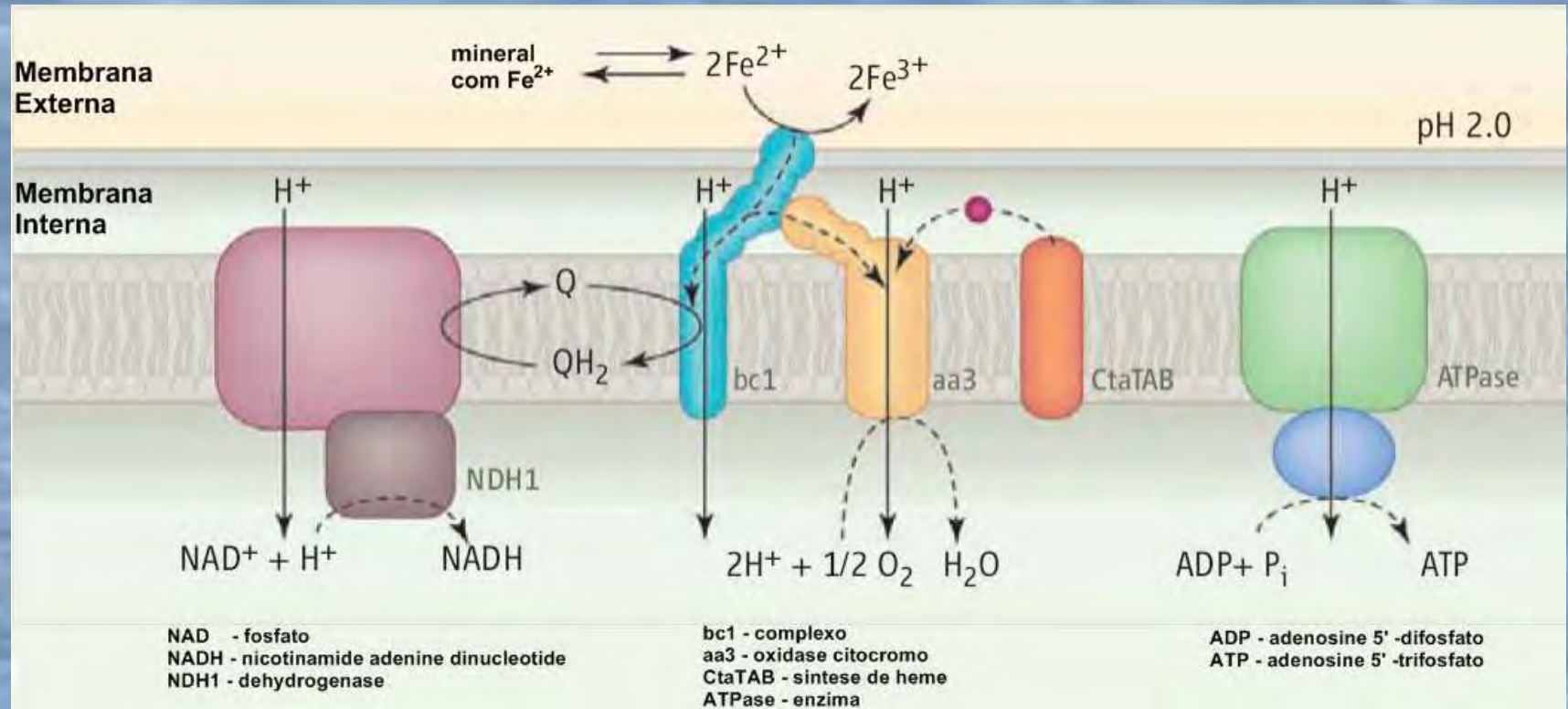
Fototróficos – Aproveitam energia de luz solar

Extremófilos – Organismos que vivem em condições extremas (de profundidade, de pH, de pressão, de calor etc.)

Nossa fonte de energia vem da redução do O_2 inspirado, via oxidação dos alimentos orgânicos e geração de CO_2 e calor. Além de O_2 microorganismos usam sulfatos, nitratos, tiosulfatos, sulfetos, enxofre, arsenatos, selenatos, cromatos etc.

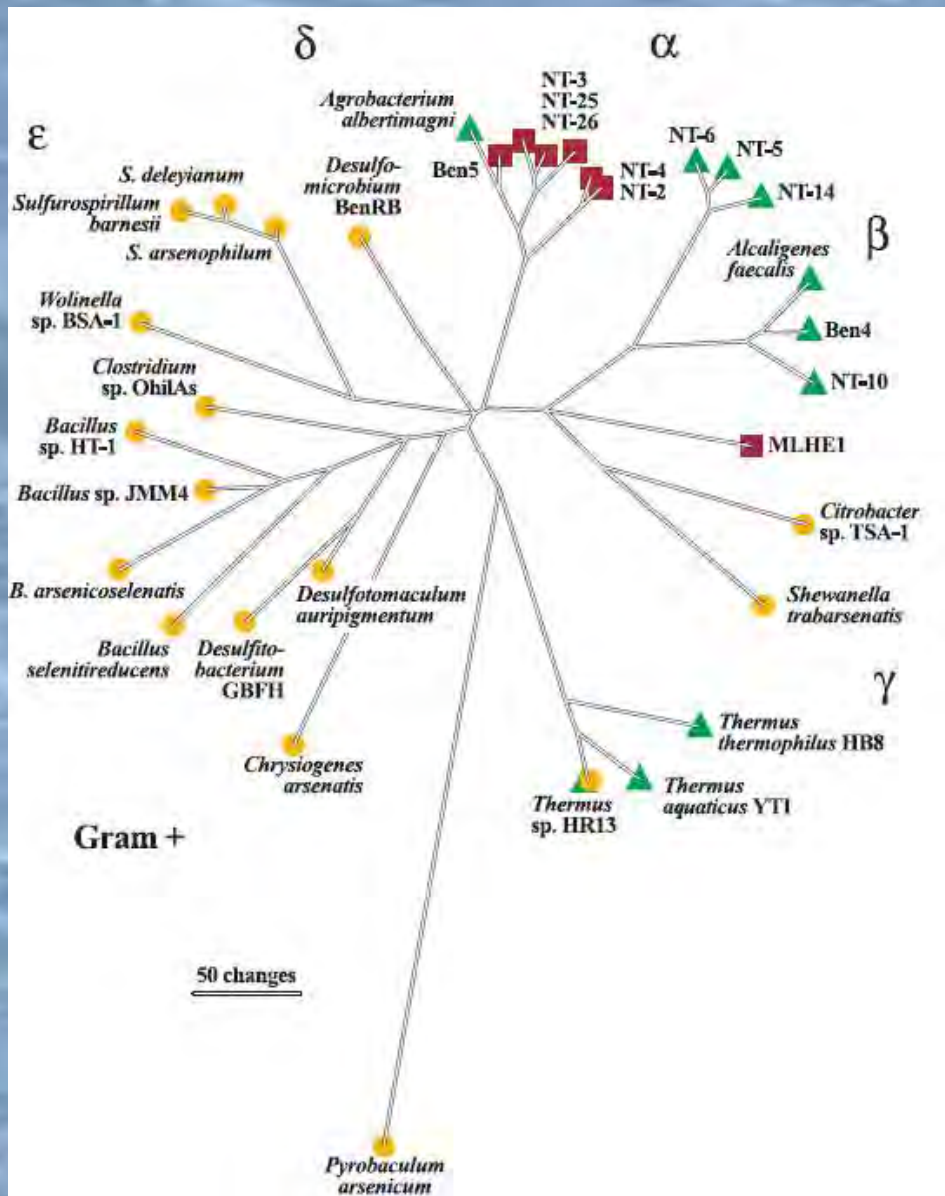
FONTES DE ENERGIA PARA MICROORGANISMOS

Acidithiobacillus ferrooxidans obtém energia oxidando Fe^{2+} de minerais, liberando elétrons que energizam sua membrana, permitindo gerar metabolitos e outros produtos necessários à bactéria.



Essas bactérias são muito usadas para liberar Cu de minérios de sulfetos de ferro e cobre, no processo de Lixiviação em Pilhas.

FONTES DE ENERGIA PARA MICROORGANISMOS



Micróbios que vivem de arsênio

Sobrevivem colocando arsênio em forma disponível a outros organismos vivos.

- redutores (dissimiladores, respiram As^{5+} a As^{3+})
- quemoautotróficos (oxidam As^{3+} a As^{5+} , usando CO_2)
- ▲ heterotróficos (oxidam As^{3+} a As^{5+} , com O_2)

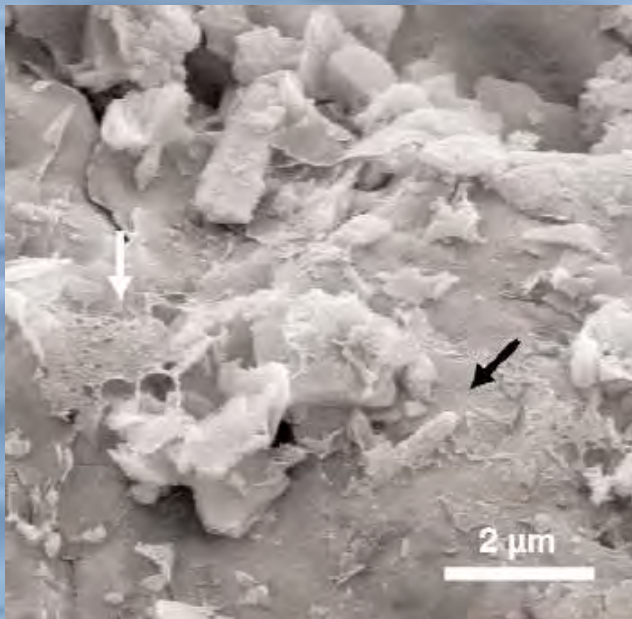
Oremland, R.S. e Stolz, J.F, em "The Ecology of Arsenic", Science, vol 300, pg. 939-943

Oremland, R.S. e Stolz, J.F, em "Arsenic, microbes and contaminated aquifers", Trends in Microbiology, vol 13, no. 2, 2005, pg. 45-49

EXTREMÓFILOS

Organismos que vivem e necessitam de condições sob as quais a maior partes dos outros organismos não sobrevivem.

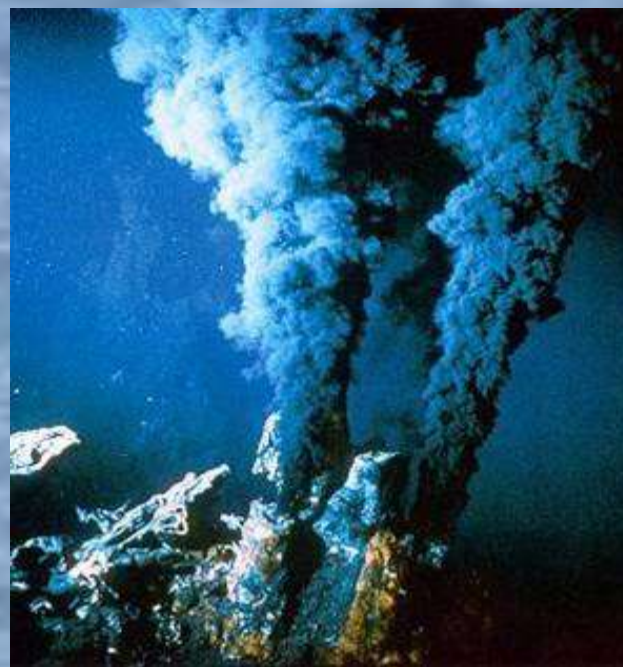
Os extremófilos são muitos, ocupando incríveis nichos de vida.



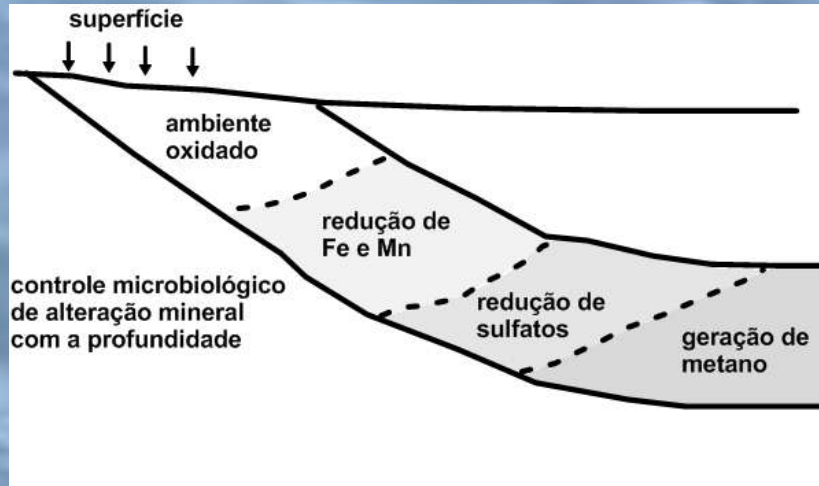
Bactérias encontradas a 2.800 m de profundidade em mina de Au na África do Sul. São envoltas em açúcar, que permite sua aderência à rocha. Essas bactérias vivem de alteração dos minerais da rocha.

EXTREMÓFILOS

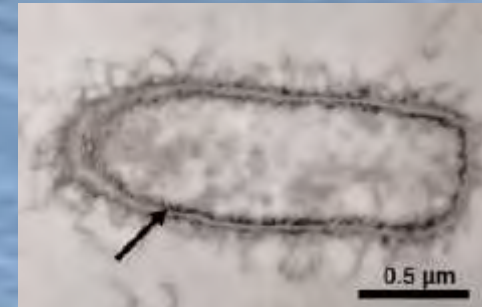
Fumarolas e “black smokers”



Formar Minerais para Sobreviver

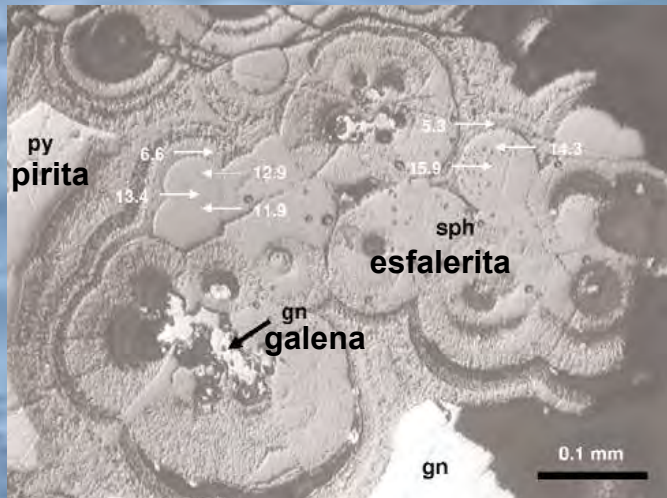


Precipitação de FeS

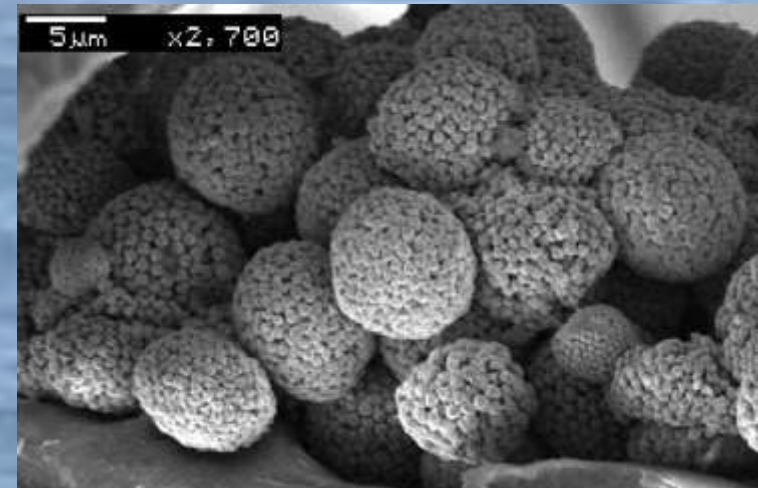


(6 meses de cultura com Fe^{2+})

Esfalerita (ZnS) em estrutura coloidal



Framboides de pirita



Southam, G. e Saunders, J.A., em *The Geomicrobiology of Ore Deposits, Economic Geology*, vol. 100, pg. 1067-1084, 2005

BIOLOGIA E GEOLOGIA

Alterações minerais favorecidas por microorganismos:

Intemperização de minerais e rochas.

Gossanização de massas de sulfetos.

Deposição de carbonatos.

Dolomitização de calcários.

Lixiviação de Ca, Na, K, Mg e outros elementos solúveis.

Dissolução e precipitação de elementos sobre outra forma mineral: Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn e outros

Dissolução de elementos que permanecem em solução ou são absorvidos/adsorvidos por hidróxidos de Fe e Mn: As, Au, Co, Ni, Se

Dissolução e reprecipitação de elementos como Au, Pt, Pd

Precipitação de magnetita (Fe_3O_4), pirita (FeS_2) e outros.

Consequências para a Geologia Médica, Geologia Econômica e Biorremediação.

EVOLUÇÃO DA TERRA E DOS MINERAIS

- Fase I – Terra Nova** **4,6 ba**
Fusão de matéria recém agregada. Cerca de 250 minerais.
- Fase II – Terra Negra** **4,4 ba**
Basaltos predominam. Fusões, intrusões, vulcanismo, metamorfismo, vida e intemperismo levam à existência de cerca de 1.500 minerais
- Fase III – Terra Vermelha** **2,0 ba**
Grande oxidação a partir de fotossíntese por organismos. Mais de 2.000 novos minerais, muitos deles hidróxidos.
- Fase IV – Terra Branca** **0,7 ba**
Alternâncias de bolas de gelo (snow ball) e ciclos vulcânicos. Acumulação de oxigênio e grande expansão de seres vivos.
- Fase V – Terra Verde** **0,4 ba**
Colonização dos continentes. Intemperismo. Mais de 4.400 minerais.

“A maioria das espécies minerais deve sua existência a várias formas de vida”

Abundância de procariotes

AMBIENTE	NÚMERO DE CÉLULAS 10^{28}	CARBONO CONTIDO 10^9 t
Aquáticos	12	2,2
Sedimentos marinhos	355	303
Solos	26	26
Sedimentos continentais	25-250	22-215

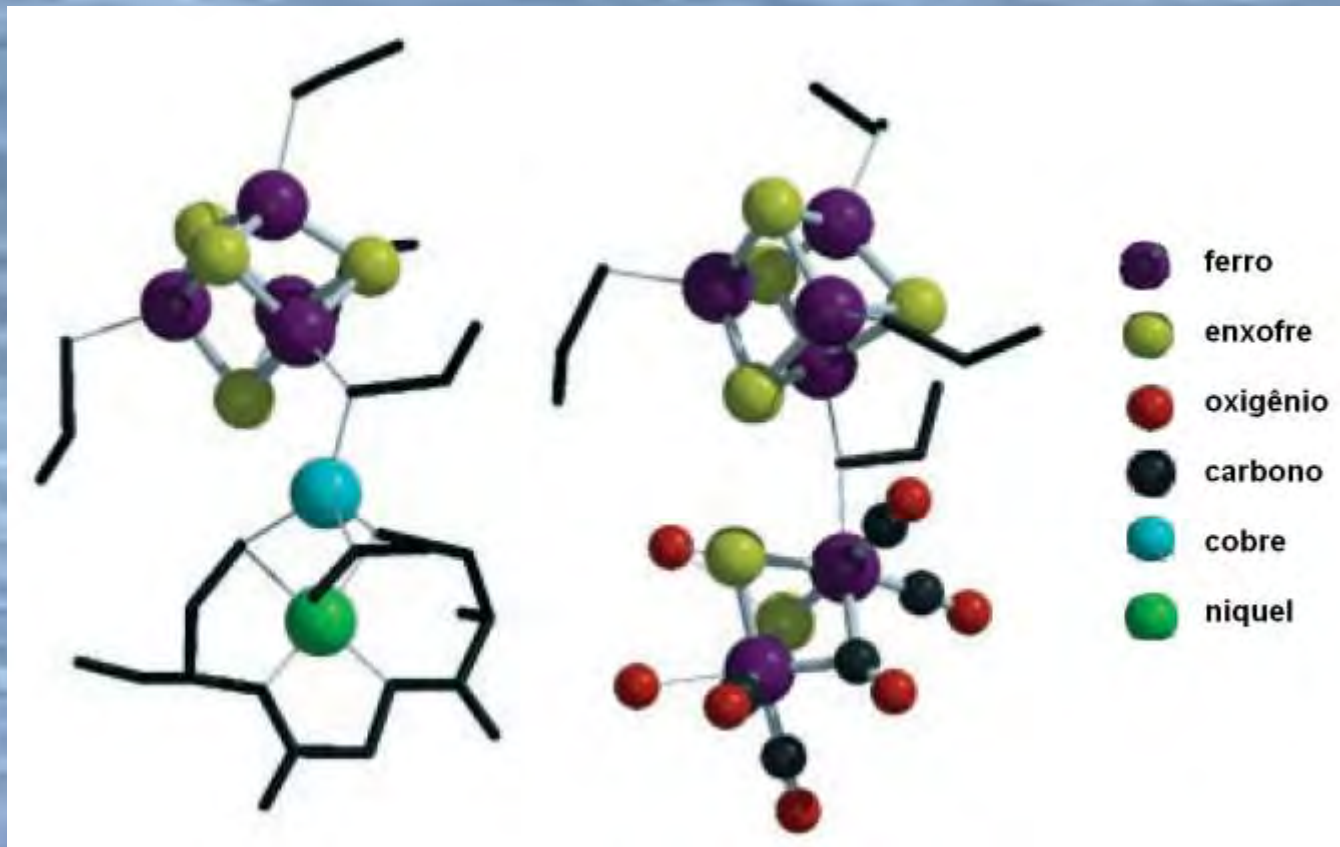
Whitman, W.B., Coleman D.C. e Wiebe W.J., em “*Prokaryotes: The unseen majority*”, *Proc. Natl. Acad. Sci USA*, vol 95, pg 6578-6583, 1998

“Os trilhões de micróbios vivendo conosco, no interior e por fora de um corpo humano médio, suplanta o número de células desse corpo na relação de 10:1.”

Finlay, B.B.; “*The art of bacterial warfare*”, em *Scientific American*, vol 302, pg 42-49, fev 2010

BIOLOGIA E METAIS

Metais essenciais à vida são levados às células em grupamentos metálicos de ferro-enxofre, transportados por metaloproteínas



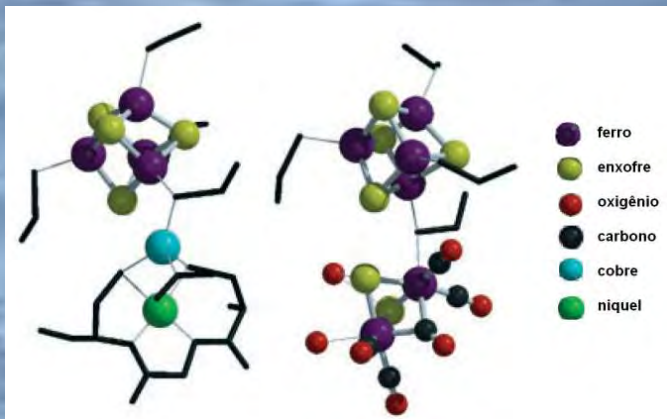
Rees D.C. e Howard, J.B.; *The Interface between the Biological and Inorganic Worlds: Iron-sulfur Metalloclusters*; Science 300, 2003

BIOLOGIA E METAIS

Os metais são transportados para todo o corpo, passando por membranas e atravessando citoplasma.

O transporte deve ser blindado e cuidadoso, para não haver perda dos metais ou reações com eles, e, nas células, a guarda deve ser segura, para evitar alterações e reações danosas ao organismo.

Se deixados sem controle, muitos dos metais podem catalisar reações oxidantes maléficas.



BIORREMEDIAÇÃO

Microrganismos, fungos e algumas plantas podem imobilizar e neutralizar produtos tóxicos de solos e águas, frequentemente transformando-os em produtos não tóxicos (hidrocarbonetos em CO_2 , por exemplo).

A ação dos microrganismos pode ser estimulada e acelerada com adição de nutrientes.

Em biorremediação dirigida, convém monitorar a evolução do processo.

Aplicado pelo USGS para contaminantes orgânicos (óleos, esgotos, pesticidas, solventes, fertilizantes etc.).

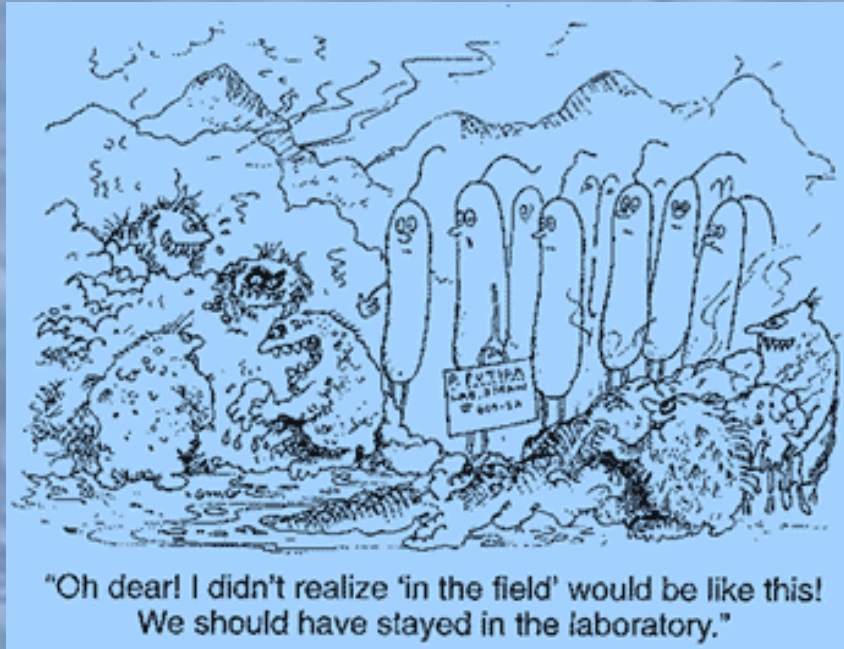
BIORREMEDIAÇÃO

Campo de trabalho em pleno crescimento.

Definição dos ambientes geológicos, hidrológicos, climáticos, geomorfológicos, habitacionais, temporais e outros dos ambientes contaminados a biorremediar.

Identificação dos melhores micróbios para biorremediar ambientes contaminados.

Definição das melhores condições de trabalho dos agentes biorremediantes.



**Do site do Bioremediation Discussion Group,
em <http://www.bioremediationgroup.org>.**



Wilson Scarpelli
wiscar@terra.com.br

Geólogo
Geologia USP 1960
Grupo Figueira da Glete