

Ecologia (microbiana) do solo (microrganismos e elementos-traço)

Prof. Dr. Marco Antonio Nogueira
Universidade Estadual de Londrina
CCB/Depto. de Microbiologia
Laboratório de Ecologia Microbiana
(tel. 43 3371 4791; nogueira@uel.br)

São Paulo

Abril 2009

O solo na visão simplista

- ✓ “Parte superficial, não consolidada, do manto do intemperismo, a qual encerra matéria orgânica e vida bacteriana, e possibilita o desenvolvimento das plantas.”

(Aurélio Buarque de Holanda Ferreira)

O solo na visão do microbiologista

- ✓ Ambiente microbiológico, um meio de cultura complexo com as mais variadas interações entre seus habitantes:
 - Neutralismo, Comensalismo, Protocooperação (=sintrofismo / sinergismo), Simbiose mutualística, Simbiose antagônica (parasitismo).
- ✓ Cada organismo do solo funciona como um órgão em um animal, excretando e removendo substâncias do ambiente, modificando-o. (Quastel, 1946)

Microrganismos na formação do solo



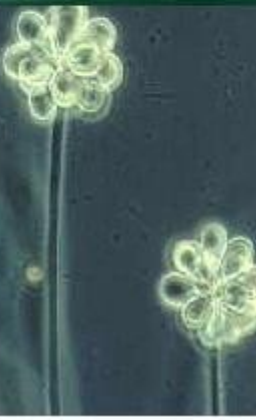
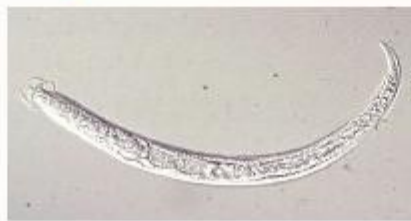
Mecanismos: Ácidos orgânicos; CO_2 .

Entrada de N e C (possibilita o estabelecimento de outras formas de vida).

Solo: Diversidade

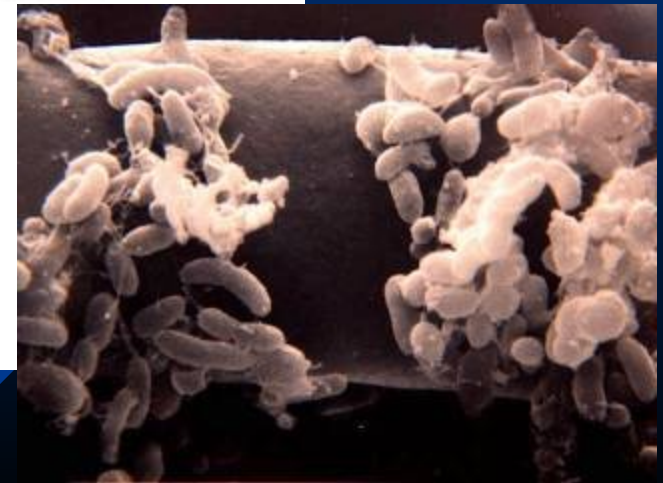
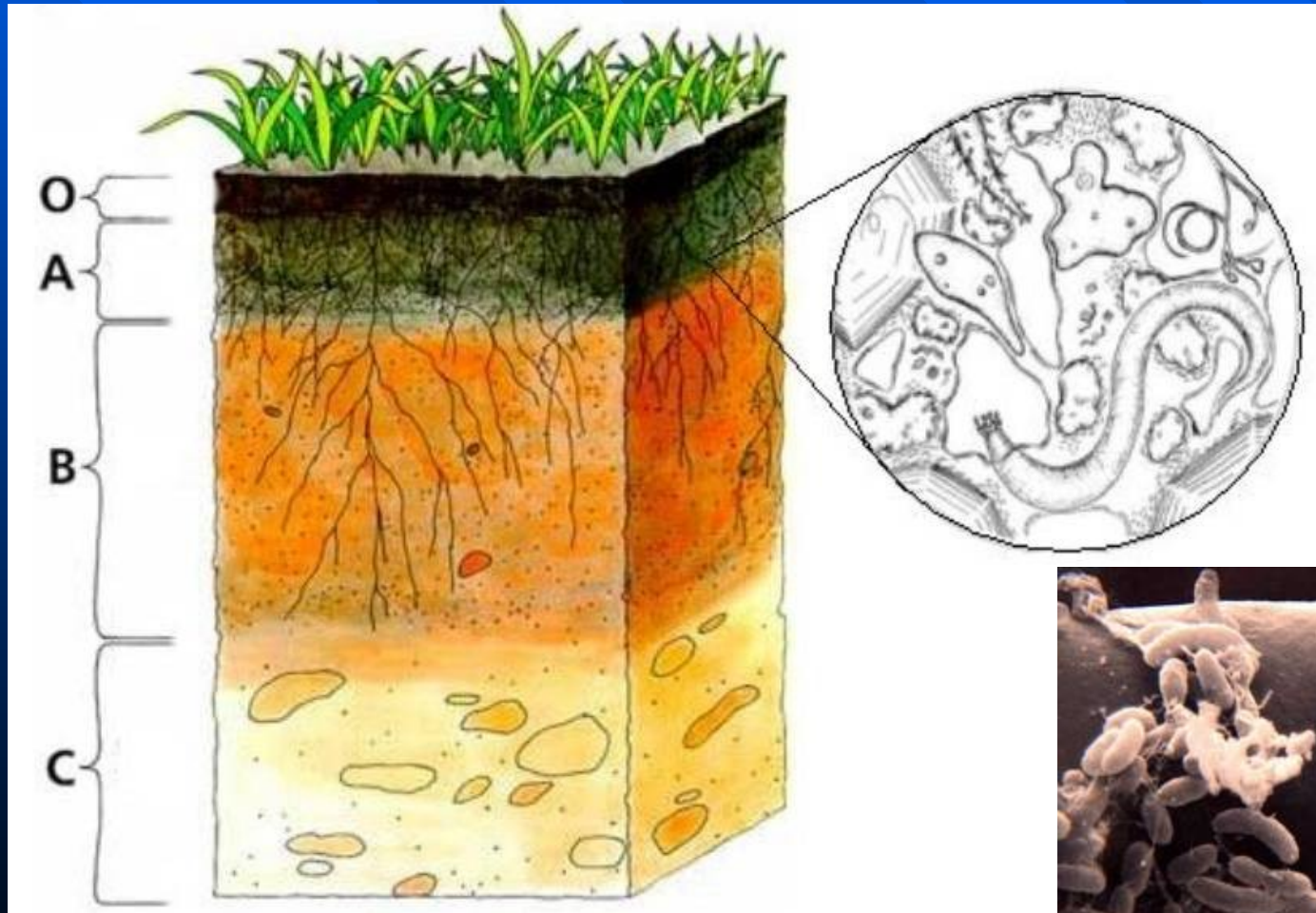


1 m² de solo
>10.000 espécies
microbianas
> 100-1000
espécies de
invertebrados



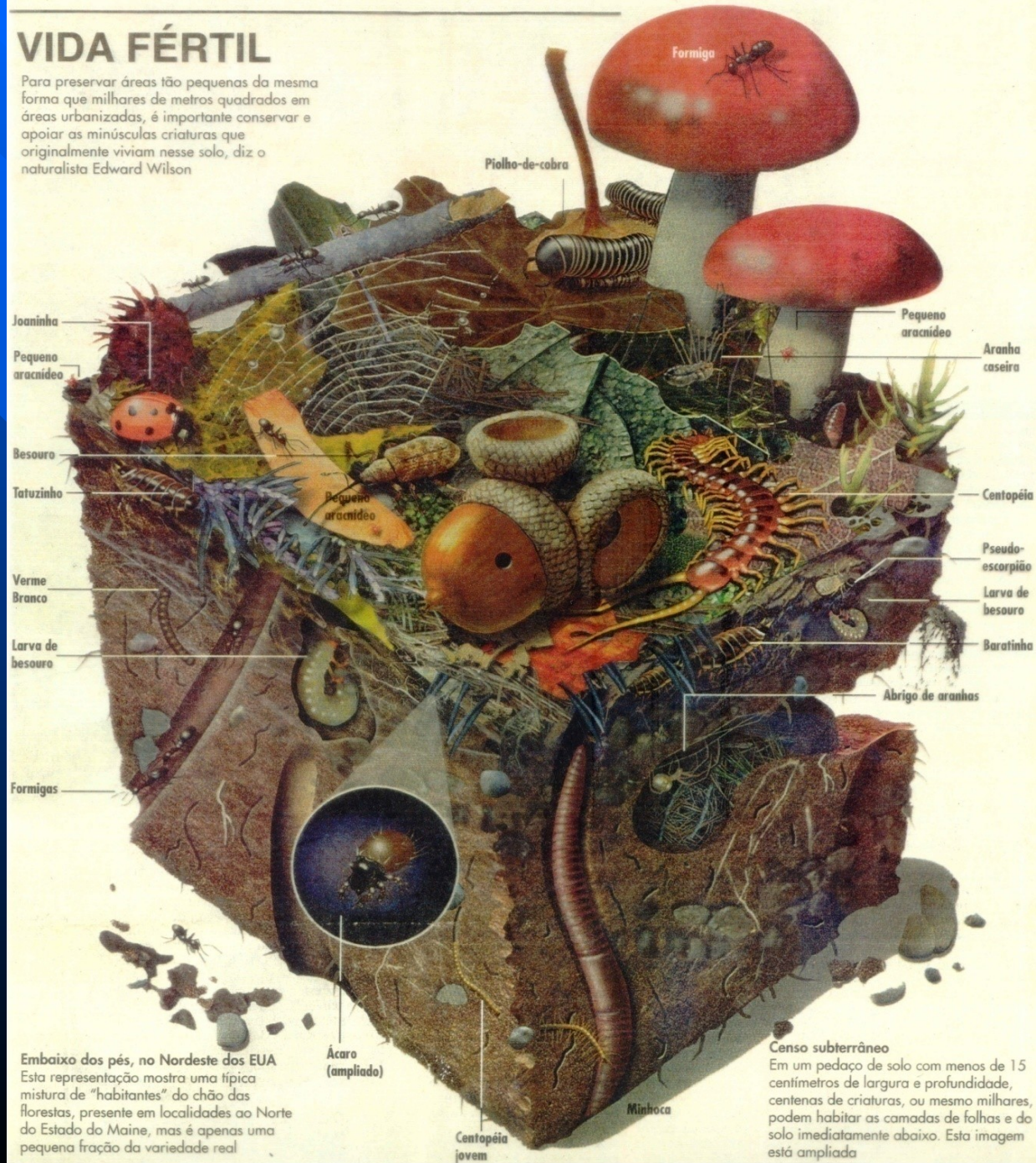
**Em 1 g de terra: número de microrganismos
equivalente a população do planeta: atividade.**

(Doran et al., 1996)



VIDA FÉRTIL

Para preservar áreas tão pequenas da mesma forma que milhares de metros quadrados em áreas urbanizadas, é importante conservar e apoiar as minúsculas criaturas que originalmente viviam nesse solo, diz o naturalista Edward Wilson

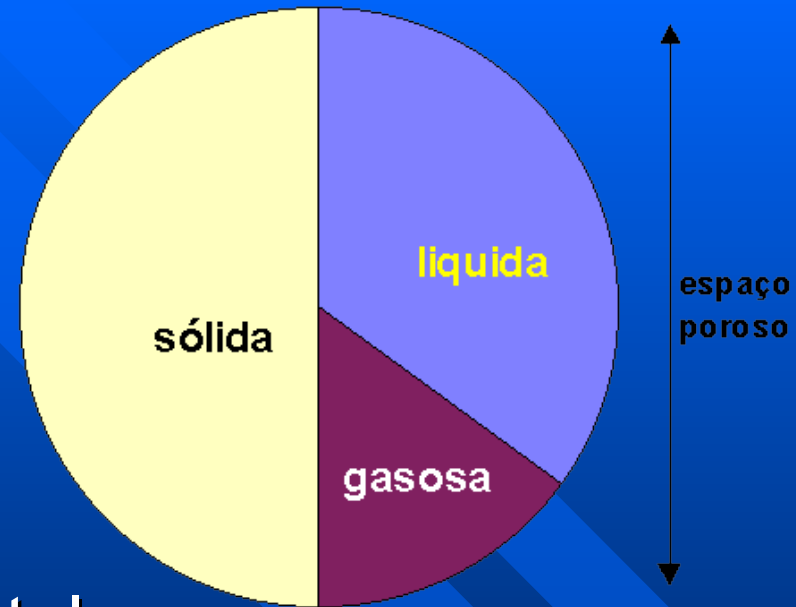


Embaixo dos pés, no Nordeste dos EUA
Esta representação mostra uma típica mistura de "habitantes" do chão das florestas, presente em localidades ao Norte do Estado do Maine, mas é apenas uma pequena fração da variedade real

Censo subterrâneo

Em um pedaço de solo com menos de 15 centímetros de largura e profundidade, centenas de criaturas, ou mesmo milhares, podem habitar as camadas de folhas e do solo imediatamente abaixo. Esta imagem está ampliada

Solo: sistema de três fases



- ✓ Recurso natural fundamental;
- ✓ Solo saudável x sustentabilidade de agroecossistemas e sistemas naturais;
- ✓ Vulnerável: 100-400 anos para formar 1 cm;
- ✓ “O solo é um sistema vivo, dinâmico e complexo, vital para o funcionamento dos ecossistemas terrestres.”

(Doran et al., 1996)

Funções do solo

- ✓ Propiciar desenvolvimento vegetal, microbiano e animal;
- ✓ Regulador do ciclo hidrológico;
- ✓ Atuar como tampão e depurador por imobilizar e degradar compostos potencialmente prejudiciais ao ambiente.

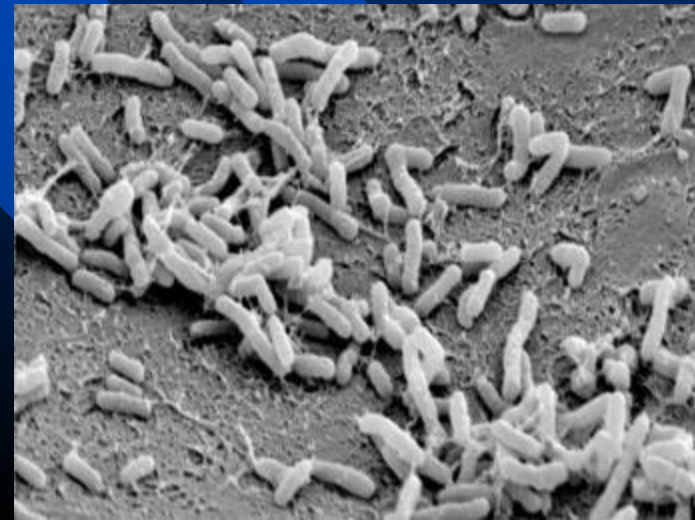


Microrganismos do solo como patógenos...

Microrganismo	Algumas características	Efeito
<i>Bacillus anthracis</i>	G (+), aeróbico, bastonete esporulante	Antraz
<i>Clostridium botulinum</i>	G (+), anaeróbico, bastonete esporulante	Botulismo
<i>Clostridium perfringens</i>	G (+), anaeróbico, bastonete esporulante	Gangrena gasosa
<i>Clostridium tetani</i>	G (+), anaeróbico, bastonete esporulante	Tétano
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	G (-), aeróbico, bast. não-esporulante	Infecções
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Deuteromiceto, filamentosos, septado	Pulmões, micoses
<i>Aspergillus flavus</i>	Deuteromiceto, filamentosos, septado	Aflatoxina

Agrobacterium tumefaciens

Bastonete reto, móvel (1-6 flagelos), Gram (-), patogenicidade devida a plasmídios específicos.



Erwinia sp.

Bastonete reto, móvel por flagelos peritríqueos, Gram (-), anaeróbio facultativo, produtor de enzimas pectinolíticas (podridões moles).

A

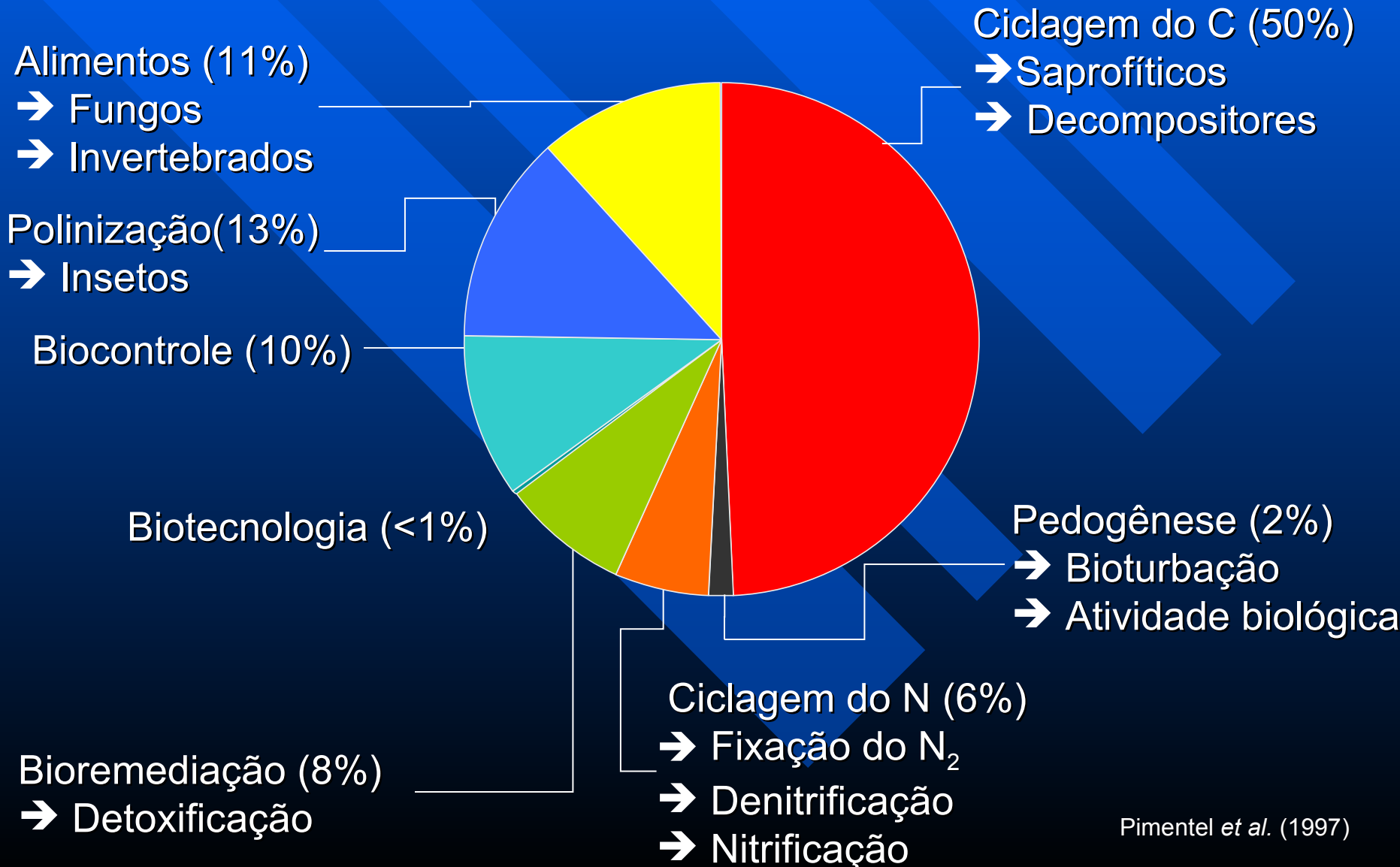


... mas os efeitos benéficos são maiores!!

- ✓ Ciclos biogeoquímicos (ciclagem de C e nutrientes: sustentabilidade da vida na Terra);
- ✓ Seqüestro de carbono (imobilização no solo);
- ✓ Interações planta-microrganismos (simbioses);
- ✓ Degradação de substâncias xenobiontes;
- ✓ Controle biológico;
- ✓ Biorremediação;
- ✓ Fonte de recursos para a engenharia genética.

Valor dos serviços ambientais

> 1000 bilhões de U\$



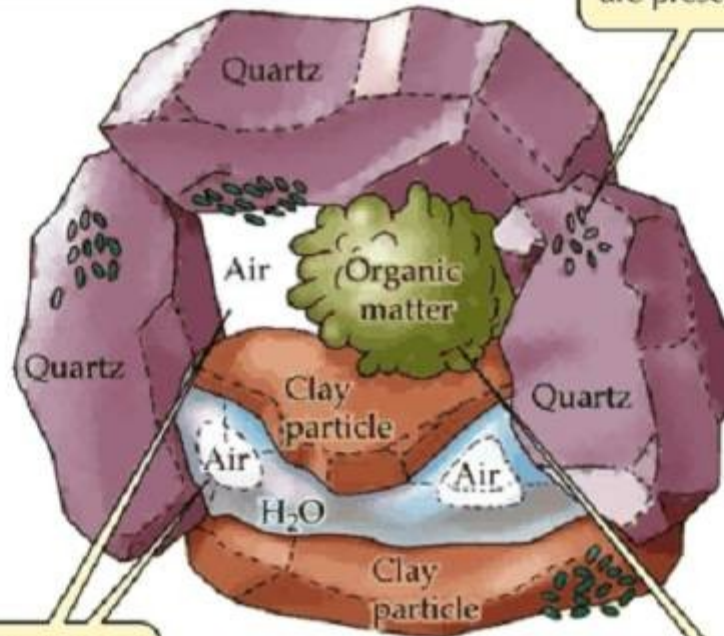
Principais grupos microbianos

Grupo	Exemplo	Nº g ⁻¹ solo	Biomassa (kg ha ⁻¹)
Vírus	TMV	10 ¹⁰ -10 ¹¹	
Bactérias	<i>Pseudomonas</i>	10 ⁸ -10 ⁹	300-3000
Actinomicetos	<i>Streptomyces</i>	10 ⁷ -10 ⁸	300-3000
Fungos	<i>Aspergillus</i>	10 ⁵ -10 ⁶	500-5000
Algas	<i>Chlorella</i>	10 ³ -10 ⁶	10-1500
Protozoários	<i>Euglena</i>	10 ³ -10 ⁵	5-200
TOTAL	-		1115-12700

Soil microhabitats

Soil consists of more than inorganic mineral particles such as clay and quartz.

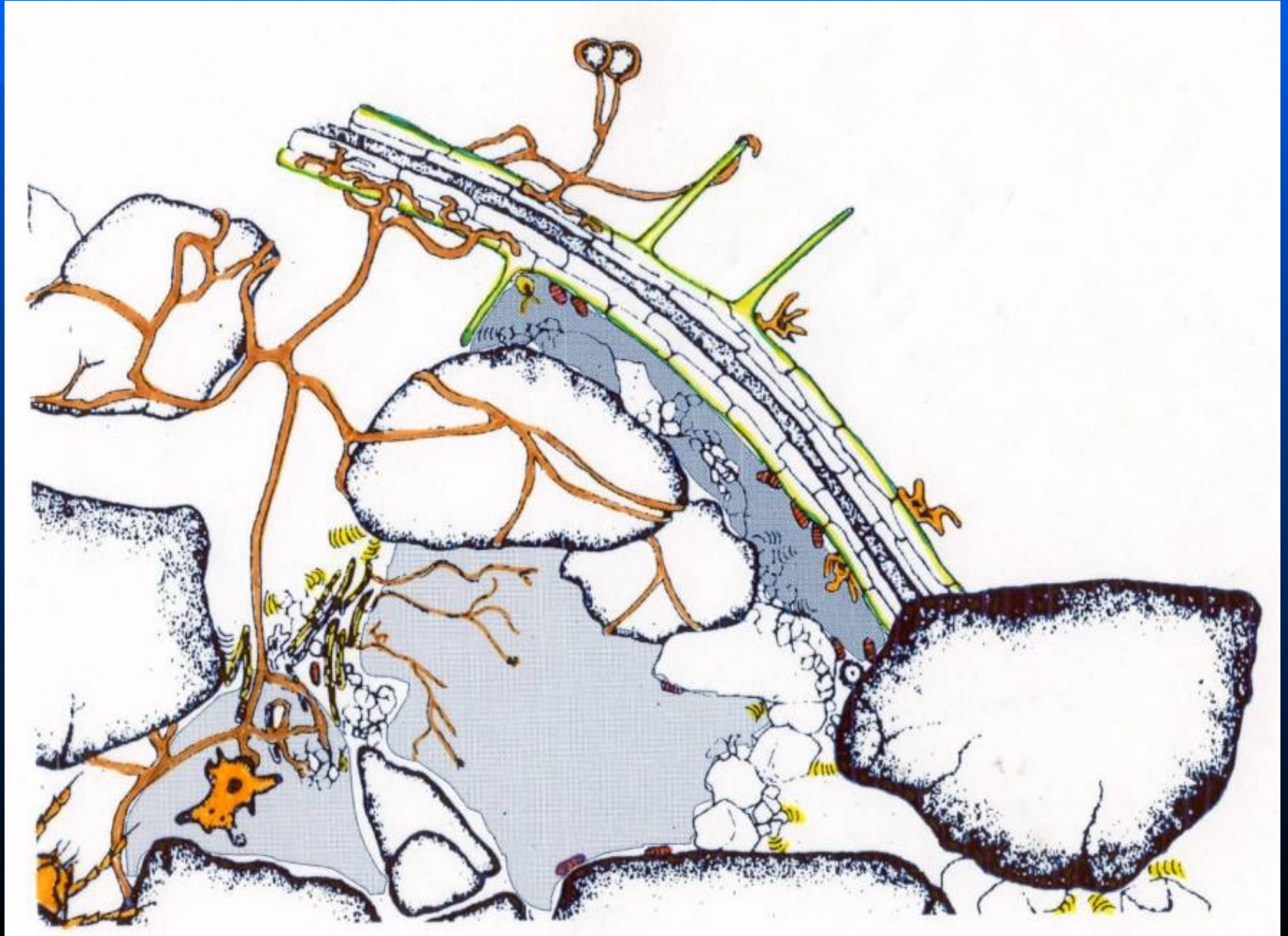
Living organisms such as bacteria are present.



Air and water are present in pores in soil crumbs like this one.

Organic matter (from plants, animals, and fungi) can also be found.

Os microhabitats



Os microhabitats

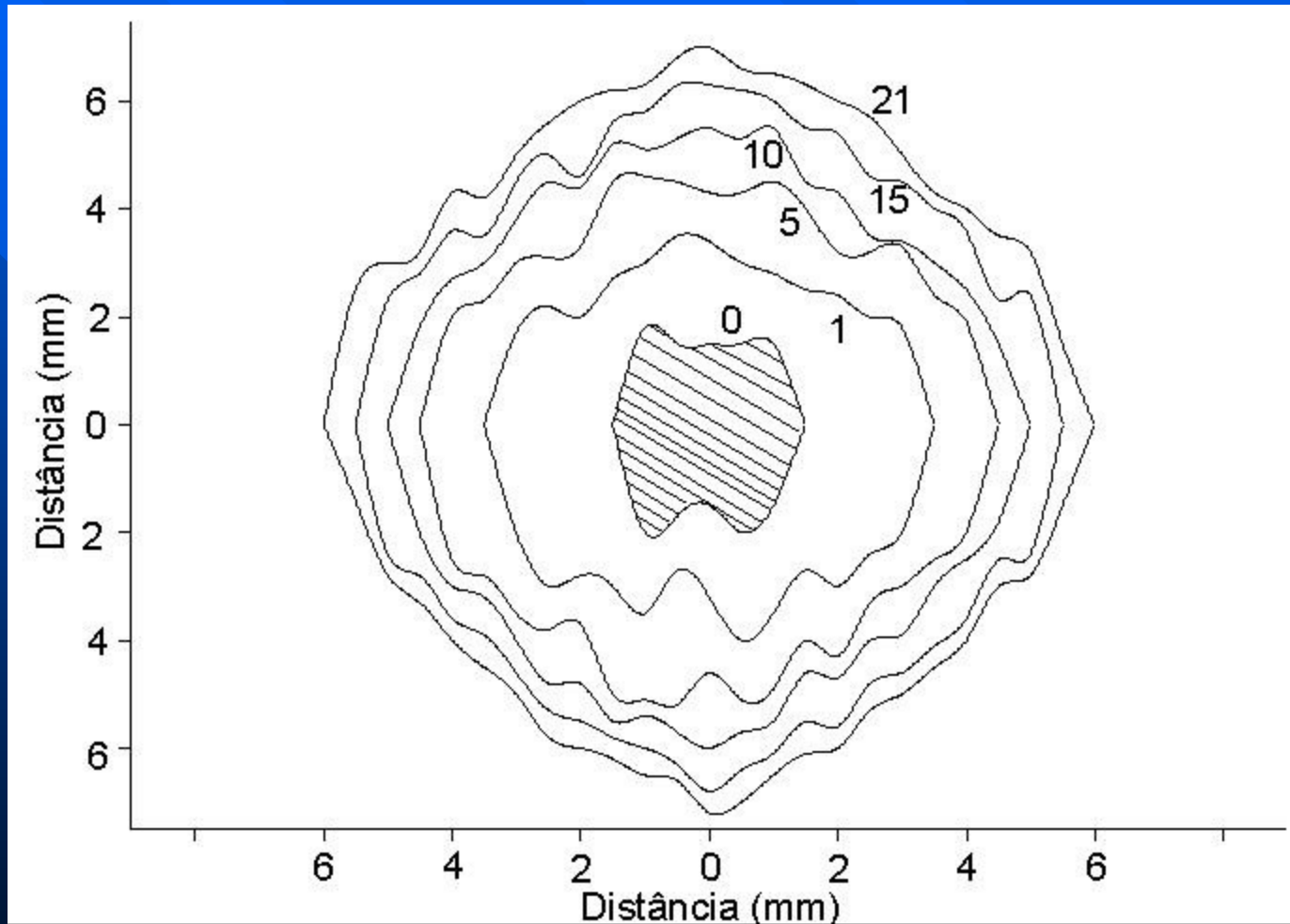
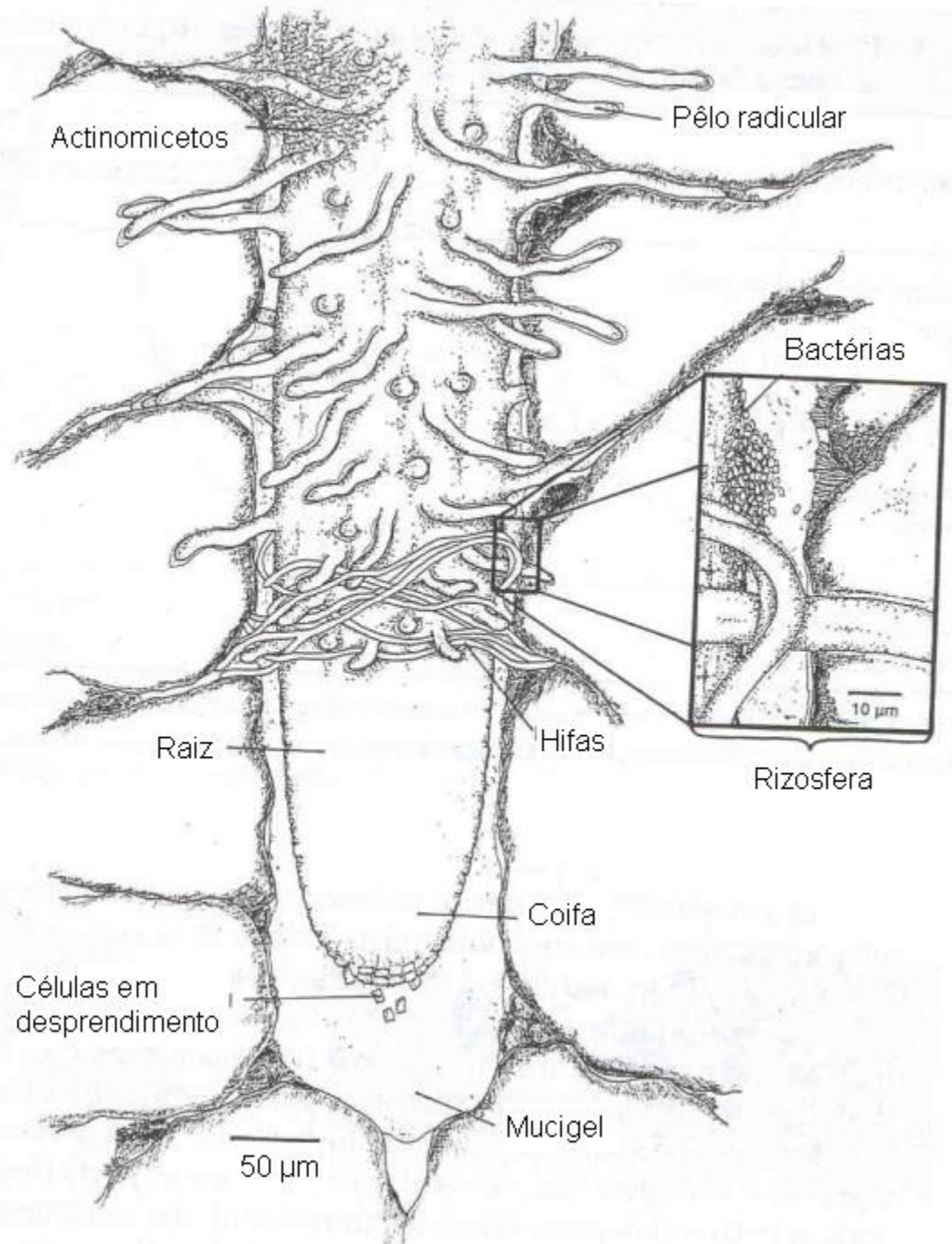


Diagrama ilustrando as concentrações (%) de O_2 ao redor de uma partícula de solo. Em termos de exigências de O_2 para diversos grupos microbianos, pode-se dizer que cada região delimitada por uma isolinha representa um microhabitat (Andrade & Nogueira, 2005)

A rizosfera

A atividade microbiana na rizosfera é muito maior na rizosfera;

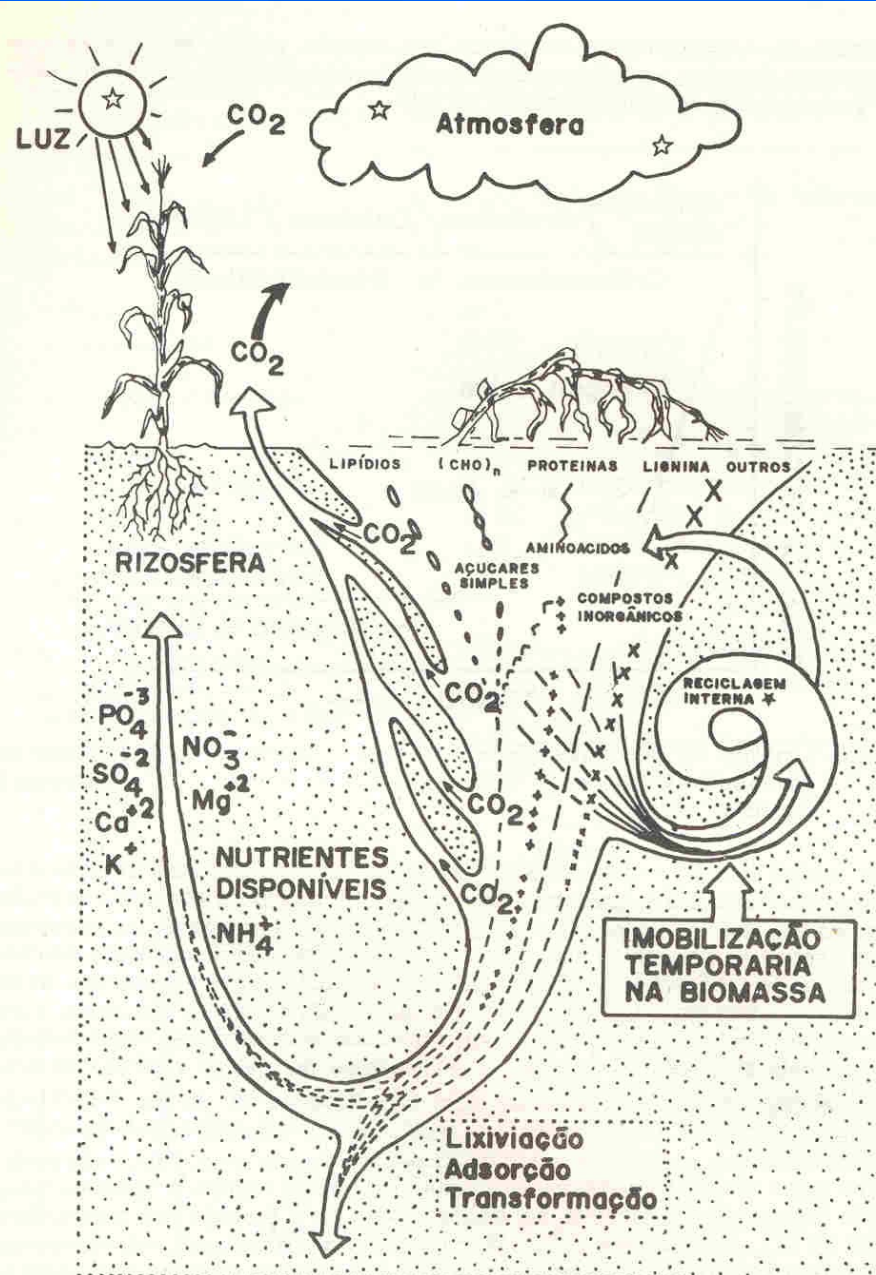
Assim, a presença de plantas é fundamental para estímulo da atividade microbiana do solo,



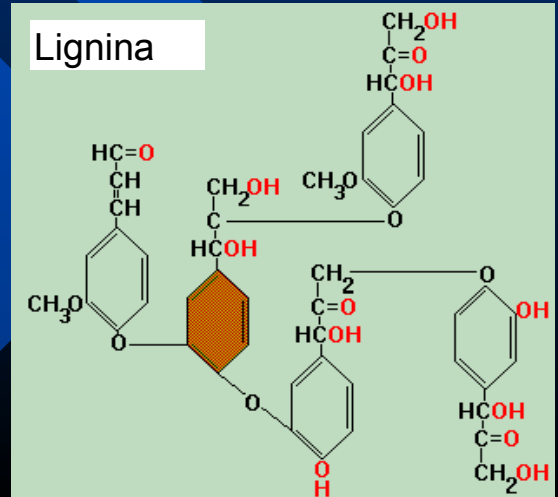
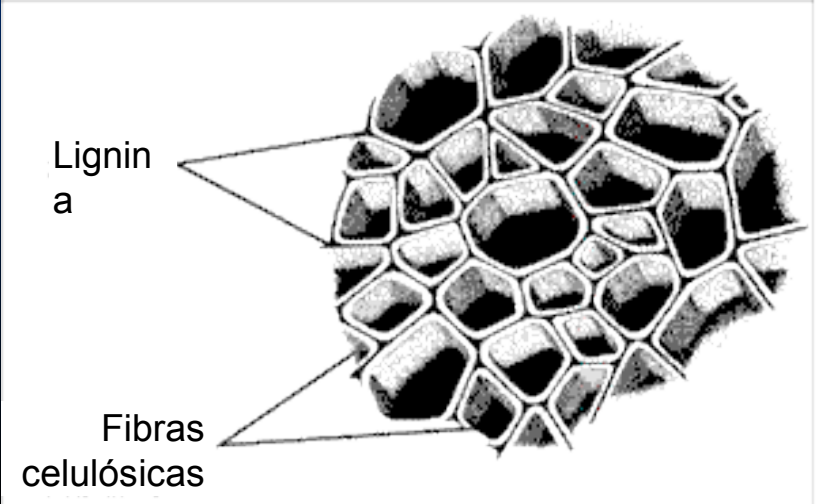
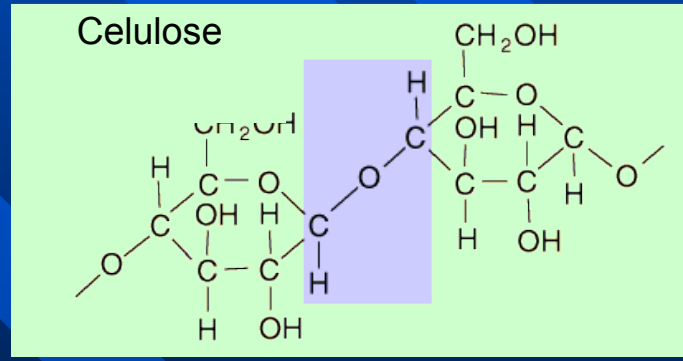
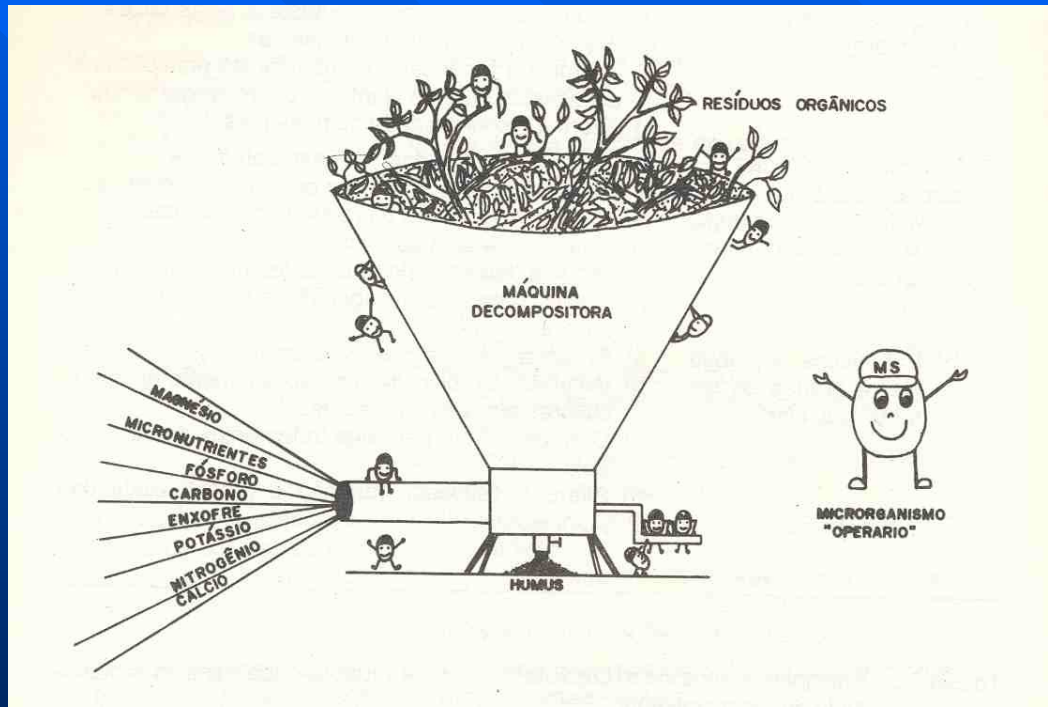
A relação rizosfera/solo (R/S)

Comunidade	Rizosfera (log UFC/g)	Solo (log UFC/g)	Relação R/S
Grupo taxonômico			
Bactérias	9,08	7,70	24,0
Actinomicetos	7,66	6,85	6,6
Fungos	6,08	5,00	12,0
Protozoários	3,38	3,00	2,4
Microalgas	3,70	4,43	0,2
Grupo funcional			
Amonificantes	8,70	6,60	125,0
Anaeróbios produtores de gás	5,59	4,48	13,0
Anaeróbios	7,08	6,78	2,0
Desnitrificadores	8,10	5,00	1260,0
Celulolíticos aeróbios	5,85	5,00	7,0
Celulolíticos anaeróbios	3,95	3,48	3,0
Formadores de esporos	5,97	5,76	1,6

Entrada de C no solo e humificação



Microrganismos do solo: a máquina decompositora



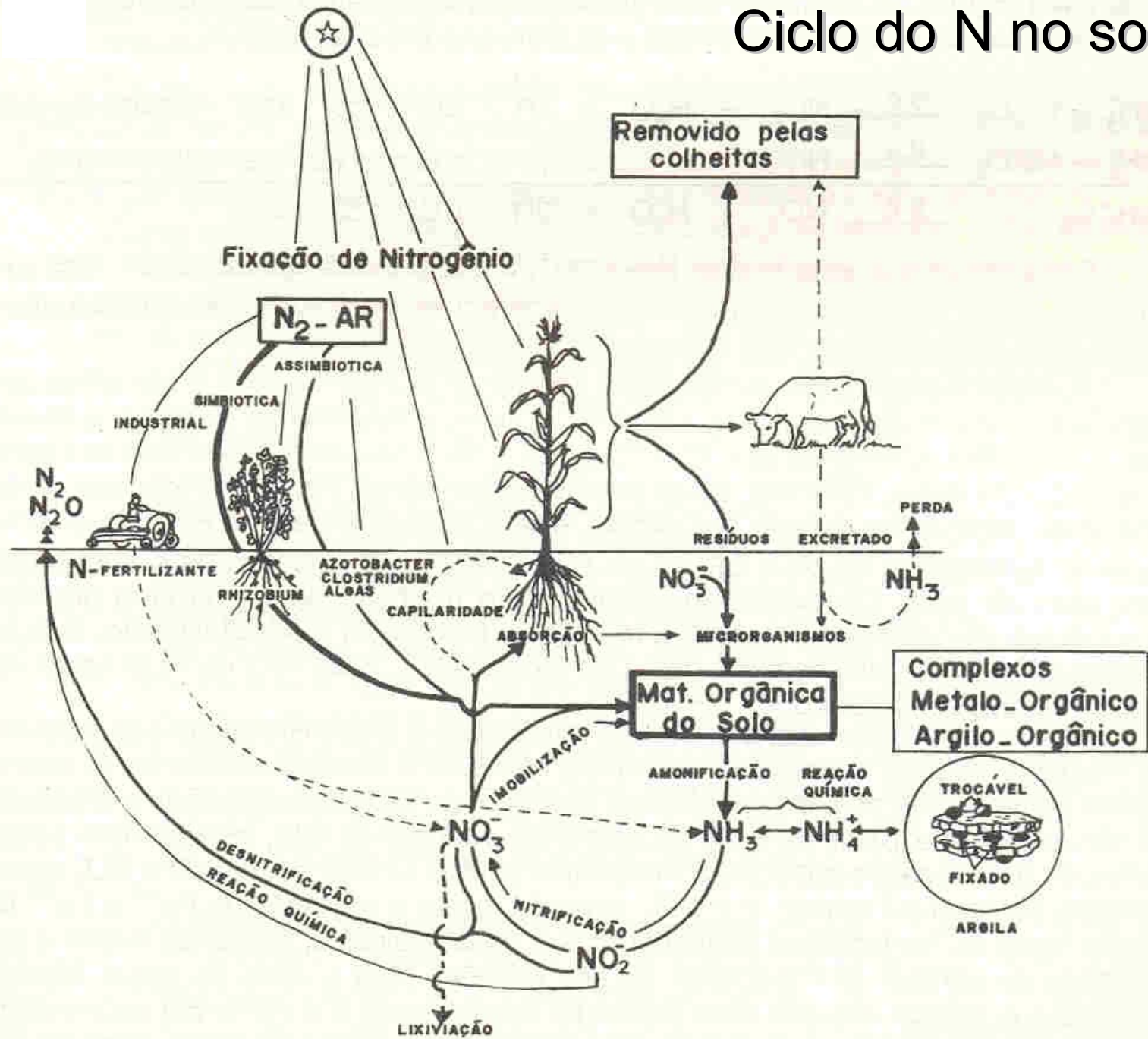
Microrganismos do solo: a máquina decompositora



Ciclagem do N

- ✓ Dos elementos que circulam entre solo-planta-atmosfera, é o que mais sofre transformações bioquímicas.
- ✓ Principais microrganismos envolvidos nas transformações do N:
 - Fungos: **mineralização** do N orgânico
 - Bactérias: além da mineralização, também atuam na **nitrificação**, **desnitrificação** e **fixação biológica**.

Ciclo do N no solo



Fixação biológica do N



Nódulos em raízes



**Nódulos em caule de
*Aeschynomene
afraspera***

Fixação biológica de N em soja



Esquerda – inoculada
Direita – não-inoculada



Fundo – inoculada
Frente – não-inoculada

Ciclagem do P: solubilização



Controle

A= 6,0



Aspergillus

A= 1390,0



Xanthomonas

A= 33,0



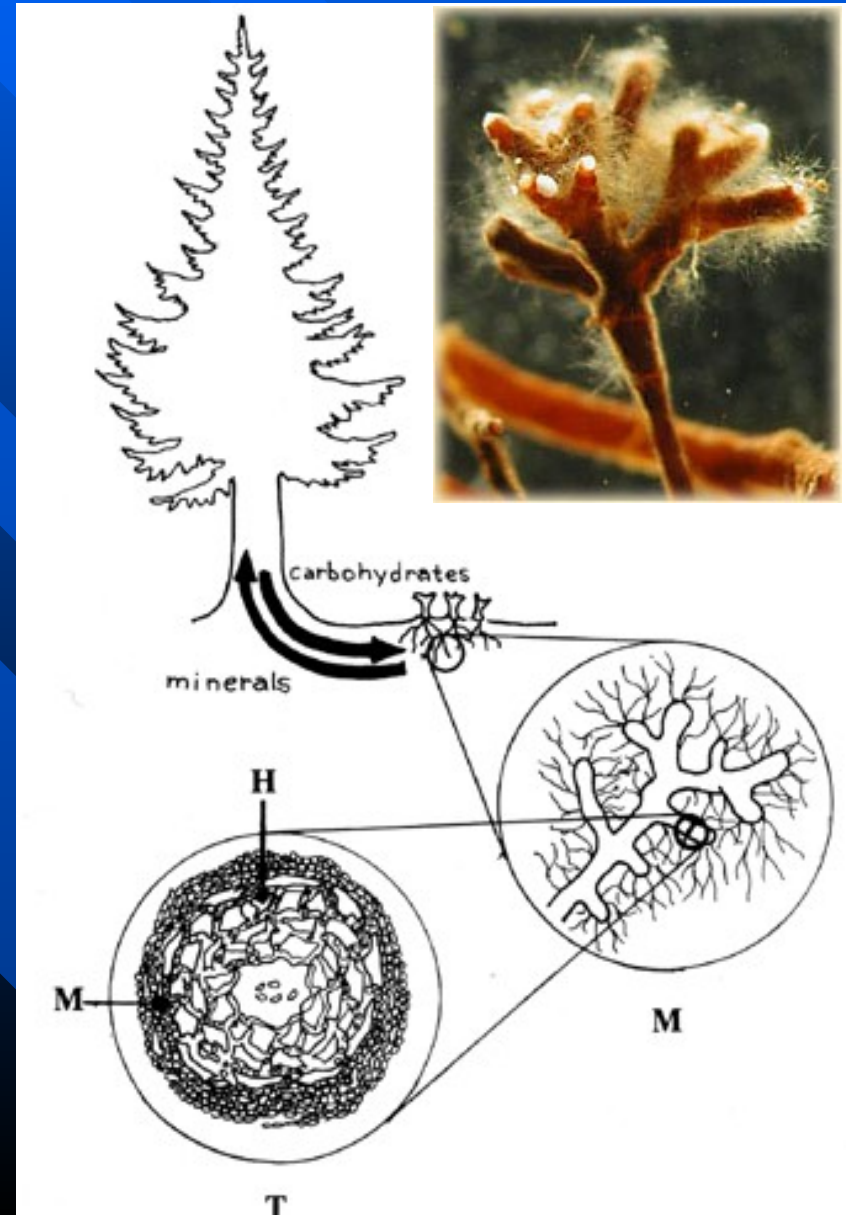
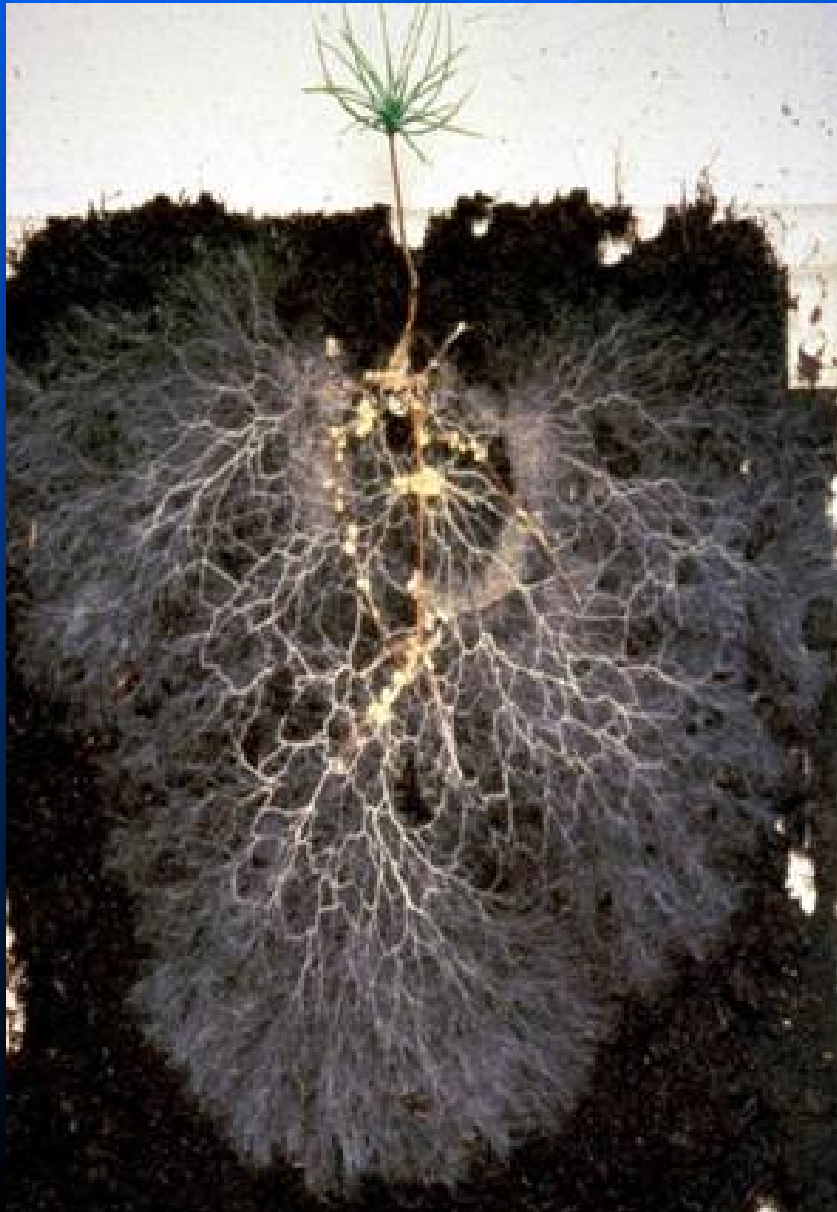
Rhizopus

A= 271,0

Ciclagem do P: solubilização



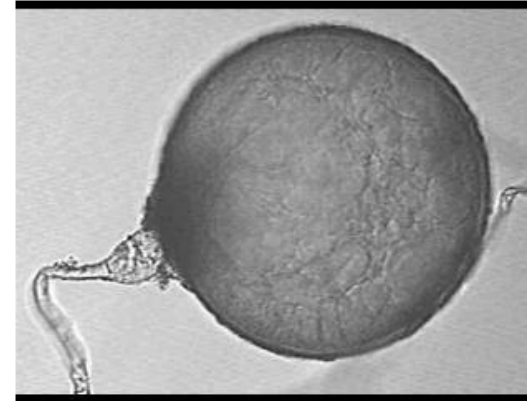
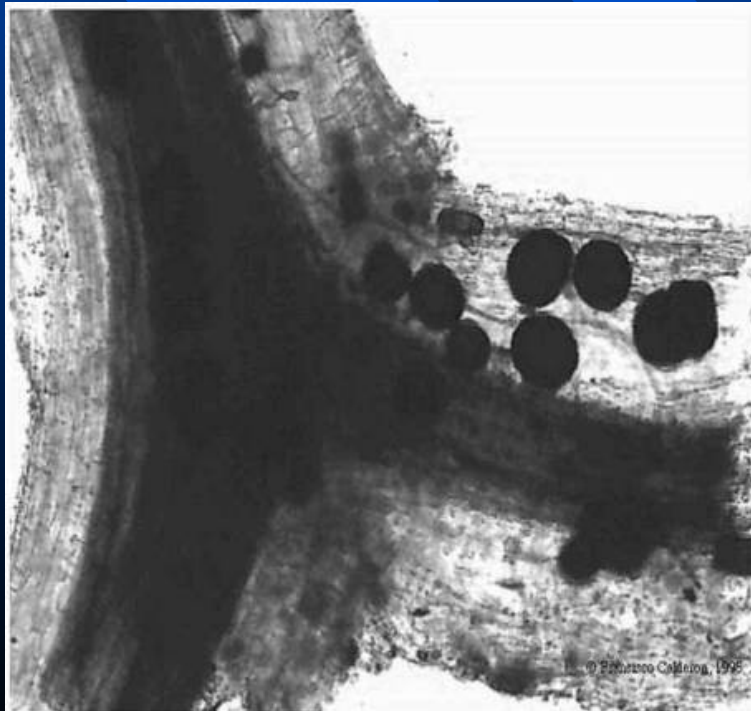
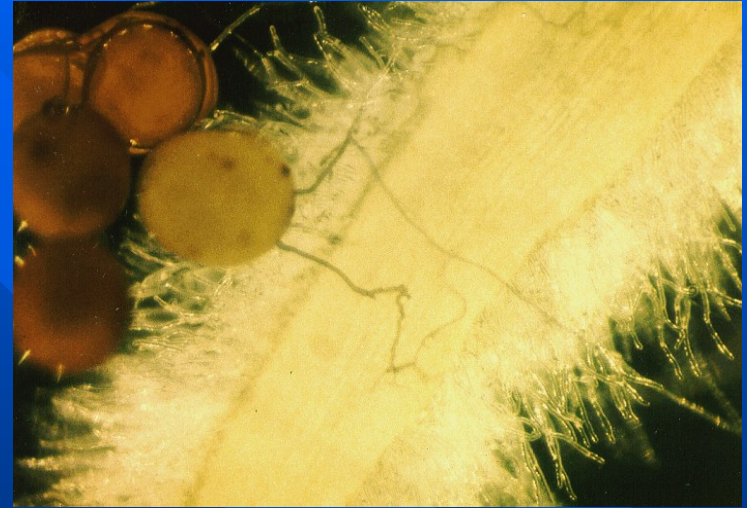
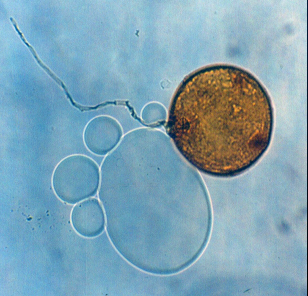
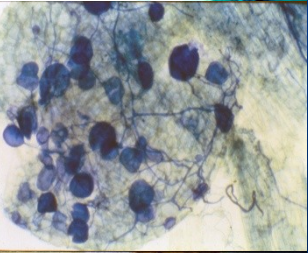
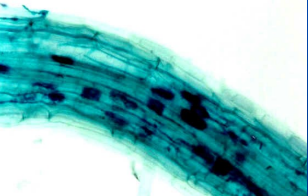
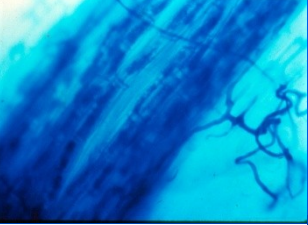
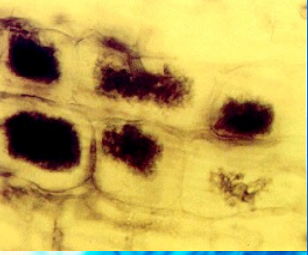
Micorrizas: Ectomicorrizas



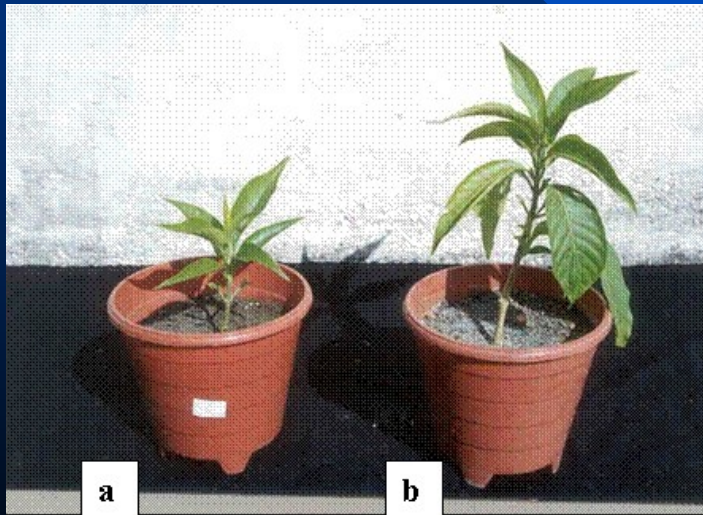
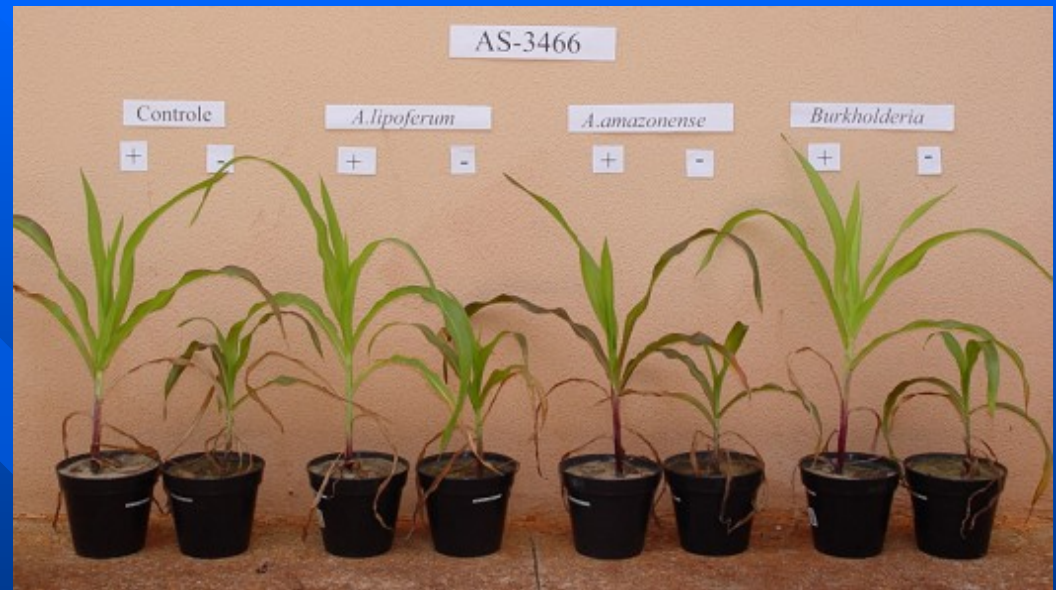
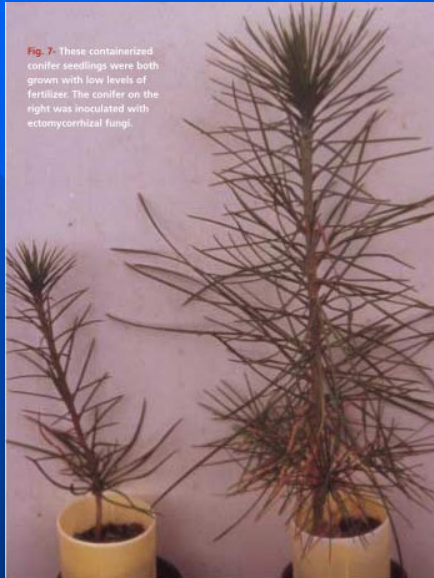
Micorrizas: Ectomicorrizas



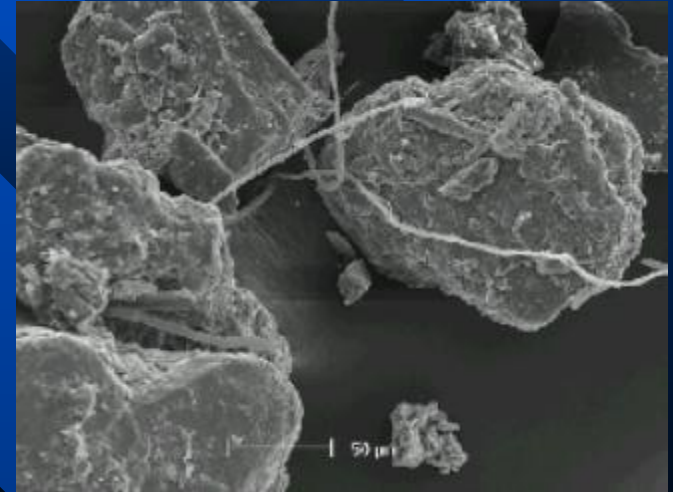
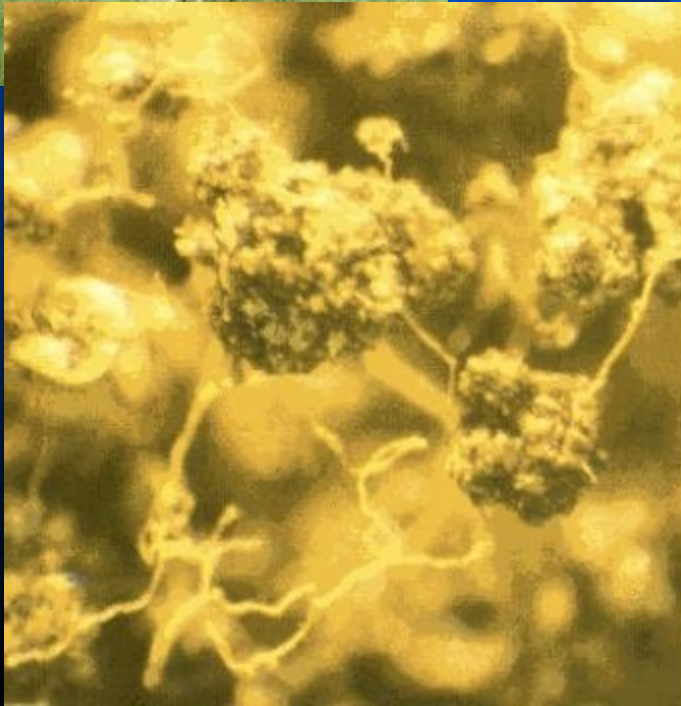
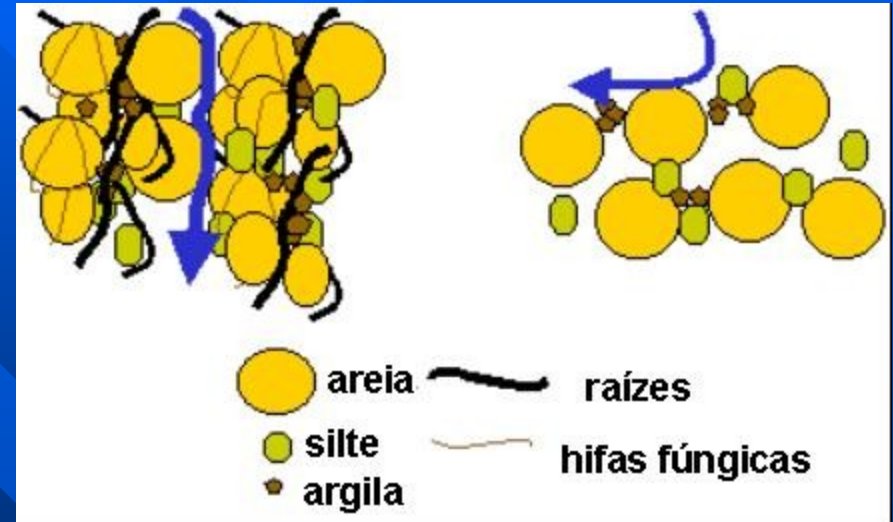
Micorrizas: Endomicorrizas



Efeito nas plantas



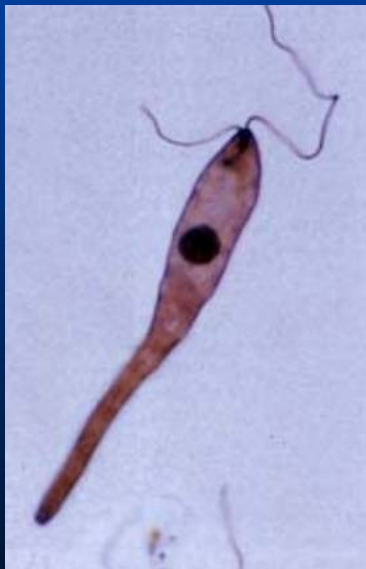
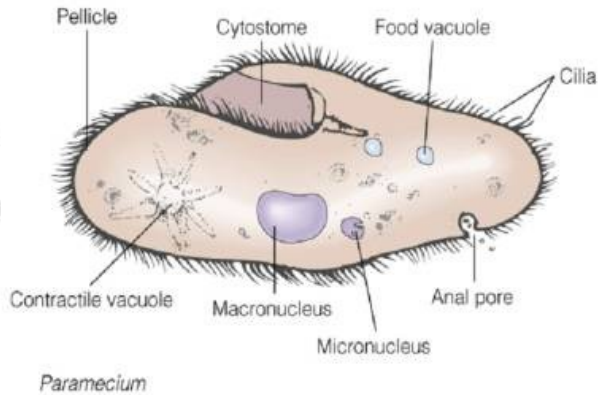
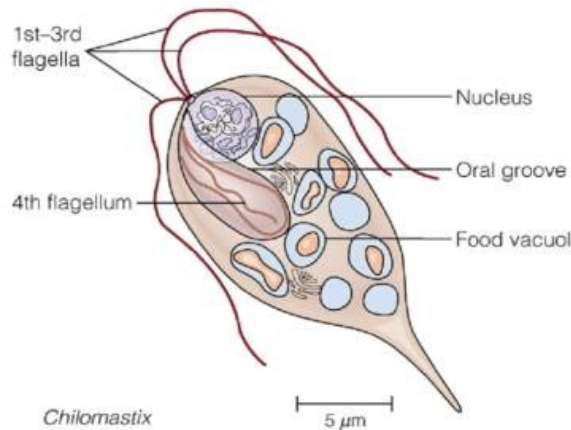
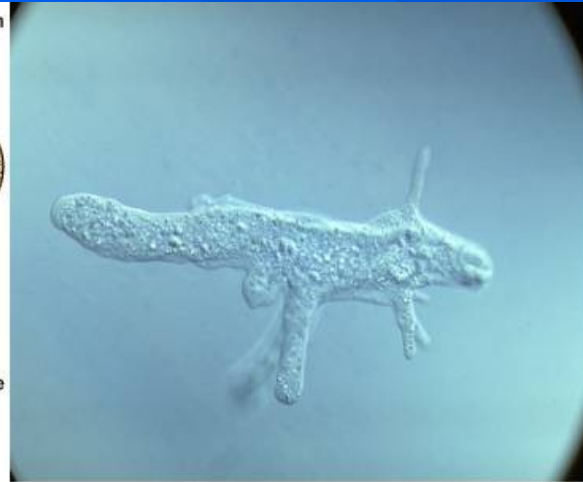
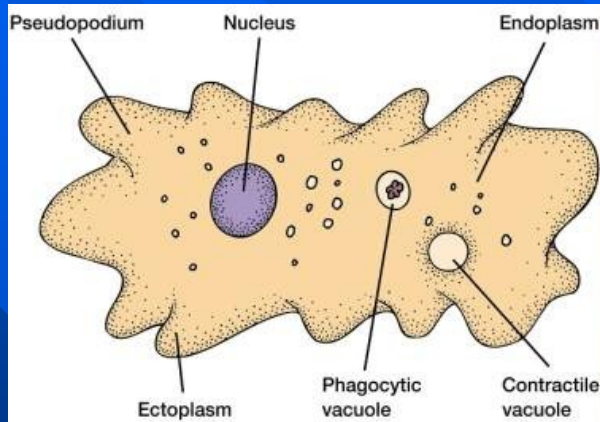
Fungos filamentosos e estabilização de agregados do solo



Algas no solo



Protozoários no solo



Ação Antrópica x microrganismos

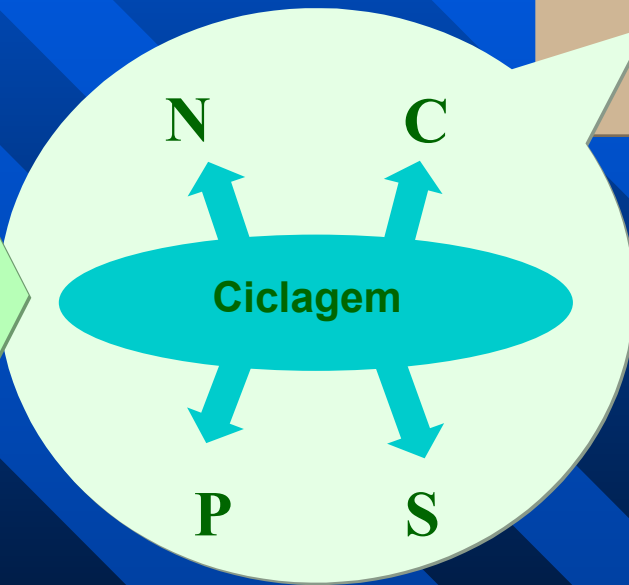


Indicadores

**Efeitos na
comunidade
microbiana
do solo**



Ação Antrópica



Indicadores de distúrbios

Ação Antrópica

Nível de
atividade
biológica
no solo

Desidrogenase

Respirometria

Biomassa Microbiana

Quociente metabólico (qCO_2)

Ocorrência e atividade

melhor
entendimento dos
efeitos das ações
antrópicas sobre a
sustentabilidade
do ambiente.

Ação Antrópica e elementos-traço: Entradas no solo

- ✓ Ocorrência natural, presentes no material de origem;
- ✓ Atividade agrícola;
- ✓ Mineração;
- ✓ Atividades industriais;
- ✓ Atividades urbanas.

Excesso de elementos-traço e microrganismos

TABELA . Densidade de esporos, índices de diversidade de FMA's e concentrações de Cd e Zn no solo em diferentes locais contaminados pela deposição de resíduos da mineração de Zn (Klauberg Filho et al., 2002).

Local ⁽²⁾	esporos nº./50g	Índices de diversidade ⁽¹⁾			Elementos-traço	
		RQ	H'	Ds	Zn	Cd
-----mg kg ⁻¹ -----						
BM2	335 a	3,8 a	0,30 ab	0,61 ab	4.146 d	18 b
NA	50 ab	4,0 a	0,42 a	0,44 b	6.055 c	90 a
BM1	35 bc	3,0 a	0,36 a	0,48 b	13.309 b	90 a
BD	8 c	1,2 b	0,10 b	0,82 a	16.080 a	39 ab

⁽¹⁾ RQ= riqueza de espécies; H'= diversidade de Shanon-Wiener; DS= dominância de Simpson

⁽²⁾ AN= *Andropogon* sp.; BD= *Brachiaria decumbens*; BM= *Braquiaria mutica*. Médias seguidas por diferentes letras, na mesma coluna, são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P≤0,05).

Excesso de elementos-traço e microrganismos

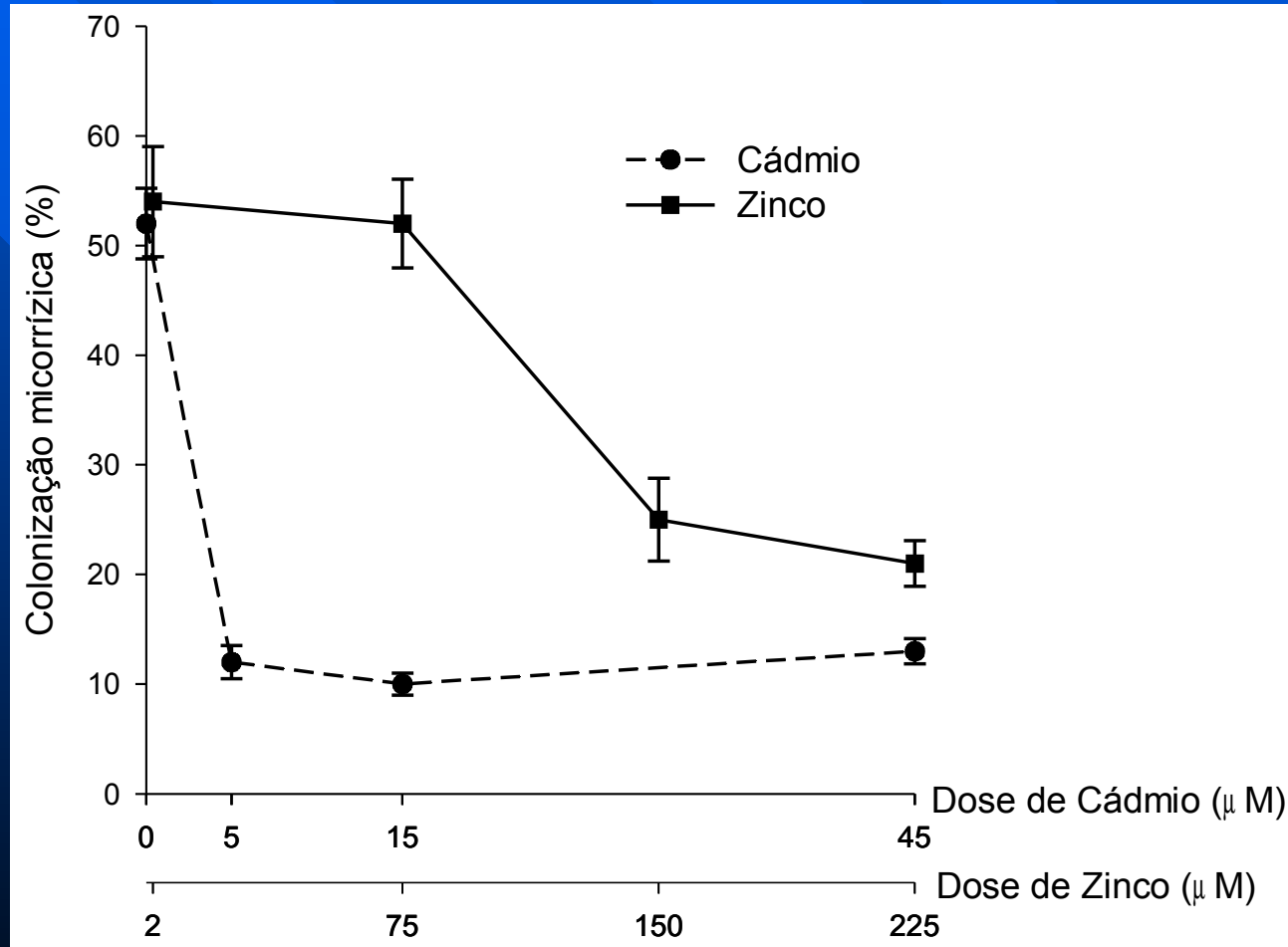


FIGURA . Mudança na colonização de mudas de *Trema micrantha* pré-colonizadas com *G. etunicatum* após 40 dias de crescimento em solução nutritiva contendo doses crescentes de Cd e Zn (compilado de Soares et al., 2006 e 2007).

Micorrizas: proteção contra o excesso de elementos-traço

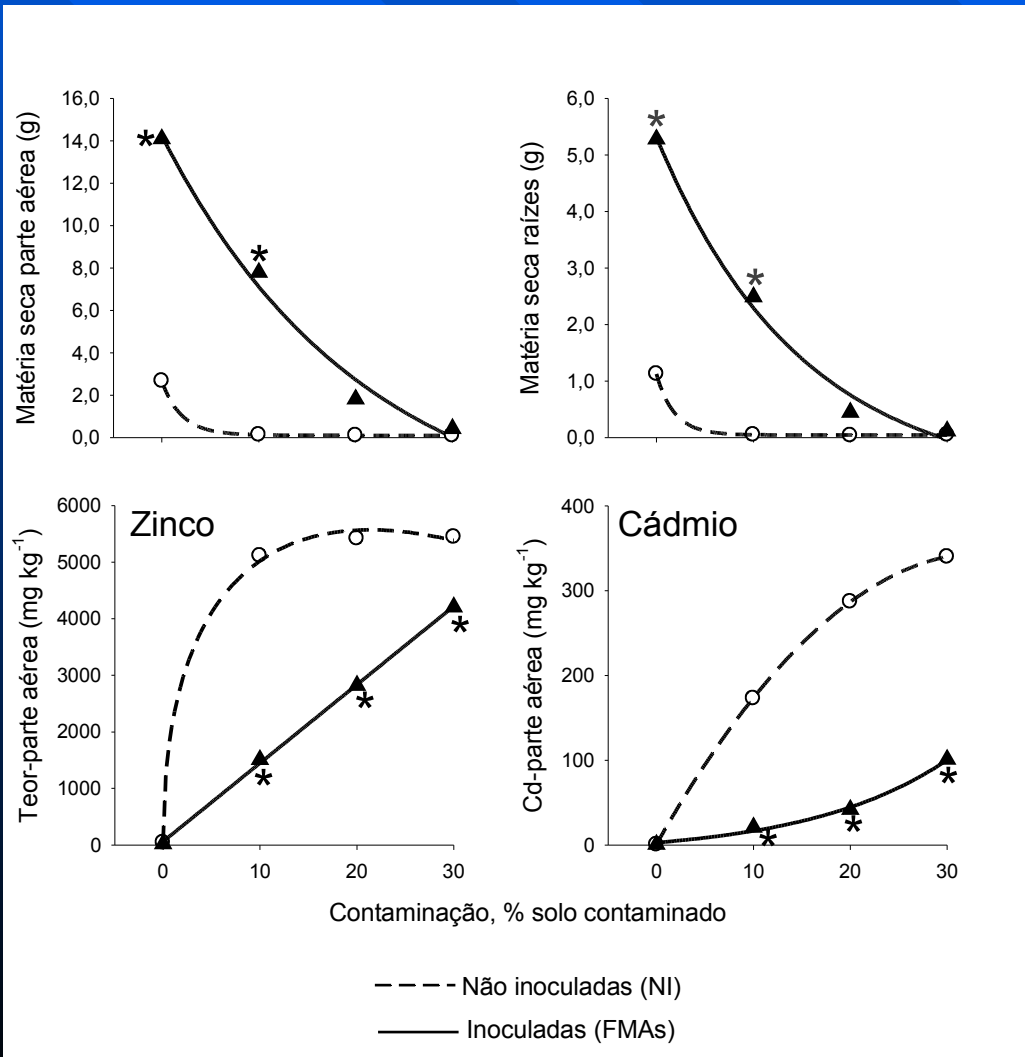


FIGURA . Efeito da inoculação de fungos micorrízicos no crescimento e teores de Zn e Cd em *Brachiaria decumbens* em solo contaminado por elementos-traço (Soares & Siqueira, 2008). * Efeito da inoculação (Tukey, 5%).

Micorrizas: proteção contra o excesso de elementos-traço

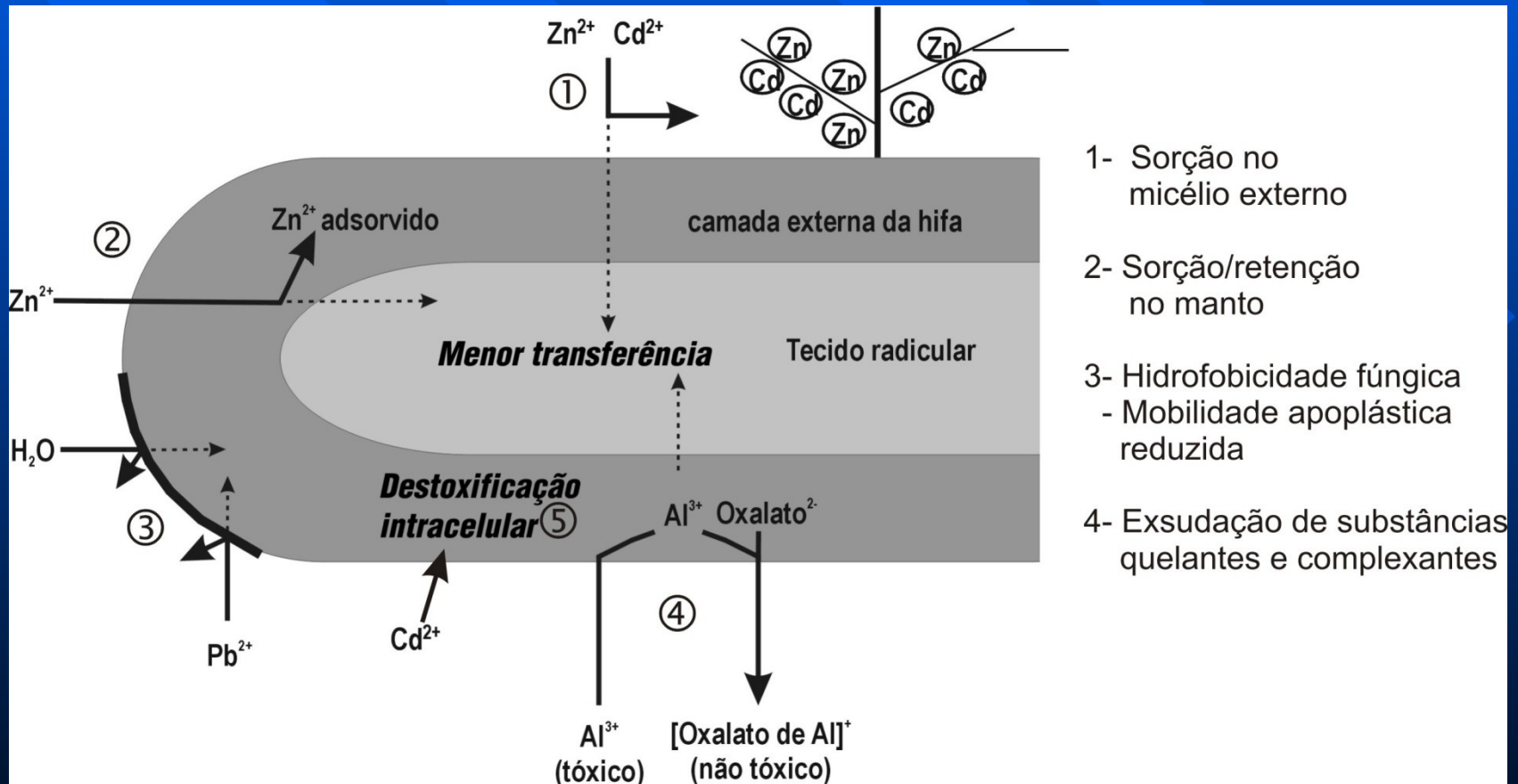


FIGURA . Possíveis mecanismos envolvidos na adsorção, exclusão e bioacumulação de elementos-traço relacionados à menor transferência destes para a planta em micorrizas (Moreira & Siqueira, 2002).

Micorrizas e bactérias do solo: alteração na disponibilidade de elementos-traço

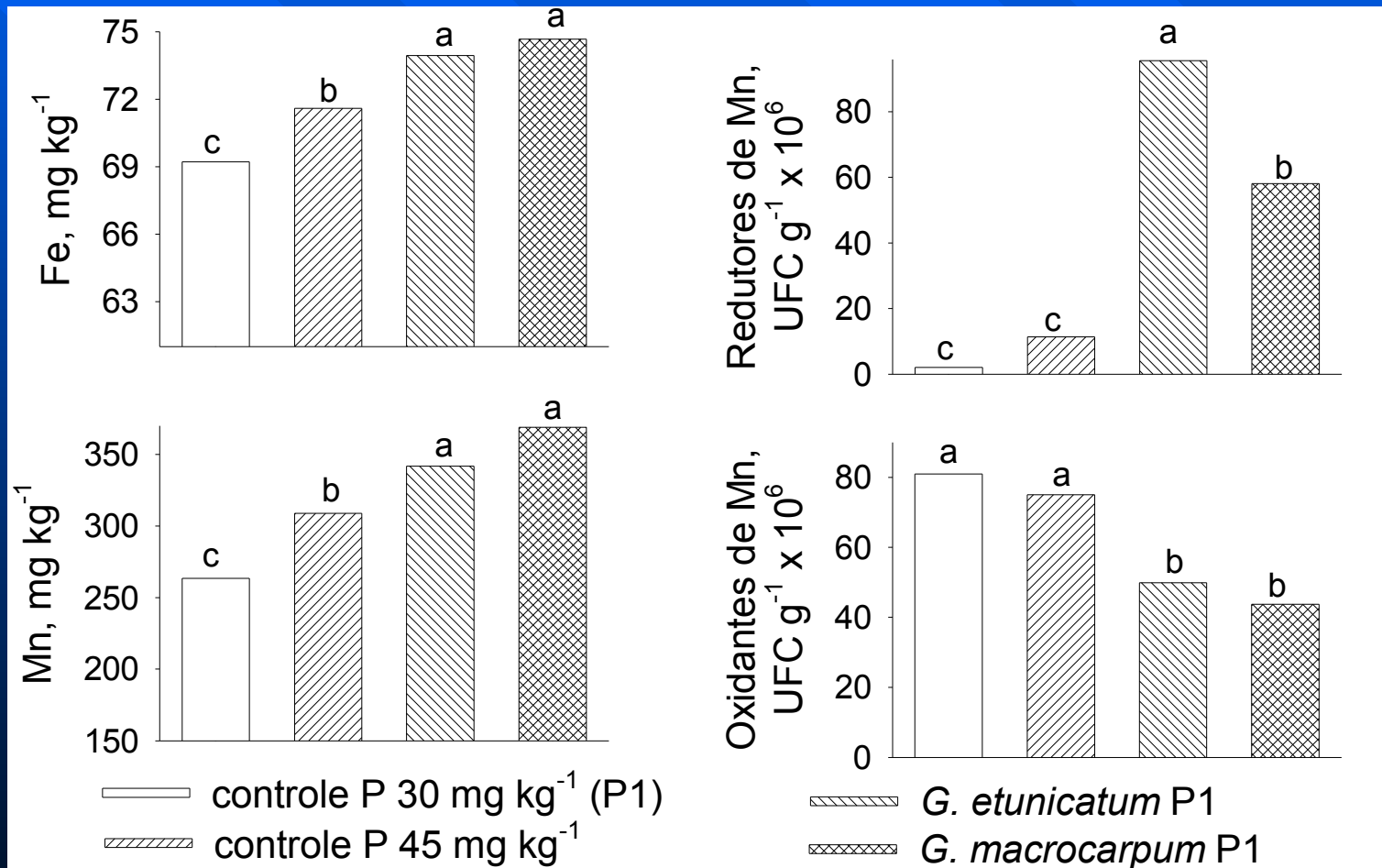


FIGURA . Disponibilidade de Fe²⁺ e Mn²⁺ (Esquerda) e ocorrência de bactérias oxidantes e redutoras de Mn (Direita) em solo cultivado com soja micorrizada (*Glomus etunicatum* ou *G. macrocarpum*) em comparação com as testemunhas não micorrizadas em dois níveis de fósforo (Adaptado de Nogueira et al., 2007).

Micorrizas: proteção contra o excesso de Mn.



Figura 2 - À esquerda, aspecto da manifestação dos sintomas de toxicidade de Mn em plantas de soja aos 90 dias, de acordo com os tratamentos de micorrização e de doses de Mn adicionadas ao substrato. Abaixo, aspecto da face adaxial (superior) e abaxial (inferior) de trifólios de soja saudáveis (da esquerda) e lesionados com sintomas de toxicidade de Mn (da direita).



DOSES DE Mn, mg kg⁻¹

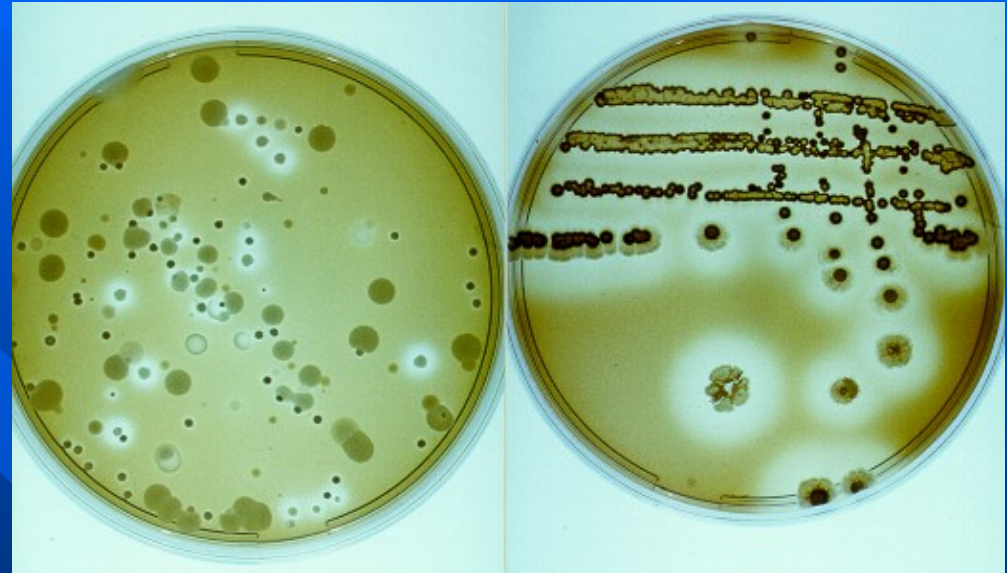
(Nogueira, 2002)

Bactérias

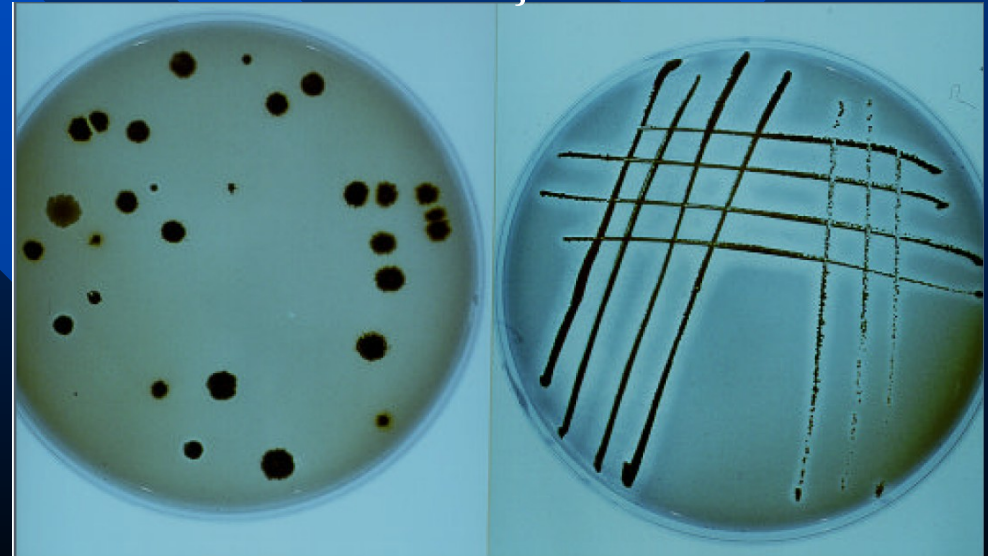
redutoras e
oxidantes de Mn

Microrganismos do solo
atuando na redução de Mn^{4+} e
oxidação de Mn^{2+} (Nogueira,
2002).

Redução



Oxidação



Micorrizas: proteção contra o excesso de Pb em baixo V%.

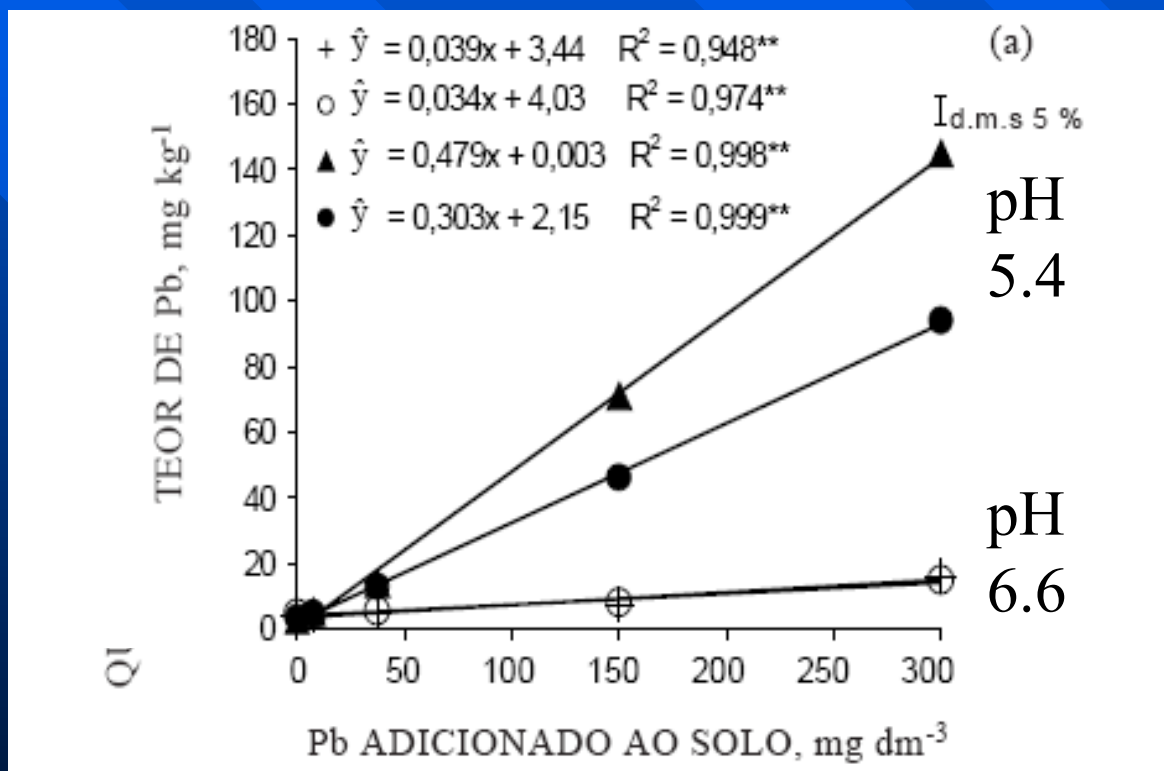


FIGURA . Teor (a) de Pb na parte aérea da soja, considerando a dose de Pb adicionada ao solo (● com FMA e V1 = 63 %; ▲ sem FMA e V1 = 63 %; o com FMA e V2 = 82 % ; + sem FMA e V2 = 82 %). (Adaptado de Andrade et al., 2003).

Atividade microbiana e resíduos contendo elementos-traço: lodo de curtume com Cr

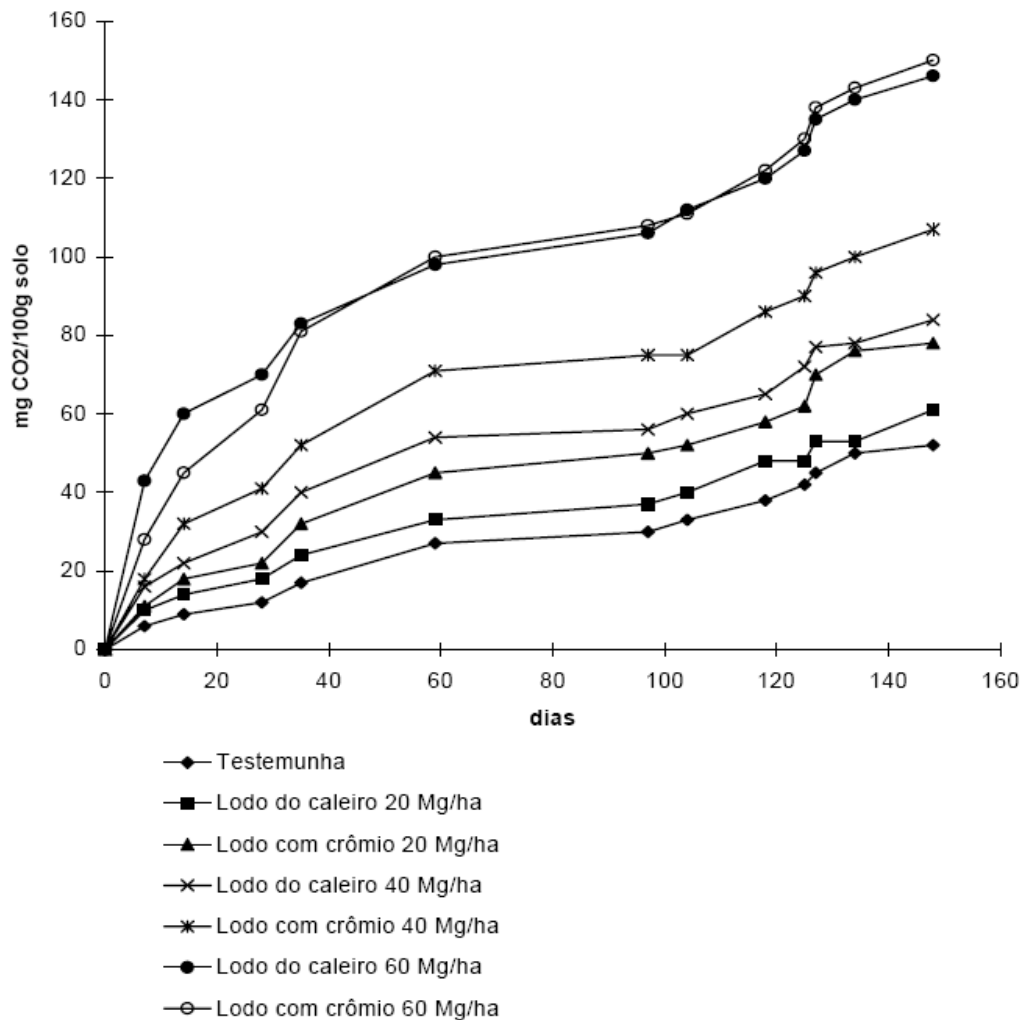


FIGURA . Liberação acumulada de carbono (CO₂) no solo, após a aplicação de resíduos de curtume. Média de 4 repetições (Passianoto et al., 2001)

Bactérias redutoras de Cr hexavalente

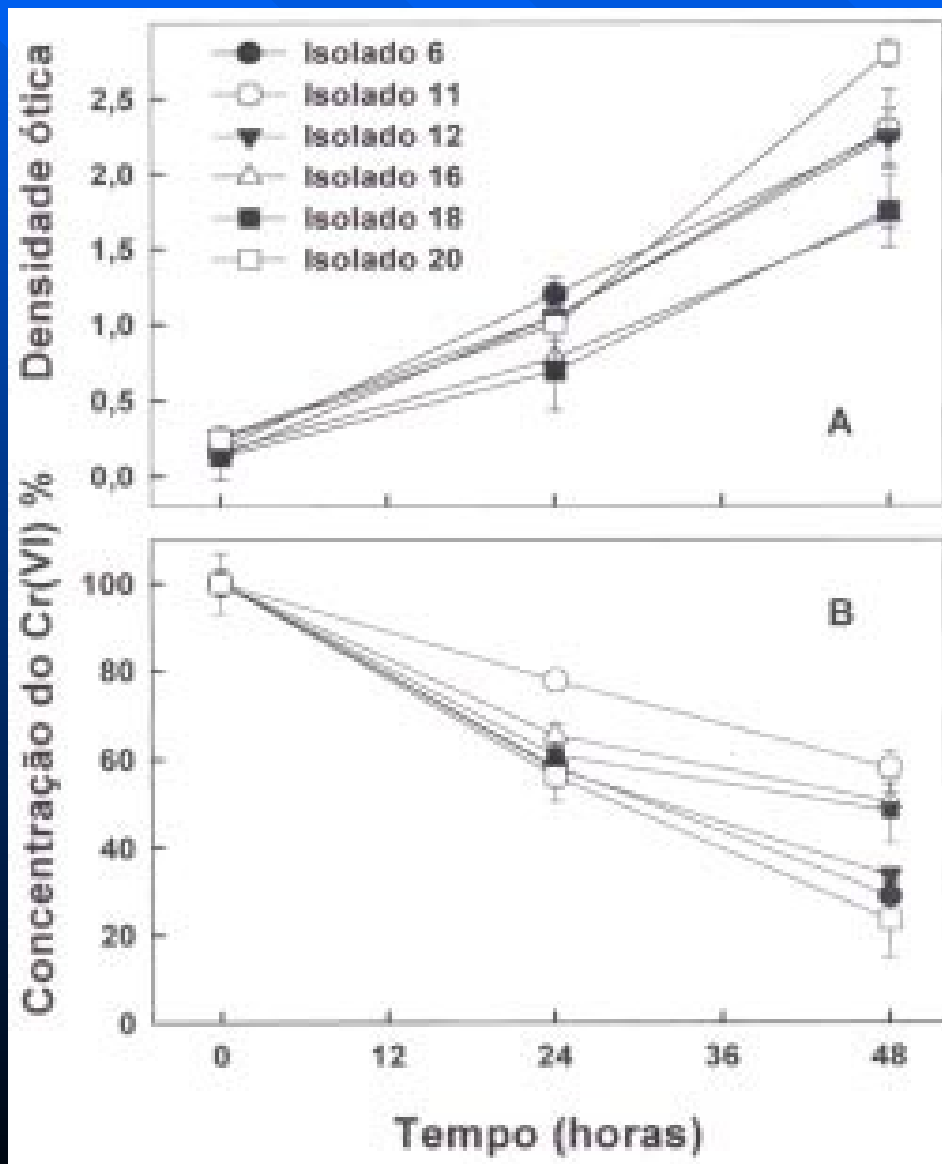


FIGURA . Crescimento (A) e redução do Cr(VI) (B) pelos isolados em caldo nutritivo com 500 mg L^{-1} de Cr(VI) (Conceição et al., 2007).

Atividade microbiana e resíduos contendo elementos-traço: pó de forno de aciaria

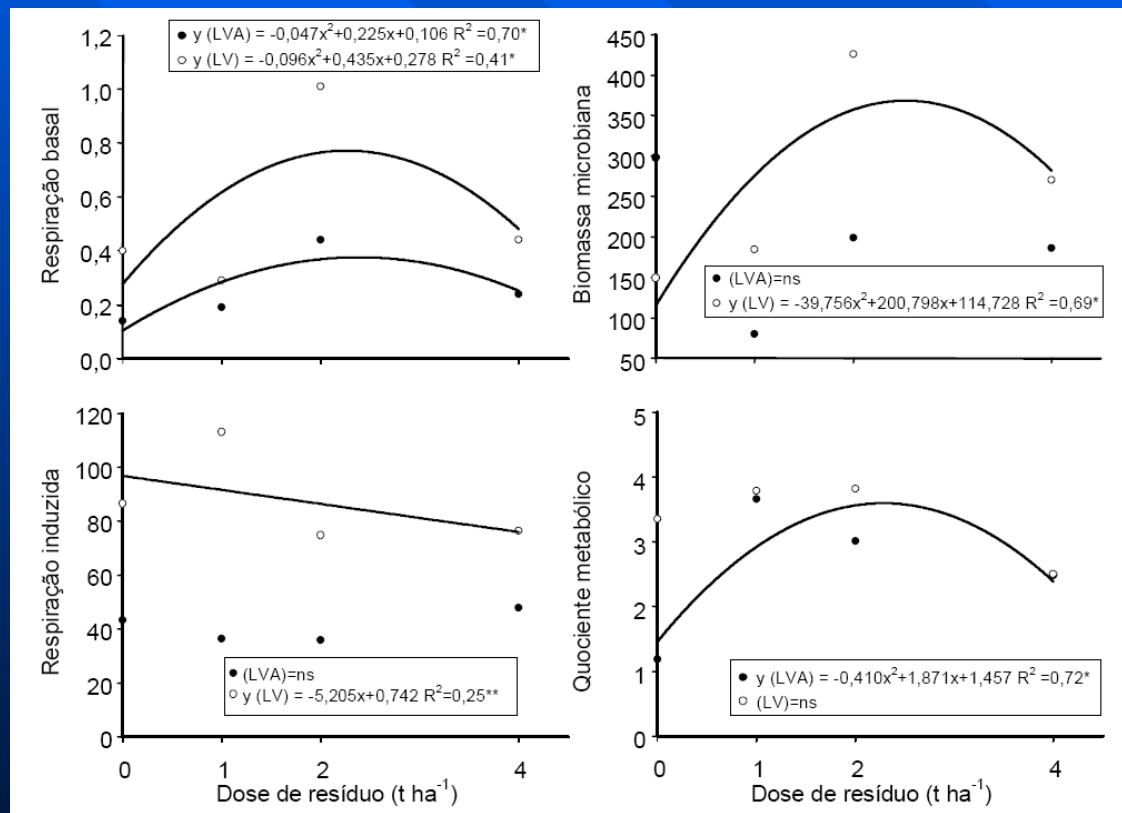


Tabela 2. Composição química do pó de forno de aciaria elétrica⁽¹⁾.

Composição química	Teores totais ⁽²⁾
N (g kg ⁻¹) ⁽³⁾	0,0
P (g kg ⁻¹)	1,8
K (g kg ⁻¹)	26,0
Ca (g kg ⁻¹)	40,3
Mg (g kg ⁻¹)	8,2
Al (g kg ⁻¹)	16,8
Cu (mg kg ⁻¹)	13.850
Fe (mg kg ⁻¹)	680.540
Mn (mg kg ⁻¹)	14.000
Zn (mg kg ⁻¹)	204.180
Pb (mg kg ⁻¹)	26.110
Cd (mg kg ⁻¹)	118

⁽¹⁾Accioly (1996) e Silva (1999). ⁽²⁾Teores após digestão total com HF+HClO₄+HNO₃ (Mann & Ritchie, 1993). ⁽³⁾Método Kjeldahl (Bremner, 1965).

FIGURA . Respiração microbiana basal (mg CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹), respiração microbiana induzida (mg CO₂ kg⁻¹ de solo dia⁻¹), biomassa microbiana (µg C g⁻¹ de solo) e quociente metabólico (µg C-CO₂ 104 h⁻¹/µg C-biomassa g⁻¹ de solo) no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho (LV), em razão das doses do resíduo (Melloni et al., 2001).

Atividade microbiana e Ni

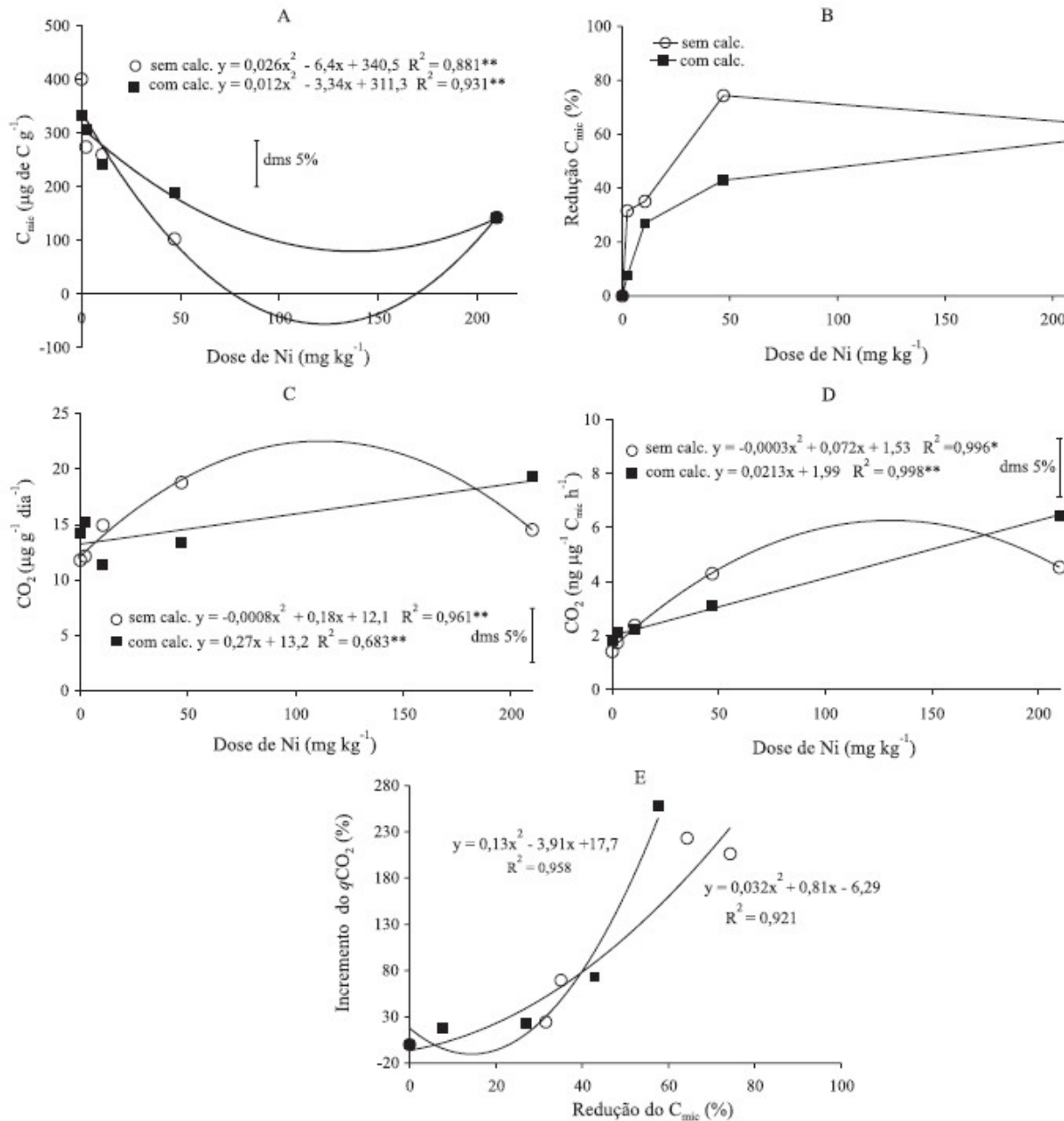


FIGURA . Carbono da biomassa microbiana do solo (C_{mic}) (A), redução do C_{mic} (B), respiração do solo (C), quociente metabólico (qCO_2) (D) e incremento do qCO_2 em função da redução no C_{mic} (E) no solo com adição de diferentes doses de Ni e com aplicação e sem aplicação de calcário (Berton et al., 2006).

Microrganismos e elementos-traço:

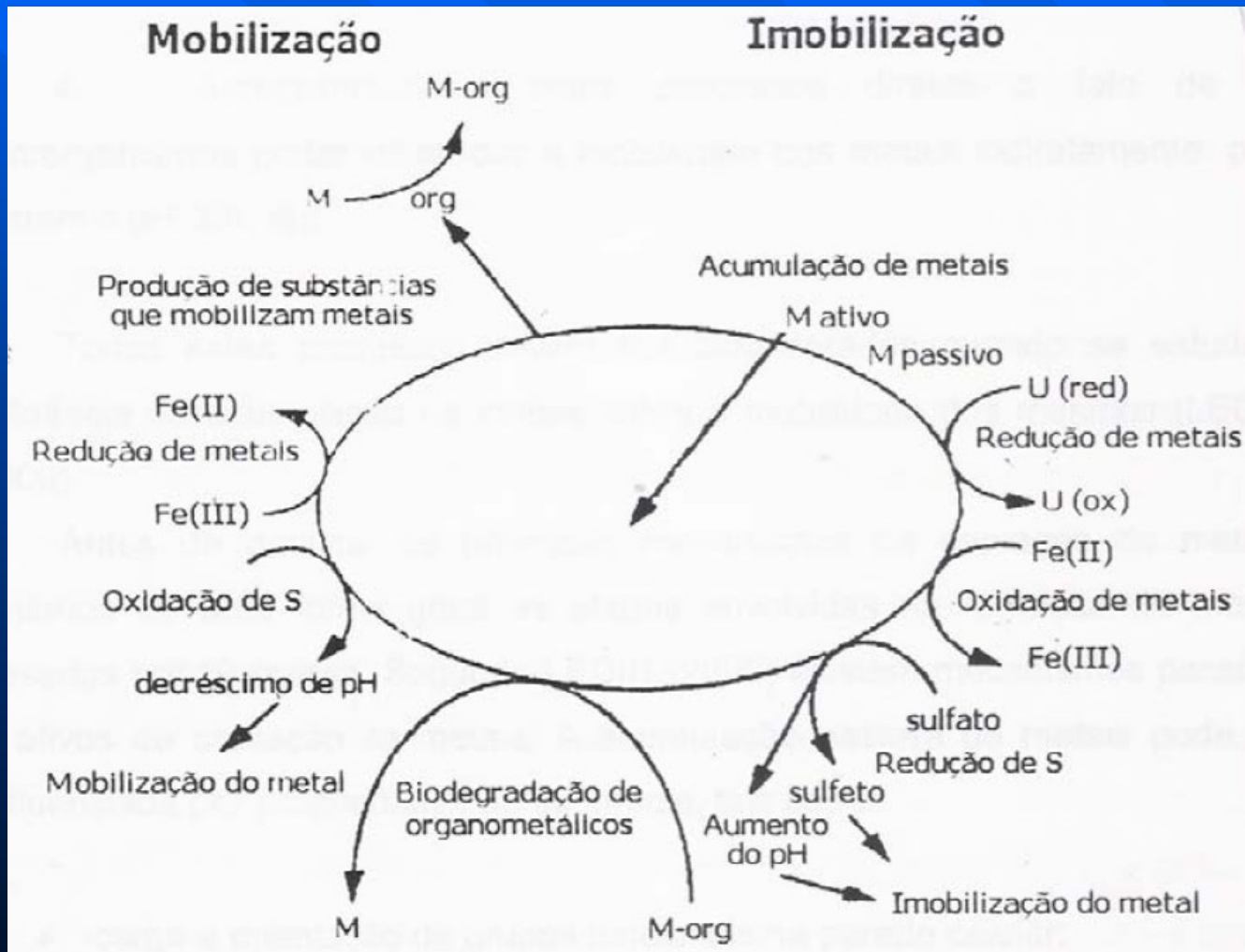


Figura 1. Interação entre metais e microrganismos. Fonte: Ledin (2000).

Microrganismos e elementos-traço:

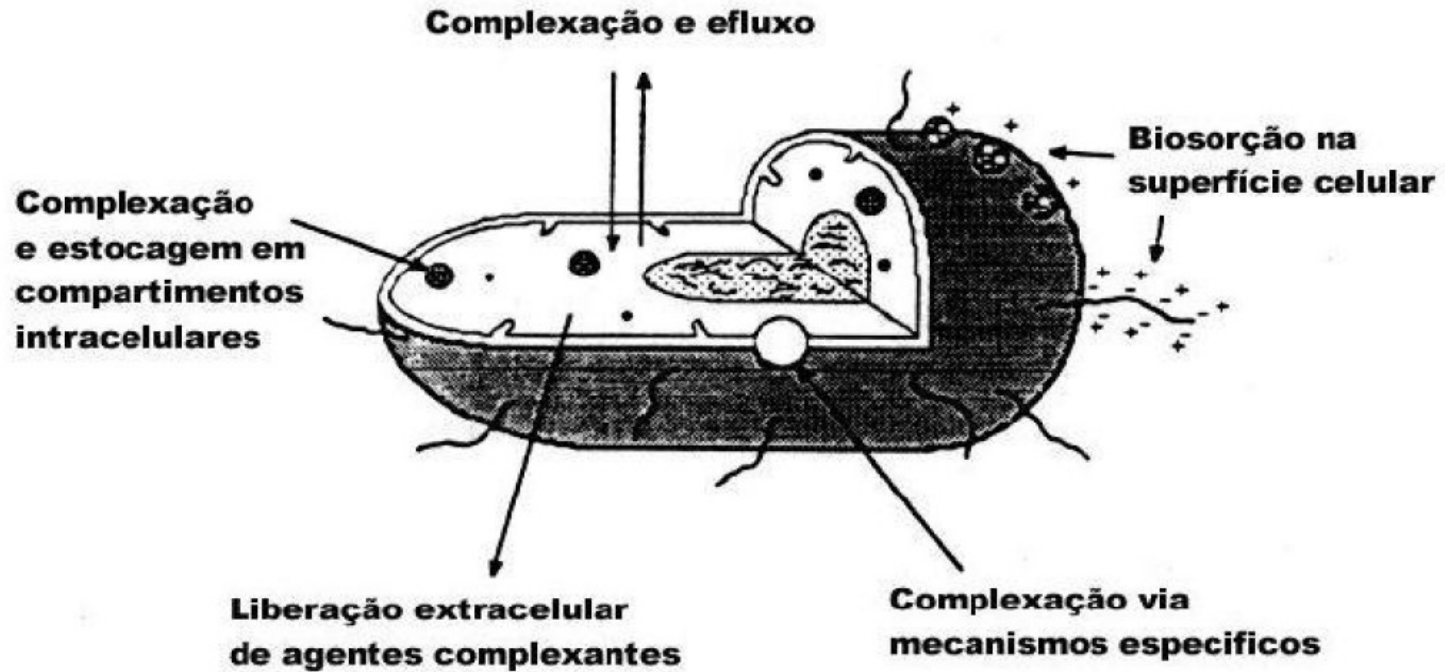


Figura 2. Mecanismos de interação entre metais e células microbianas. Fonte: Birch e Bachofen, 1990.

Conclusões:

- ✓ Microrganismos “respondem” a elementos-traço;
- ✓ Potencial de uso como bioindicadores;
- ✓ Auxílio na atenuação de áreas com excesso;
- ✓ Pode haver mobilização ou imobilização;
- ✓ Mais estudos para o melhor entendimento.