



Os Microrganismos e os Metais Pesados do Solo



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Agrobiologia

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

República Federativa do Brasil

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Ministro

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Diretor Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Bonifácio Hideyuki Nakasu

Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Embrapa Agrobiologia

Chefe Geral

Maria Cristina Prata Neves

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

José Ivo Baldani

Chefe Adjunto Administrativo

Valéria Luiza Pereira Magalhães da Silva

DOCUMENTO Nº 132

ISSN 1517-8498

Agosto 2001

Os Microrganismos e os Metais Pesados do Solo

João Carlos Pereira

Seropédica – RJ

2001

Exemplares desta publicação podem ser solicitadas à

Embrapa *Agrobiologia*

BR465 – km 47

Caixa Postal 74505

23851-970 Seropédica

Rio de Janeiro, RJ

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Expediente:

Revisor e/ou ad hoc: Helvécio De-Polli

Normalização Bibliográfica/Confecção/Padronização: Dorimar dos Santos Felix

Tiragem: 50 exemplares

Comitê de Publicações: José Ivo Baldani (Presidente)

José Antonio Ramos Pereira

Marcelo Grandi Teixeira

Robert Michael Boddey

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Verônica Massena Reis

Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

PEREIRA, J. C. **Os microrganismos e os metais pesados do solo**. Seropédica: Embrapa ***Agrobiologia***, ago. 2001. 14p. (Embrapa ***Agrobiologia***. Documentos, 132).

ISSN 1517-8498

1. Microrganismo. 2. Metal pesado. 3. Solo. 4. Micorriza. 5. Simbiose. 6. Leguminosa. 7. Rhizobium. !. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). II. Título. III. Série.

CDD 579

© Embrapa

SUMÁRIO

	Página
1 - O solo como ambiente dos microrganismos	4
2 - Equilíbrio microbiológico	4
3 - Fatores ambientais abióticos	5
3 -1 - Metais pesados	5
4 - Comunidade microbiana do solo e os metais pesados	6
5 - Transformações microbianas dos metais pesados	8
6 - Metais pesados e as simbioses radiculares	9
6 - 1 – Micorrizas	9
6 - 2 - Simbiose leguminosa-rizóbio	9
7 - Métodos microbiológicos de avaliação da contaminação do solo por metais pesados	10
8 - Considerações finais	11
9 - Referências Bibliográficas	11

Os Microrganismos e os Metais Pesados do Solo¹

*João Carlos Pereira*²

1 - O solo como ambiente dos microrganismos

Os microrganismos são os componentes mais numerosos da fração biológica do solo, participando dos ciclos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, e contribuindo com os processos ligados à cadeia trófica, o que é intrínseco para a fertilidade do solo e a produtividade das culturas. Além disso, os microrganismos tem sido considerado essenciais para a decomposição de xenobiontes no ambiente (Scheunert, 1994).

2 - Equilíbrio microbiológico

As relações ecológicas das diferentes populações de microrganismos no solo são difíceis de serem caracterizadas. Nos ecossistemas naturais a diversidade e o número de microrganismos na comunidade apresentam pequenas oscilações, resultantes das alterações ambientais. Por causa destas oscilações, o equilíbrio microbiológico nos solos tem sido considerado como equilíbrio dinâmico (Cardoso, 1992).

Nos agroecossistemas as mudanças significativas e perceptíveis na comunidade microbiana também estão relacionadas com as condições ambientais,

¹ Subprojeto: 04.2000.041-04

sendo consequência principalmente do uso e das práticas de manejo do solo. A combinação das práticas agrícolas aplicadas durante vários anos de cultivo é importante para o equilíbrio microbiológico, pois o manejo (preparo e fertilização do solo, tipo de cultura e época de plantio) é determinante para o desenvolvimento de micro-habitats específicos, resultando na alteração do equilíbrio dinâmico, através de modificações nos processos microbiológicos, fisiológicos e bioquímicos específicos. Nestes casos, as relações entre os componentes da comunidade microbiana passa a ser dependente das novas circunstâncias do meio (Atlas et al., 1991).

Tanto o equilíbrio como o desequilíbrio das populações na comunidade microbiana são influenciados por fatores ambientais abióticos.

3 - Fatores ambientais abióticos

A comunidade microbiana dos solos é acentuadamente influenciada pelo ambiente, podendo as populações ou os seus processos serem inibidos por diversos fatores estressantes (Domsch et al., 1983). Os fatores abióticos que influenciam o equilíbrio das populações que compõem a comunidade microbiana do solo, são facilmente identificados, mas sua importância relativa é difícil de ser caracterizada, já que pode resultar da ação de uma ou mais variáveis isoladas e de suas numerosas interações.

3.1 - Metais pesados

A presença dos metais pesados nos solos são decorrente da decomposição de rejeitos urbanos e industriais, de vazamentos e derramamentos acidentais de

² Eng. Agr., PhD., Embrapa Agrobiologia, Km 47, Caixa Postal 74505, CEP 23851-970, Seropédica, RJ. jpereira@cpnpab.embrapa.br

poluentes, muitas vezes recalcitrantes ou com baixa degradabilidade no solo e do uso de agroquímicos, o que resulta no acúmulo de elementos tóxicos introduzidos através de fertilizantes orgânicos e inorgânicos contaminados, assim como de fungicidas, herbicidas e inseticidas. Os metais pesados, pela sua persistência e pelo seu potencial tóxico são determinantes do equilíbrio microbiológico nos solos (Klein & Thayer, 1990; Martensson, 1992).

Os teores máximos de metais pesados nos solos permitidos pelos países são variáveis. Geralmente os limites são determinados visando os efeitos sobre o meio ambiente. Em relação aos vegetais, o objetivo é prevenir os efeitos tóxicos nas culturas, sendo estabelecidos para diferentes valores de pH do solo, visto que este influencia a solubilidade e a atividade dos metais pesados (Fließbach et al., 1994). Além disso, deve-se considerar os solos sob diferentes cultivos, uma vez que estes têm comportamento fisiológico diferenciado, por exemplo, na absorção e nos sintomas de toxidez apresentados pela planta (Siqueira et al., 1994).

4 - Comunidade microbiana do solo e os metais pesados

Os metais pesados representam um grupo de poluentes de grande importância ecológica e ambiental, visto que podem influenciar a comunidade microbiana, reduzindo a abundância e a diversidade das populações na comunidade, e consequentemente interferindo nos processos microbiológicos do solo, tais como: as transformações de compostos nitrogenados, principalmente reduzindo a taxa de nitrificação (Hassen, et. al., 1998; Munn, et. al., 2000) e as atividades enzimáticas do solo, onde a sulfatase tem-se mostrado mais sensível a contaminação do solo (Bardgett et al., 1994; Giusquiani et al., 1994), além de reduzir

a taxa de decomposição microbiana da celulose (Chew et al., 2001) e a mineralização da matéria orgânica do solo (Reber, 1992).

A influência dos metais pesados na comunidade microbiana pode ser depressiva ou aditiva, sendo que as concentrações elevadas podem diminuir a diversidade genética das populações bacterianas (Hirsch et al., 1993), assim como inibir a atividade das populações de diversas bactérias e fungos alterando de imediato o equilíbrio microbiológico do ecossistema (Reber, 1992; Landmeyer et al., 1993). Na comunidade microbiana os microrganismos apresentam respostas diferenciadas a presença de metais pesados nos solos. Desta forma, tem-se observado que os procarióticos (bactérias e actinomicetos) são mais sensíveis do que os eucarióticos (fungos), e que as bactérias apresentam maior sensibilidade a poluição do solo causada pelos metais pesados do que os actinomicetos (Doelman et al., 1994).

Os metais pesados são necessários para o crescimento dos microrganismos. Entretanto, Hg e Pb não apresentam funções biológicas, enquanto que Zn, Cu, Ni, Co, Cd e Cr são essenciais para as plantas, animais e microrganismos, mas requeridos em pequenas quantidades (Chaudri et al., 1992). Entretanto, deve-se considerar que todos são potencialmente tóxicos em concentrações elevadas, provocando desnaturação de proteínas e bloqueios de sítios de ligação de enzimas (Siqueira et al., 1994).

Nos solos o mercúrio é encontrado naturalmente em concentrações inferiores a 1,0 ppm, sendo que para os microrganismos, as formas orgânicas são invariavelmente mais tóxicas do que as forma inorgânica. Por outro lado, existem relatos de bactérias resistentes a teores elevados de Hg e organomercuriais. Estas

bactérias apresentam mecanismos de desintoxicação que podem incluir: a síntese de grupos tiol que se ligam ao Hg tornando-o menos tóxico; barreiras de permeabilidade que limitam a velocidade de acesso do Hg à célula; e, a eliminação do metal do meio de crescimento pela redução, chegando à volatilização como Hg^0 (Hungria & Urquiaga, 1992).

Cadmio, chumbo e estanho são tóxicos na forma de cátions, e como mercúrio, tendem a ser ainda mais tóxicos quando estão ligados às substâncias orgânicas. A resistência dos microrganismos a estes metais é constitutiva, e não depende de crescimento prévio em presença destes elementos, sendo determinada pelos plasmídeos celulares (Summers & Silver, 1978).

Recentemente, tem-se dividido os microrganismos em três grupos distintos: sensíveis, tolerantes e resistentes a metais pesados. Doelman et al (1994), definiram como sensíveis a Zn e Cd os microrganismos que não cresceram na presença de 5 e 0,5 mg destes metais/litro de meio de cultura. Enquanto que, a resistência foi caracterizada como a ocorrência do crescimento microbiano na presença de 50 e 16 mg destes elementos/L, respectivamente.

No solo as concentrações dos metais pesados, que influenciam a comunidade microbiana são mais elevadas. A contaminação do solo sob pastagem na Nova Zelândia com 100 mg de Cu, Cr e As/kg de solo não resultou em depressão significativa na atividade biológica, que só foi observada na concentração de 400 mg/kg de solo, sendo que a atividade só foi inibida a 800 mg/kg (Yates et al., 1994). Além disso, nos solos os teores de metais pesados e a resistência dos microrganismos nem sempre estão correlacionados, visto que em pH mais elevados a toxidez destes metais é reduzida (Dean-Ross & Mills, 1989). Além disso, deve-se

considerar que os teores de Cu, Cr e As decrescem com o aumento da profundidade do solo (Yates et al., 1994).

5 - Transformações microbianas dos metais pesados

As transformações microbianas dos metais pode ser dividida em duas categorias. A primeira envolve oxidação ou redução de formas inorgânicas e a segunda resulta na conversão dos metais em formas orgânicas ou vice versa. Alguns microrganismos realizam a metilação do Hg, mobilizando-o através da formação do monometilmercúrio (CH_3Hg)⁺ ou dimetilmercúrio (CH_3HgCH_3), formas orgânicas tóxicas que são mais rapidamente absorvida e retida nos tecidos animais do que a forma metálica (Paul & Clark, 1989). Existe também indicações de metilação Cd, Pb, Sn e As, havendo a formação de compostos ainda mais tóxicos. No solo a metilação é realizada por bactérias aeróbicas e anaeróbicas, por fungos e por leveduras (Hungria & Urquiaga, 1992).

6 - Metais pesados e as simbioses radiculares mutualísticas

6.1 - Micorrizas

Tal como se verifica para as populações bacterianas, tem-se observado que as associações simbióticas entre fungos e raízes (micorrizas), também são influenciadas pela presença de metais pesados no solo, sendo que as respostas dos fungos MVA variam da sensibilidade a tolerância com retardamento das infecções fungicas (Leyval et al., 1997; Joner & Leyval, 2001).

Fungos ectomicorrízicos também têm apresentado comportamento bastante diferenciado em relação a presença de metais pesados nos solos. *Suillus brevipes* apresentou elevada sensibilidade ao Cd, enquanto que *Laccaria lacatta* e *Telephora*

terrestris mostraram-se mais tolerantes. O crescimento de *L. lacatta* foi inibido em 50% com 0,2 µg/mL de Pb e *Suillus lutens* apresentou inibição total em 528 µg/mL de Pb. Este fungo também mostrou elevada tolerância a Ni, ao contrário de *Rhizopogon roseolus*, que foi inibido com menos de 1 µg/mL deste elemento (McCreight & Schroeder, 1982).

6.2 - Simbiose leguminosa-rizóbio

A utilização de agroquímicos e de fertilizantes inorgânicos ou orgânicos contaminados com metais pesados, pode resultar no acúmulo destes elementos nos solos. Os metais pesados em concentrações de moderadas a altas no solo são tóxicos para a planta hospedeira, para o rizóbio e para a simbiose leguminosa-rizóbio, podendo influenciar a fixação simbiótica do N₂. Os efeitos dependem das características químicas do solo, das espécies microbianas, e do tempo de exposição do solo contaminado (Martensson, 1992).

O cultivo de *Trifolium repens* em solo contaminado com metais pesados resultou em baixos rendimentos da matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes. Nesta condição, a nodulação foi formada por numerosos nódulos pequenos e brancos, evidenciando a ineficiência da fixação do N₂. A redução de 50% da fixação foi observada nas concentrações (mg/kg de solo) de 334 de Zn, 99 de Cu, 27 de Ni e 10 de Cd (McGrath et al., 1988).

As espécies de rizóbio apresentam comportamento variado em relação a presença de metais pesados no solo. Este comportamento diferenciado pode resultar em variações na capacidade das estirpes em sobreviver e colonizar o solo (Obbard et al., 1993).

Ocorre também uma grande variabilidade de comportamento entre estirpes dentro de uma mesma espécie em relação aos metais pesados nos solos. Chaudri et al. (1992) observaram que estirpes de *R. leguminosarum* bv. *trifolii* oriundas de solo contaminado foram mais tolerantes as concentrações mais elevadas de Cu, Cd, Ni e Zn quando comparadas as provenientes de solo não contaminado. Neste caso, a ordem decrescente de toxidez dos elementos em solução, para os grupos de estirpes foi respectivamente $Cu > Cd > Ni > Zn$ e $Cu > Cd > Zn = Ni$.

7 - Métodos microbiológicos de avaliação da contaminação do solo por metais pesados.

Vários métodos biológicos tem sido utilizados para avaliar o impacto da contaminação dos metais pesados no ambiente. A utilização de microrganismos para monitorar a poluição do solo com metais pesados tem se destacado entre os vários métodos utilizados, visto que os microrganismos são funcionais na reciclagem dos elementos, apresentam pequenas dimensões além de serem abundantes. Desta forma, os microrganismos são o primeiro grupo de organismos que são afetados pela poluição do solo (Doelman et al., 1994).

Avaliações microbiológicas da contaminação do solo com metais pesados podem ser quantificadas através de métodos diretos de observação e contagem, onde utilizam-se alguma forma de microscopia; ou através de métodos indiretos, por meio de isolamentos e cultivos em meios de cultura e da avaliação de uma atividade microbiana específica como: atividade enzimática, respiração e fixação do N_2 . As quantificações também podem ser feitas através da tolerância dos microrganismos aos metais pesados (Hirsch et al., 1993; Landmeyer et al., 1993; Doelman et al., 1994).

8 - Considerações finais

O papel dos microrganismos na ciclagem dos metais pesados apresenta grande importância econômica e ambiental. As atividades industriais e agrícolas exigem a intensificação dos estudos sobre a dinâmica destes elementos nos solos, que pode resultar na toxidez da planta com reflexos direto no seu crescimento. Além disso, as pesquisas nesta área devem conduzir para um melhor conhecimento do crescimento das populações microbianas em solos contaminados com metais pesados e que poderiam ser usados para o controle da poluição ambiental.

As pesquisas direcionadas para este tipo de informação são relativamente intensas nos solos de regiões temperadas e escassas em relação aos solos das regiões subtropicais e tropicais, principalmente para as condições dos solos, clima e culturas no Brasil. Além disso, tem-se observado que o número de parâmetros avaliados é bastante limitado; não há dados comparáveis entre as populações microbianas presentes em solos de ecossistemas naturais e em agroecossistemas durante as estações climáticas em anos consecutivos.

9 - Referências Bibliográficas

ATLAS, R.M.; HOROWITZ, A.; KRICHEVSKY, M.; BEJ, A.K. Response of microbial populations to environmental disturbance. **Microbial Ecology**, New York, v.22, p.249-256, 1991.

BARDGETT, R.D.; SPEIR, T.W.; ROSS, D.J.; YATES, G.W. Impact of pasture contamination by copper, chromium, and arsenic timber preservative on soil microbial properties and nematodes. **Biology and Fertility of Soil**, Berlin, v. 18, p.71-79, 1994.

CARDOSO, E.J.B.N. Ecologia microbiana do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P., (Ed.). **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.33-39.

CHAUDRI, A.M.; McGRATH, S.P.; GILLER, K.E. Metal tolerance of isolates of *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* from soil contaminated by past applications of sewage sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p.83-88, 1992.

CHEW, I. ; OBBARD, J. P.; STANFORTH, R. R. Microbial cellulose decomposition in soils from a rifle range contaminated with heavy metals. **Environmental Pollution**, Essex, v. 111, p.367-375, 2001.

DEAN-ROSS, D.; MILLS, A.L. Bacterial community structure and functions along a heavy metal gradient. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 55, p.2002-2009, 1989.

DOELMAN, P.; JANSEN, E.; MICHELS, M.; TIL, van M. Effects of heavy metals in soil on microbial diversity and activity as shown by the sensitivity-resistance index, an ecologically relevant parameter. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, p.177-184, 1994.

DOMSCH, K.H.; JAGNOW, G.; ANDERSON, T.H. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. **Residue Reviews**, Berlin, v. 86, p.65-105, 1983.

FLIEßBACH, A.; MARTENS, R.; REBER, H.H. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 26, p.1201-1205, 1994.

GIUSQUIANI, P.L.; GICLIOTTI, BUSINELLI, D. Long-term effects of heavy metals from composted municipal waste on some enzyme activities in a cultivated soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, p.257-262, 1994.

HASSEN, A.; JEDIDI, N.; CHERIF, M.; M'HIRI, A.; BOUDABOUS, A.; VAN CLEEMPUT, O. Mineralization of nitrogen in a clayey loamy soil amended with organic wastes enriched with Zn, Cu and Cd. **Bioresource Technology**, v. 64, p.39-45, 1998.

HIRSCH, P.R.; JONES, M.J.; McGRATH, S.P.; GILLER, K.E. Heavy metals from past applications of sewage sludge the genetic diversity of *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* populations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford v. 25, p.1485-1490, 1993.

HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos (Potássio, micronutrientes e metais pesados. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Ed.). **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.329-340.

JONER, E.J.; LEYVAL, C. Time-course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 33, n. 5, 2001.

KLEIN, D.A.; THAYER, J.S. Interactions between soil microbial communities and organometallic compounds. In: BOLLAG, J.M.; STOTSKY, G. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.131-481 (Books in Soils, Plants, and the Environment, 6).

LANDMEYER, J.E.; BRADLEY, P.M.; CHAPELLE, F.H. Influence of Pb on microbial activity in Pb-contaminated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p.1465-1466, 1993.

LEYVAL, C; TURNAU, K; HASELWANDTER, K. Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 7, n. 3, 139-153, 1997.

MARTENSSON, A.M. Effects os agrochemicals and heavy metals on fast-growing rizobia and their symbiosis with small-seeded legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p.435-445, 1992.

McCREIGHT, J.D.; SCHROEDER, D.B. Inhibition of growth of nine ectomycorrhizal fungi by cadmium, lead, and nickel *in vitro*. **Environmental and Experimental Botany**, New York, v. 22, p.1-7, 1982.

McGRATH, S.P.; BROOKES, P.C.; GILLER, K.E. Effects of potentially toxic metals in soil derived from past applcations of sewage sludge on nitrogen fixation by *Trifolium repens* L. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, p.415-424, 1988.

MUNN, K. J.; EVANS, J.; CHALK, P. M. Mineralization of soil and legume nitrogen in soils treated with metal-contaminated sewage sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p.2031-2043, 2000.

OBBARD, J.P.; SAUERBECK, D.R.; JONES, K.C. *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifolii* in soils amended with metal contaminated sewage sludges. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p.227-231, 1993.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. In: _____. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic, 1989. p.253-260.

REBER, H.H. Simultaneous estimates of the diversity and the degradative capability of heavy-metal-affected soil bacterial communities. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 13, p.181-186, 1992.

SCHEUNERT, I. Transformation and degradation of pesticides in soils - Role of soil microorganisms. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 3., REUNIÃO DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO DE ESTIRPES DE *RHIZOBIUM* E *BRADYRHIZOBIUM*, 6, Londrina, 1994. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1994. p.13.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISS, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo**; perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 142p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 45).

SUMMERS, A.O.; SILVER, S. Microbial transformations of metals. **Annual Review Microbiology**, Palo Alto, v. 32, p.617-672, 1978.

YATES, G.W.; ORCHARD, V.A.; SPEIR, T.W.; HUNT, J.L.; HERMANS, M.C.C. Impact of pasture contamination by copper, chromium, arsenic timber preservative on soil biological activity. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 18, p.200-208, 1994.