



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

ISSN: 0065-1737

azm@ecologia.edu.mx

Instituto de Ecología, A.C.

México

Brown, George G.; Domínguez, Jorge

USO DAS MINHOCAS COMO BIOINDICADORAS AMBIENTAIS: PRINCÍPIOS E PRÁTICAS - O 3º
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE ECOLOGIA E TAXONOMIA DE OLIGOQUETAS
(ELAETAO3)

Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), núm. 2, 2010, pp. 1-18

Instituto de Ecología, A.C.

Xalapa, México

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57515556001>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

USO DAS MINHOCAS COMO BIOINDICADORAS AMBIENTAIS: PRINCÍPIOS E PRÁTICAS – O 3º ENCONTRO LATINO AMERICANO DE ECOLOGIA E TAXONOMIA DE OLIGOQUETAS (ELAETAO3)

George G. BROWN¹ & Jorge DOMÍNGUEZ²

¹Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira km. 111, C.P. 319, Colombo, PR, 83411-000, Brasil.

e-mail: browng@cnpf.embrapa.br

²Departamento de Ecoloxía e Bioloxía Animal, Universidade de Vigo, Vigo E-36310, España.

e-mail: jdguez@uvigo.es

Brown, G. G. & Domínguez, J. 2010. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3). *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 1-18.

RESUMO. Dentre os animais que vivem no solo, as minhocas figuram como um dos mais importantes, por serem engenheiras do ecossistema e realizarem vários serviços ambientais, incluindo o controle biológico, a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a formação e a agregação do solo, fatores estes que afetam geralmente de forma positiva o crescimento das plantas. Além disso, as minhocas também são muito úteis como bioindicadores da qualidade ambiental, estando relacionadas às condições ambientais como a fertilidade do solo e sendo susceptíveis à perturbação e contaminação do habitat. No entanto, seu uso como indicadoras ambientais tem sido reduzido, e a pesquisa sobre a ecologia desses animais e sua importância para os ecossistemas latino-americanos ainda é incipiente. Apesar de já existir um conhecimento razoável sobre algumas das espécies mais comuns, o conhecimento da biologia básica e ecologia geral da maioria das mais de 960 espécies de minhocas latino-americanas, a maioria delas nativas e endêmicas, continua ínfimo. No 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3), realizado em Curitiba, em dezembro de 2007, discutiram-se diversos temas relacionados aos princípios e práticas e limitações do uso das minhocas como bioindicadoras ambientais. Os trabalhos publicados nesse número especial abordam diversos temas relacionados ao uso das minhocas como bioindicadoras de perturbação ou de condições ambientais em ecossistemas naturais; da fertilidade e potencial produtivo do solo; da contaminação do solo; do manejo de ecossistemas; e métodos de coleta e estudos quantitativos (incluindo a genética molecular) para avaliação do potencial como indicadoras. Outros trabalhos abordaram temas mais gerais, como a biodiversidade de oligoquetas na América do Sul, o conhecimento tradicional sobre minhocas e sua importância na compostagem de resíduos orgânicos, incluindo a biologia das espécies envolvidas e o uso do húmus como biofertilizante. Esperamos, portanto, que esse número especial contribua, para o melhor conhecimento do potencial das minhocas como indicadoras ambientais na América Latina.

Palavras-chave: Qualidade do solo, Oligochaeta, manejo sustentável, biodiversidade, perturbação, produtividade.

Recibido: 16/05/2008; aceptado: 08/01/2010.

Brown, G. G. & Domínguez, J. 2010. Uso de las lombrices de tierra como bioindicadoras ambientales: principios y prácticas – el 3º Encuentro Latino Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetos (ELAETAO3). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), Número Especial 2: 1-18.

RESUMEN. Entre los animales que viven en el suelo, las lombrices de tierra figuran como uno de los más importantes, pues son ingenieras del ecosistema y realizan varios servicios ambientales, incluyendo el control biológico, la descomposición de la materia orgánica, el ciclado de nutrientes, la formación y la agregación del suelo, factores éstos que afectan generalmente de forma positiva el crecimiento de las plantas. Las lombrices también son muy útiles como bioindicadoras de la calidad ambiental, estando relacionadas con las condiciones ambientales como la fertilidad del suelo y son susceptibles a la perturbación y contaminación del hábitat. Sin embargo, su uso como indicadoras ambientales ha sido reducido y la investigación sobre la ecología de estos animales y su importancia para los ecosistemas latino-americanos aún es incipiente. A pesar del conocimiento razonable sobre algunas de las especies más comunes, se sabe muy poco sobre la biología básica y ecología general de la mayor parte de las más de 960 especies de lombrices latino-americanas, la mayoría de ellas nativas y endémicas. En el 3er Encuentro Latino Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetas (ELAETAO3), realizado en Curitiba, en diciembre del 2007, se discutieron diversos temas relacionados con los principios y prácticas y limitaciones del uso de las lombrices como bioindicadoras ambientales. Los trabajos publicados en este número especial abordan diversos temas relacionados con el uso de las lombrices como bioindicadoras de perturbación o de condiciones ambientales en ecosistemas naturales; de la fertilidad y potencial productivo del suelo; de la contaminación del suelo; del manejo de ecosistemas; y métodos de colecta y estudios cuantitativos (incluyendo la genética molecular) para evaluar el potencial como indicadoras. Otros trabajos abordaron temas más generales, como la biodiversidad de lombrices en América Latina, el conocimiento tradicional sobre lombrices y su importancia en el compostaje de residuos orgánicos, incluyendo la biología de las especies involucradas y el uso de los excrementos como biofertilizantes. Esperamos, por lo tanto, que este número especial contribuya para el mejor conocimiento del potencial de las lombrices como indicadoras ambientales en Latinoamérica.

Palabras clave: Calidad del suelo, Oligochaeta, manejo sostenible, biodiversidad, perturbación, productividad.

INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo é a base da produtividade e da viabilidade dos ecossistemas terrestres. Essa fertilidade só pode ser mantida ou melhorada se a qualidade do solo for garantida (Doran & Zeiss 2000). A qualidade do solo é um conceito abrangente, envolvendo todos os seus componentes físicos, químicos e biológicos, e pode ser definida como a capacidade do solo de funcionar, dentro de seus limites ambientais, como sustento para a produtividade biológica, para a manutenção da qualidade ambiental e promoção da saúde animal e vegetal (Doran & Parkin 1994).

Como raramente é possível analisar todas as características e os processos físicos, químicos e biológicos do solo para avaliar sua qualidade, principalmente devido a limitações de tempo e custo, tem-se buscado encontrar parâmetros que possam ser avaliados como indicadores da qualidade geral do solo e do ambiente, reduzindo, assim, a lista de parâmetros a ser avaliados. Os parâmetros biológicos tendem a ser mais sensíveis e reacionar mais rapidamente que os parâmetros físicos e químicos, e por isso tem sido usados frequentemente para indicar a qualidade do solo (Brussaard

et al. 2007). Entre esses parâmetros está a população de minhocas, organismos que possuem um apelo especial aos agricultores, por serem fáceis de visualizar e coletar.

MINHOCAS COMO AGENTES E REAGENTES DE TRANSFORMAÇÃO AMBIENTAL

A diversidade e abundância das populações de minhocas presentes em um local particular são determinadas e controladas por uma série de fatores (determinantes) hierárquicos, operando em diferentes escalas do tempo e do espaço (Lavelle 1996, Brown *et al.* 2006b; Fig. 1). No topo da hierarquia, o clima determina os regimes hídricos e de temperatura que, por sua vez, moldam o tipo da vegetação e solos na região, que determinam a natureza e abundância de minerais de argila e a fertilidade do solo (também determinada pelo tipo de rocha mãe). Nesse nível, a variabilidade da paisagem, topografia, e o “pool” (a diversidade) de espécies na vegetação também são importantes. Super-imposto sobre esse “background” estão as escolhas realizadas pelas comunidades locais, que determinam o tipo de uso do solo e as práticas de manejo associadas (Fig. 1 e 2).

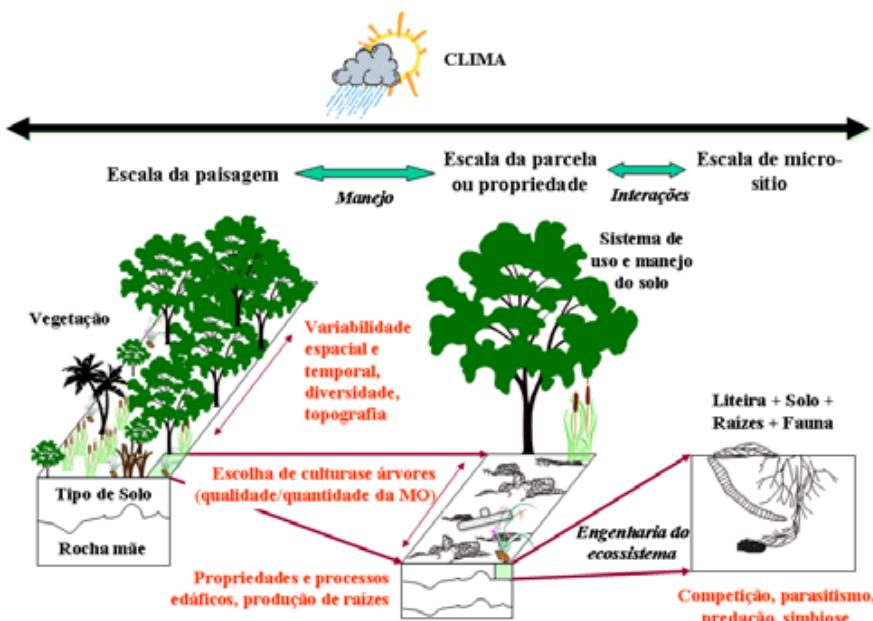


Figura 1. Determinantes hierárquicos da diversidade e abundância das populações de minhocas de um determinado ecossistema na região tropical (modificado de Lavelle 1996 e Brown *et al.* 2006b).



Figura 2. Efeito de diversas práticas de manejo adotadas em agroecossistemas na população e diversidade de minhocas (modificado de Hendrix *et al.* 1990 e Brown *et al.* 2006b). A posição das práticas no eixo y representa sua contribuição relativa (importância hipotética) ao aumento ou à diminuição das populações e diversidade de minhocas.

Portanto, pode-se dizer que a comunidade de minhocas presente em um dado lugar é uma função das condições edáficas (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, conteúdo de matéria orgânica (MO), umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricas (especialmente humana, mas também geológica), topográficas (posição fisiográfica, inclinação) e climáticas (precipitação, temperatura, vento, umidade relativa do ar) do local (Reynolds & Jordan 1975, Lavelle 1996) do local (Fig. 1).

Essas condições, além de diversas barreiras geográficas (cursos de água doce e salgada, montanhas, desertos, geleiras ou regiões geladas/pedregosas) e climáticas presentes e passadas (Reynolds 1994), podem gerar uma forte pressão de especiação

e endemismo nas minhocas. Portanto, as populações de minhocas podem servir como indicadores da cobertura vegetal, do uso, do manejo e da qualidade do solo e seu potencial produtivo (Paoletti 1999, Doube & Schmidt 1997), algo que os agricultores normalmente reconhecem (Lima & Brussaard, este número).

As minhocas são sensíveis e reagem a mudanças induzidas por atividades antrópicas e naturais ao solo e sua cobertura vegetal (Fig. 2). Portanto, elas podem dar noções do estado atual dos ecossistemas e de mudanças induzidas aos mesmos, por forças internas e externas (bióticas e abióticas) através do tempo. Essas características são úteis para programas de avaliação e monitoramento da qualidade ambiental. Na Holanda, por exemplo, as minhocas fazem parte de um programa nacional de avaliação e monitoramento da qualidade do solo e da sustentabilidade de agroecossistemas (com amostragem em dezenas de fazendas em nível nacional, a cada 4 anos), junto com diversos outros parâmetros físicos, químicos e biológicos (Rutgers *et al.* 2009).

Porém, além de reagentes a mudanças, as minhocas também são agentes transformadores do solo mudando suas características físicas, químicas e biológicas através da construção de galerias (túneis) no solo e a deposição de coprólitos na superfície e na matriz edáfica (Lavelle 1988). A drilosfera, resultado da ação das minhocas no solo pode ocupar uma proporção importante do volume do solo (Brown *et al.* 2000), e resultar numa transformação profunda de seu funcionamento. Lavelle *et al.* (1997) chamam esse processo de “engenharia do ecossistema”.

Portanto, considerando que as minhocas não somente agem sobre seu ambiente, mas também reagem a, ou são sensíveis às suas características, e às transformações nas mesmas, elas podem ser úteis para indicar tanto o “status-quo”, quanto as tendências de mudanças no seu ambiente. A aplicação desses conceitos inclui o uso das minhocas como indicadoras de perturbação ambiental, da qualidade, contaminação, e potencial produtivo do solo, da biodiversidade de outros grupos de animais e microorganismos edáficos, e da sustentabilidade de diferentes práticas de manejo em ecossistemas agrícolas e florestais. A seguir, providenciamos alguns detalhes sobre cada um desses temas.

MINHOCAS COMO INDICADORAS DA QUALIDADE E POTENCIAL PRODUTIVO DO SOLO

As minhocas estão entre os organismos edáficos mais importantes para vários processos considerados críticos para a manutenção da fertilidade e qualidade dos solos de agroecossistemas e ecossistemas naturais (Lavelle *et al.* 2001). Dentre esses processos estão a agregação do solo e a decomposição da MO do solo e resíduos vegetais, incluindo a liteira superficial (Lavelle 1988). As minhocas formam estruturas biogênicas (coprólitos) constituídas de agregados altamente estáveis que garantem boa porosidade ao solo e, geralmente, resistência à degradação, seja erosão hídrica, eólica

ou mecânica (Blanchart *et al.* 2004). Por consumirem MO em diferentes estágios de decomposição, as minhocas também alteram de forma importante sua dinâmica de decomposição e mineralização (Lavelle 1997, Hernández *et al.* e Bartz *et al.*, este número).

No curto prazo, as minhocas epígeas (que vivem na liteira e consomem MO mais fresca) e anélicas (que vivem no solo, mas consomem uma mistura de serapilheira e MO do solo) facilitam a decomposição da MO por fragmentar as partículas maiores e aumentar seu contato com o solo e a atividade de outros organismos (especialmente microorganismos) (Brown 1995). A ação das espécies epígeas *Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867), *Eisenia andrei* Bouché, 1972 e *Eisenia fetida* (Savigny, 1926) sobre a decomposição de resíduos orgânicos (de origem animal e vegetal) se conhece razoavelmente bem (Domínguez & Gómez-Brandón, este número), e essas espécies são usadas amplamente para a minhocultura na América Latina. Os coprólitos dessas espécies (vulgarmente chamado de “húmus de minhoca”) têm sido amplamente usados em jardins e hortas, e também podem ser usadas como adubo orgânico bioestimulante em culturas agrícolas ou ornamentais de alto valor (Domínguez *et al.* e Steffen *et al.*, este número).

O efeito das espécies endógeas (que vivem no solo e consomem MO do solo) na dinâmica da MO continua sendo debatido, pois parece depender do tipo e da dinâmica dos coprólitos (agregados) produzidos (Six *et al.* 2004). Nos coprólitos, a ação mineralizadora iniciada no intestino pode continuar por um curto período, mas com a estabilização e secagem, a atividade química e biológica tende a diminuir (Lavelle 1997). Em longo prazo, a ação das minhocas (especialmente endógeas) pode até contribuir para a conservação da MO em coprólitos compactados, onde a atividade microbiana é restrita (Martin 1991).

U das poucas espécies endógeas latino-americanas para a qual se conhecem razoavelmente bem os efeitos em diversos parâmetros e processos edáficos, é a espécie nativa *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) (Lavelle *et al.* 1987, Brown & James 2007, Hernández *et al.* e Bartz *et al.*, este número). Para prever adequadamente o efeito e a importância relativa de diversas espécies de minhocas (nativas e/ou introduzidas) na decomposição e/ou estabilização da MO, é necessário estudar as comunidades e atividade das minhocas no campo, em diferentes ecossistemas agrícolas, florestais e naturais, e cultivar essas espécies em condições controladas, analisando os coprólitos produzidos. Para tal finalidade diversas técnicas espectroscópicas e morfológicas parecem ser especialmente úteis (Velázquez *et al.* 2007, Millori *et al.* 2006).

De modo geral, os agricultores consideram as minhocas (mesmo espécies exóticas ou peregrinas) como organismos benéficos e importantes para a manutenção da fertilidade do solo (Lima & Brussard, este número). Muitos relacionam altas populações de minhocas com “terra boa”. Até o nome do “Clube da Minhoca,” (usado pela asso-

ciação de produtores de Plantio Direto-PD) na região dos Campos Gerais do Paraná, foi inspirado neste fato (Brown *et al.* 2003). O aumento nas populações e atividade das minhocas é geralmente associado a melhorias na fertilidade do solo, na produção de grãos e na sustentabilidade agrícola (Peixoto & Marochi 1996), a pesar de existirem poucos dados que comprovem este fenômeno em nível de campo.

A atividade das minhocas afeta direta ou indiretamente o crescimento vegetal (Brown *et al.* 2004), mas apenas algumas espécies de minhocas e plantas têm sido avaliadas até o momento, e pouquíssimos estudos foram realizados na América Latina (Brown *et al.* 1999, Scheu 2003, Huerta *et al.*, Brown *et al.* e Avila *et al.*, este número). Geralmente, o efeito das minhocas é positivo, aumentando a produtividade das plantas (Brown *et al.* 1999, Scheu 2003), via alterações nas propriedades físico-químicas do solo, no crescimento das raízes (Brown *et al.*, este número), na atividade e populações de fito-parasitas, microorganismos patogênicos e benéficos, na produção de fito-hormônios, e na germinação e distribuição de sementes (Brown *et al.* 2004, Domínguez *et al.*, este número).

Portanto, na maioria dos casos, pode ser interessante buscar aumentar suas populações, em prol da fertilidade do solo e sustentabilidade agrícola e ambiental. Porém, ainda são necessários mais dados de coleta e correlações das propriedades biológicas com os demais parâmetros físico-químicos importantes na descrição e identificação de solos férteis e altamente produtivos. Para melhor aproveitar os benefícios gerados pelas minhocas à produtividade agrícola e florestal, é preciso também conhecer os fatores (e combinações dos mesmos) que promovem suas populações, atividade e efeitos positivos ao solo. Porém, apenas alguns trabalhos científicos nesse sentido foram realizados, até o momento, na América Latina (Brown & Fragoso 2007).

Apesar dos efeitos benéficos das minhocas sobre as plantas serem predominantes (Brown *et al.* 1999), há casos em que as minhocas podem se comportar como pragas, causando danos às lavouras. Esse fenômeno tem sido observado especialmente em cultivos de arroz nas Filipinas, na Austrália (Barrión & Litsinger 1997, Kale *et al.* 1989, Stevens & Warren 2000, Simpson *et al.* 1993ab) e, empiricamente, no Brasil (Barrigossi *et al.* 2009). O dano está normalmente associado a altas populações de minhocas em arroz irrigado, cuja atividade de bioturbação do solo enfraquece o sistema radicular, causando tombamento das plantas e dificultando a colheita. Diversos relatos de agricultores e técnicos confirmaram que esse fenômeno vem ocorrendo em alguns locais no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e no Rio Grande do Sul, onde pesticidas (carbamatos) estão sendo usados para eliminá-las das lavouras (Bartz *et al.* 2009). Segundo os produtores, a redução da produção de grãos em campos com altas populações de minhocas pode chegar a 15%, comparada a de campos com baixas populações (J.A. Barrigossi, comunicação pessoal). Suspeita-se que as práticas de manejo estejam causando uma explosão demográfica das minhocas e, consequentemente, esses efeitos negativos, mas o fenômeno ainda não foi bem estudado e existe

controvérsia na literatura sobre o assunto em nível internacional. Alguns autores afirmam que as minhocas não causam danos, enquanto outros afirmam que sim. Claramente, estes fenômenos devem ser mais bem pesquisados para comprovar as espécies envolvidas, suas populações, os danos causados e os possíveis métodos de controle a serem efetuados (com o mínimo de impacto ambiental negativo).

MINHOCAS COMO INDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

O uso de insumos externos é essencial para manter a alta produtividade e fertilidade dos solos cultivados intensamente. Contudo, o uso indiscriminado desses insumos (especialmente pesticidas) pode afetar negativamente a biota do solo, incluindo as minhocas (Edwards & Bohlen 1996). Alguns produtos possuem efeitos diretos, enquanto outros causam alterações mais sutis, indiretas, nas populações de minhocas. Algumas minhocas podem evitar áreas contaminadas por substâncias xenobióticas tais como pesticidas, metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo (Loureiro *et al.* 2005, Römbke 1996), o que, evidentemente, impede sua ação benéfica no solo, refletindo no funcionamento de todo o ecossistema.

Atualmente, a avaliação do potencial toxicológico de substâncias químicas para o solo tem sido feita usando testes de toxicidade aguda e de reprodução (efeito crônico) (OECD 1984, ISO 11268-1 1993, ISO 11268-2 1998). Testes de repelência ou fuga, baseados na resposta comportamental das minhocas, têm sido propostos como uma alternativa para a rápida avaliação de solos contaminados, inclusive em baixas concentrações do produto (Yeardley *et al.* 1996, Slimak 1997, Hund-Rinke & Wiedehorst 2001). Ambos os testes são úteis para avaliar os efeitos e possíveis riscos da contaminação de solos, mas normalmente envolvem solo artificial e condições que não refletem adequadamente a realidade do produto quando aplicado no campo. Além disso, foram desenvolvidos para a espécie-teste padrão *E. fetida*, que vive em habitats ricos em MO como resíduos orgânicos de origem animal ou vegetal, e não sobrevive em solos tropicais, como as espécies endógeas nativas. Contudo, muitos estudos latino-americanos foram realizados com outra espécie, *E. andrei*, e erroneamente atribuídos à espécie *E. fetida*, por serem espécies bastante similares externamente (Andrea e Domínguez *et al.*, este número).

Embora *E. fetida* e *E. andrei* possam ser consideradas menos relevantes para estudos toxicológicos, por não representarem a fauna de minhocas de solos tropicais, estas têm sido amplamente utilizadas, já que ainda não foi encontrada uma espécie tropical adequada para testes toxicológicos em laboratório (Andréa, este número). Para tal finalidade, é necessário encontrar e criar em cativeiro espécies nativas (por exemplo, *P. corethrurus*) ou exóticas (por exemplo, *Dichogaster* ou *Amynthas* spp.) comumente encontradas em solos manejados (agrícolas e florestais), e reproduzir condições de solo mais semelhantes à realidade do campo nas regiões neotropicais. Avaliações preliminares usando a espécie nativa *P. corethrurus* e solos tropicais têm

sido realizadas com êxito, e demonstram potencial para aplicação mais ampla (Garcia 2004). Esses testes precisam ser mais bem desenvolvidos e padronizados para garantir uma maior relevância ecológica e agronômica dos estudos ecotoxicológicos.

MINHOCAS COMO INDICADORAS DA BIODIVERSIDADE DO SOLO

Sendo engenheiras do ecossistema, as minhocas alteram o solo como um habitat fisi-
co para os demais organismos edáficos (Lavelle *et al.* 1997). Sua atividade pode levar
ao aumento ou diminuição na população de diversos organismos no solo, incluindo
representantes da macro, meso e micro-fauna. Especificamente, têm-se observados
efeitos da atividade das minhocas na diversidade, abundância e atividade de diversos
fungos (incluindo micorrizas), bactérias, protozoários, nematóides (de vida livre e
fitoparasíticos), enquîtreideos, colêmbolos, ácaros, milipéias, tatusinhos e outros ani-
mais (Brown 1995, Brown & Doube 2004, Edwards & Arancón 2005). Mas o efeito
final das minhocas sobre a comunidade edáfica e sua biodiversidade varia conforme
a composição específica da comunidade de minhocas, sua abundância num determi-
nado solo, a composição do ambiente (tipo de solo e vegetação) e as interações com
outros organismos habitando o solo no local (Brown *et al.* 2000). Os organismos
mais susceptíveis à competição por recursos ou àqueles incapazes de se adaptar à
drilosfera criada pelas minhocas podem sofrer uma diminuição de suas populações
e/ou atividade. Já aqueles capazes de competir ou de utilizar as estruturas e recursos
disponibilizados ou alterados pelas minhocas, podem se manter ou até aumentar em
abundância.

Contudo, existem pouquíssimos dados sobre as características da drilosfera pro-
duzidas pelas espécies mais comuns em agroecossistemas (Fragoso *et al.* 1999a), e
pelas centenas de espécies presentes na vegetação nativa nos diversos biomas latino-
americanos (Fragoso & Brown 2007). Além disso, a comunidade edáfica tem sido
avaliada geralmente de forma restrita (Moreira *et al.*, 2006, Aquino *et al.* 2008), e
maiores estudos são necessários sobre a biodiversidade do solo em geral e sobre os
possíveis impactos da engenharia do ecossistema induzida por comunidades de mi-
nhocas (especialmente espécies nativas) sobre o solo e sua comunidade/diversidade.

MINHOCAS COMO INDICADORAS DE PERTURBAÇÃO AMBIENTAL

Devido à alta correlação de algumas espécies de minhocas com certas propriedades
ambientais (tipo de solo, vegetação, etc.), sua baixa capacidade de dispersão e grande
susceptibilidade a mudanças no tipo de vegetação, à contaminação, à perturbação do
solo, e a outras mudanças físicas, químicas ou biológicas nos ecossistemas, as mi-
nhocas podem ser usadas como indicadores de perturbações ambientais antrópicas e
naturais (Paoletti 1999). Por exemplo, no Brasil, das 260 espécies nativas conhecidas,
80% estão associadas à habitats particulares, têm distribuição restrita (encontrada em

apenas um ou dois locais) e poderiam ser consideradas endêmicas (Brown & James 2007). Várias dessas espécies poderiam servir como indicadores de paleo-ambientes e de vegetação primária ou em bom estado de preservação.

Porém, até o momento, as minhocas não têm sido usadas para esse fim, principalmente pela falta de conhecimento das espécies nativas e sua distribuição nos países Latino-Americanos, pela falta de pessoal qualificado para realizar tais estudos (existem poucos pesquisadores e taxonomistas de minhocas na América Latina), e pela pouca interação entre pesquisadores de minhocas e biólogos da conservação.

Uma exceção fortuita ocorreu numa viagem realizada em fevereiro de 2006, quando os pesquisadores James & Brown (este número) encontraram, em um fragmento de Mata Atlântica do Parque Estadual do Itacolomi (Ouro Preto, Brasil), uma espécie de minhoca (*Fimoscolex sporadochaetus* Michaelsen, 1918) que havia sido declarada extinta (Machado *et al.* 2005). Felizmente, os pesquisadores também conheceram nessa viagem, uma pesquisadora envolvida na elaboração do plano de manejo do parque. Assim, o local onde essa minhoca foi encontrada, e seu entorno, foi usado no plano de manejo, visando melhor preservação da espécie e seu habitat e, consequentemente, de outros animais, plantas e microorganismos que habitam o local. Esse tipo de informação é importante e deveria ser gerado e utilizado em outros casos onde ocorrem alto endemismo e espécies que poderiam estar ameaçadas.

Muitas espécies exóticas (oriundas de outros países e não nativas ao país) de minhocas são amplamente distribuídas no Brasil (Brown *et al.* 2006a) e na América Latina (Fragoso & Brown 2007), e estas quase sempre estão associadas a ambientes antropogênicos, e a atividades humanas de dispersão (Righi 1997). Por serem espécies adaptadas a essas áreas, elas são úteis indicadoras de ecossistemas perturbados. Algumas espécies exóticas são fáceis de coletar e identificar sendo, portanto, úteis para avaliar a integridade de ecossistemas e o histórico de perturbação (Fernandes *et al.*, este número), dados essenciais para conhecer a biodiversidade de um ecossistema, determinar a necessidade de sua preservação, e elaborar um plano de manejo. Esses dados seriam também úteis na escolha de novas áreas para unidades de conservação, e para determinar áreas melhor preservadas que precisam maiores esforços de conservação.

Além disso, a atividade de espécies exóticas pode ter consequências tanto positivas como negativas para o solo, as plantas e as populações de espécies nativas do local invadido (Righi 1967, Hendrix & Bohlen 2002). Porém, sabe-se muito pouco do efeito da presença e da invasão de novas áreas por estas espécies nas propriedades e processos edáficos, e sobre as populações (diversidade, abundância, biomassa) de espécies de minhocas nativas e outros organismos edáficos (González *et al.* 2006, Brown *et al.* 2006a). Considerando a crescente pressão antrópica sobre os ecossistemas naturais latino-americanos, a fragilidade de muitos destes, e o poder invasor de certas espécies exóticas, a integridade da flora e fauna desses ambientes pode estar comprometida.

Esses fenômenos e o potencial uso das espécies nativas e exóticas (e a proporção de ambas; Fragoso *et al.* 1997, Brown & James 2007) como indicadores do estado de preservação precisam ser mais bem investigados. Além disso, as coletas realizadas até o momento ainda são insuficientes para determinar com precisão o endemismo de muitas espécies nativas latino-americanas (Fragoso & Brown 2007). Um maior esforço de coleta deve ser feito, não só para determinar a diversidade total de minhocas latino-americanas, mas também para verificar aquelas que têm distribuição restrita e/ou estão ameaçadas, devido a necessidades ambientais específicas, comportamento, e/ou pressão antrópica sobre suas populações.

MINHOCAS COMO INDICADORAS DO MANEJO DE ECOSISTEMAS

As decisões humanas sobre o manejo do solo e dos ecossistemas jogam um papel crucial na determinação de diversos fatores importantes para a manutenção das populações e diversidade de minhocas. A ausência de preparo do solo, o uso (ou não) de insumos agroquímicos (calcário, fertilizantes, herbicidas, pesticidas, fungicidas) ou orgânicos (esterco/adubos orgânicos), cultivos de cobertura/adubos verdes, rotações, irrigação, fogo e máquinas pesadas são fatores importantes (Fig. 2). O efeito dessas práticas é variável e pode aumentar ou diminuir a diversidade, abundância e atividade da população de minhocas de um determinado local (Hendrix *et al.* 1990). As espécies anécticas e epígeas são especialmente afetadas por práticas que alteram a quantidade e qualidade da liteira, como queimadas, compactação, preparo do solo (efeitos negativos), ou o uso de coberturas vegetais, adubo orgânico e plantio direto (efeitos positivos). Já as espécies endógeas parecem ser menos afetadas e mais resistentes a muitas práticas agrícolas, e tendem a ser mais abundantes em solos de agroecossistemas (Fragoso *et al.* 1999b).

A qualidade e quantidade de MO produzida e depositada dentro do solo e na sua superfície, e o tipo e combinação de plantas usadas ou presentes no ecossistema, são importantes determinantes das populações e diversidade de minhocas em um determinado local (Fig. 1). Ecossistemas com proteção da superfície do solo e maior aporte de recursos orgânicos tendem a ter maiores populações de minhocas (Lavelle *et al.* 2001). A presença de árvores (Lavelle & Spain 2001) e de gramíneas (Decaëns *et al.* 2004) também é importante, pois altera o microclima local e as propriedades do solo e, portanto, suas condições como habitat para as minhocas.

Na América Latina em geral, e no Brasil, em particular, diversos estudos têm avaliado populações de minhocas em diferentes ecossistemas, vegetação e práticas de manejo do solo, mas apenas alguns estudos foram realizados em sistemas agroflorestais e agrosilvopastoris, e plantações florestais (Lavelle *et al.* 1994, Fragoso *et al.* 1999b, James & Brown 2006, Bautista & Delgado 2003, Baretta *et al.* 2007, Baretta *et al.*, Rousseau *et al.*, Falco & Momo, Momo & Falco e Zerbino, este número). Sabe-se

que algumas técnicas como o plantio direto ou coberturas verdes perenes como plantações de árvores e pastagens, aumentam suas populações (Brown *et al.* 2003, Decaëns *et al.* 2004, Barros *et al.* 2003). Porém, sabe-se muito pouco do efeito de sistemas mais integrados e menos intensivos de manejo (produção orgânica, sistemas florestais ou agroflorestais) sobre as populações de minhocas nativas latino-americanas.

Portanto, para melhor entender e aproveitar o potencial das minhocas como indicadoras do manejo e da sustentabilidade das técnicas adotadas, especialmente em agroecossistemas, é ainda necessário aumentar o conhecimento das populações de minhocas em diferentes condições de solo, clima, vegetação e em diferentes tipos de agroecossistemas. Como há várias metodologias para coletar minhocas, e suas populações são afetadas pelas condições climáticas, é necessário possuir dados de coletas em diferentes épocas e anos e padronizar os métodos e épocas de coleta (Baretta *et al.* 2007, Martins *et al.*, este número). Esses dados podem ser usados tanto para fazer uma avaliação do estado atual, quanto para conhecer e prever as tendências positivas ou negativas do manejo adotado nos ecossistemas sobre as populações de minhocas. Uma base de dados como essa poderia ser usada para comparar e prever mudanças induzidas por práticas de manejo, e para escolher as técnicas que promovem as espécies desejadas, visando estimular seus efeitos benéficos ao solo e seu funcionamento.

O 3º ENCONTRO LATINO AMERICANO DE ECOLOGIA E TAXONOMIA DE OLIGOQUETAS (ELAETAO3)

Seguindo a tradição iniciada com o 1º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO 1) realizado em Londrina, Brasil (2003) (Brown & Fragoso 2007), e continuada pelo ELAETAO2 em San Juan, Puerto Rico (2005) (Sastre-de-Jesús & González 2006), realizou-se, em Curitiba, Brazil, o ELAETAO3, de 3-6 de dezembro de 2007.¹ O tema do encontro foi “Minhocas como bioindicadoras ambientais: Princípios e práticas.” Participaram 49 pessoas de 10 países (Fig. 3), e se apresentaram 30 palestras e mais de 30 pôsteres, em quatro sessões: 1) Importância ecológica das minhocas; 2) Princípios e práticas do uso de minhocas como bioindicadoras de perturbação em ecossistemas naturais; 3) Princípios e práticas metodológicas do uso de minhocas como bioindicadoras ambientais; 4) Princípios e práticas do uso de minhocas como bioindicadoras de perturbação em ecossistemas produtivos.

Os trabalhos escolhidos para publicação nesse número especial abordam diversos temas relacionados ao uso das minhocas como bioindicadoras: a) de perturbação ou de condições ambientais em ecossistemas naturais (Fernandes *et al.*, James & Bro-

¹ O evento foi organizado pela Universidade Positivo e a Embrapa Florestas e recebeu financiamento do CNPq, Embrapa (Agrofuturo), Iguaçu Celulose S.A., Fundação Agrisus e Universidade Positivo.



Figura 3. Participantes do 3º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO 3) realizado na Universidade Positivo em Curitiba, Brazil, de 3-6 de dezembro de 2007 (Foto Klaus D. Sautter).

wn, Momo & Falco); b) da fertilidade e do potencial produtivo do solo (Bartz *et al.*, Brown *et al.*, Avila *et al.*, Huerta *et al.*, Hernández *et al.*); c) da contaminação do solo (Andréa); d) do manejo de ecossistemas (Lima & Brussaard, Ruiz *et al.*, Falco & Momo, Baretta *et al.*, Zerbino, Feijoo *et al.*, Rousseau *et al.*); e e) métodos de coleta e estudos quantitativos (incluindo a genética molecular) para avaliação do potencial como indicadoras (Martins *et al.*, Baretta *et al.*, Siqueira *et al.*, Rousseau *et al.*). Outros trabalhos abordaram temas mais gerais, como a biodiversidade de oligoquetas na América do Sul (Christoffersen) e o conhecimento tradicional sobre minhocas (Schiedeck *et al.*). Finalmente, uma série de trabalhos também enfocou a importância de processos ecológicos que ocorrem durante a minhocultura (Brandón *et al.*, Domínguez *et al.*, Aira & Domínguez, Steffen *et al.*), a biologia das espécies envolvidas (Domínguez & Gómez-Brandón, Domínguez *et al.*), e o uso do húmus como biofertilizante (Domínguez *et al.*, Steffen *et al.*).

Um tema amplamente comentado durante o evento foi a necessidade urgente de treinamento em taxonomia de minhocas, um processo complexo e de longa duração.

Com a morte do Prof. Gilberto Righi e a aposentadoria iminente de outros taxonomistas Latino Americanos, restam poucos pesquisadores que podem identificar as espécies de minhocas nativas da América Latina (Christoffersen, este número). Esse problema é ainda exacerbado pela existência provável de (no mínimo) outras 1000 espécies de minhocas a serem encontradas e descritas na América Latina. Usando a taxa anual de descrição de espécies de minhocas do Dr. Righi (6,4 espécies por ano; Fragoso *et al.* 2003), seriam necessários 5 taxônomos trabalhando durante 43 anos, para descrever essas espécies.

Porém, esses recursos humanos não estão disponíveis/existentes e deve-se, portanto, buscar capacitar urgentemente novos taxonomistas para apoiar os esforços de reconhecimento, conservação e manejo da mega-diversa fauna latino-americana. Além disso, deve-se buscar digitalizar e disponibilizar as informações taxonômicas (fotos, diagramas, descrições) existentes das espécies conhecidas e produzir chaves de identificação para as espécies mais comuns, tanto nativas como exóticas na América Latina. Essas atividades estão sendo realizadas pelos membros do ELAETAO e em breve as informações serão disponibilizadas na internet, visando facilitar os trabalhos de pesquisa com minhocas no continente Americano.

Em conclusão a presença, abundância e diversidade de minhocas podem indicar o impacto causado por diversas atividades antrópicas em ecossistemas agrícolas e naturais, incluindo seu manejo, nível de perturbação, conservação, contaminação e produtividade potencial. Contudo, o uso das minhocas como indicadores ambientais, continua sendo restrito na América Latina, principalmente devido às limitações no conhecimento da biologia básica, da taxonomia e da ecologia da maioria das espécies presentes nos ecossistemas latino-americanos. Alternativas para contornar essas dificuldades estão sendo desenvolvidas e espera-se que futuras pesquisas e cooperação na área, assim como realizado nos ELAETAO tragam grandes avanços no conhecimento e no uso das minhocas como indicadoras ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido durante o evento pelos colegas K.D. Sautter, Cláudia Garbuio e Décio Adams Júnior, e as organizações que financiaram o evento: Agrisus, Iguaçu Celulose e o CNPq.

LITERATURA CITADA

- Aquino, A. M., M. E. F. Correia & M. V. Alves.** 2008. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. Pp. 143-170. In: F.M.S. Moreira, J.O. Siqueira and L. Brussard (Eds). *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. UFLA, Lavras.
- Baretta, D., G. G. Brown, S. W. James & E. J. B. N. Cardoso.** 2007. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. *Scientia Agricola*. 64: 384-392.

- Barrigossi, J. A. F., G. G. Brown & C. Pedretti Jr.** 2009. Minhocas em arroz irrigado: pragas ou benéficas? In: *Anais do VI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado*. IRGA, Porto Alegre. p. 1-4.
- Barrion, A. T. & J. A. Litsinger.** 1997. *Dichogaster* nr. *curgensis* Michaelsen (Annelida: Octochaetidae): an earthworm pest of terraced rice in the Philippine Cordilleras. *Crop Protection*. 16: 89-93.
- Barros, E., A. Neves, E. Blanchart, E. C. M. Fernandes, E. Wandelli & P. Lavelle.** 2003. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*. 47: 273-280.
- Bartz, M. L. C., G. G. Brown, A. Pasini, A. C. R. Lima & D. N. Gassen.** 2009. As minhocas e o manejo do solo: o caso do plantio direto e do arroz irrigado. *Revista Plantio Direto*. 01 jul. 2009: 4-8.
- Bautista, F. & C. Delgado.** 2003. Abundancia de oligoquetos y gasterópodos con el uso de leguminosas como mantillo y cultivo de cobertura. Pp. 125-143. In: G. G. Brown, C. Fragoso and L. J. Oliveira (Eds). *O uso da macrofauna edáfica na agricultura do século XXI: a importância dos engenheiros do solo*. Embrapa Soja, Londrina.
- Blanchart, E., A. Albrecht, G. G. Brown, T. Decäens, A. Duboisset, P. Lavelle, L. Mariani & E. Roose.** 2004. Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 104: 303-315.
- Brown, G. G.** 1995. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? *Plant & Soil*. 170: 209-231.
- Brown, G. G. & B. M. Doube.** 2004. Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. Pp. 213-239. In: C. A. Edwards (Ed). *Earthworm ecology*, 2nd Edn. CRC Press, Boca Raton.
- Brown, G. G. & C. Fragoso. (Eds)** 2007. *Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia*. Embrapa Soja, Londrina.
- Brown, G. G. & S. W. James.** 2007. Biodiversidade, biogeografia e ecologia das minhocas no Brasil. Pp. 297-381. In: G. G. Brown and C. Fragoso (Eds). *Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia*. Embrapa Soja, Londrina.
- Brown, G. G., B. Pashanasi, C. Villenave, J. C. Patrón, B.K. Senapati, S. Giri, I. Barois, P. Lavelle, E. Blanchart, R. J. Blakemore, A. V. Spain & J. Boyer.** 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. Pp. 87-147. In: P. Lavelle, L. Brussaard and P. F. Hendrix (Eds). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International, Wallingford.
- Brown, G. G., I. Barois & P. Lavelle.** 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*. 36: 177-198.
- Brown, G. G., N. P. Benito, A. Pasini, K. D. Sautter, M. F. Guimarães & E. Torres.** 2003. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. *Pedobiologia*. 47: 764-771.
- Brown, G. G., C. A. Edwards & L. Brussaard.** 2004. How earthworms affect plant growth: burrowing into the mechanisms. Pp. 13-49. In: C. A. Edwards (Ed). *Earthworm ecology*, 2nd Edn. CRC Press, Boca Raton.
- Brown, G. G., S. W. James, A. Pasini, D. H. Nunes, N. P. Benito, P. T. Martins & K. D. Sautter.** 2006a. Exotic, peregrine and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*. 42: 339-358.
- Brown, G. G., J. Römbke, H. Hofer, M. Verhaag, K. D. Sautter & D. L. Q. Santana.** 2006b. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. Pp. 217-242. In: A. C. Gama-Rodrigues, N. F. Barros, E. F. Gama-Rodrigues, M. S. Freitas, A. P. Viana, J. M. Jasmin, C. R. Marciano and J. G. A. Carneiro (Eds). *Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentado*. UENF, Campos dos Goytacazes.

- Brussaard, L., P. C. de Ruiter & G. G. Brown.** 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 121: 233-244.
- Doran, J. W. & T. B. Parker.** 1994. Defining and assessing soil quality. Pp. 3-21. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek and B. A. Stewart (Eds). *Defining soil quality for sustainable environment*. SSSA Special Publication No. 35, Madison.
- Doran, J. W. & M. R. Zeiss.** 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. 15: 3-11.
- Doube, B. M. & O. Schmidt.** 1997. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils? Pp. 265-295. In: C. E. Pankurst, B. M. Doube and V. V. S. R. Gupta (Eds). *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford.
- Edwards, C. A. & N. Q. Arancon.** 2005. Interactions among organic matter, earthworms and microorganisms in promoting plant growth. Pp. 327-376. In: F. Magdoff and R. Weil (Eds). *Functions and management of organic matter in agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton.
- Edwards, C. A. & P. J. Bohlen.** 1996. *Biology and ecology of earthworms*, 3rd Edn. Chapman and Hall, London.
- Fragoso, C. & G. G. Brown.** 2007. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latino-América: el primer Encuentro Latino-Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetas (ELAETAO1). Pp. 33-75. In: G. G. Brown and C. Fragoso (Eds). *Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecología*. Embrapa Soja, Londrina.
- Fragoso, C., G. G. Brown, J. C. Patrón, E. Blanchart, P. Lavelle, B. Pashanasi, B. K. Senapati & T. Kumar.** 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology*. 6: 17-35.
- Fragoso, C., J. Kanyonyo, A. Moreno, B. K. Senapati, E. Blanchart & C. Rodríguez.** 1999a. A survey of tropical earthworms: taxonomy, biogeography and environmental plasticity. Pp. 1-26. In: P. Lavelle, L. Brussaard and P. F. Hendrix (Eds). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CABI, Wallingford.
- Fragoso, C., P. Lavelle, E. Blanchart, B. K. Senapati, J. J. Jiménez, M. A. Martínez, T. Decaëns & J. Tondoh.** 1999b. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. Pp. 27-55. In: P. Lavelle, L. Brussaard and P. F. Hendrix (Eds). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CABI, Wallingford.
- Fragoso, C., G. G. Brown & A. Feijoo.** 2003. The influence of Gilberto Righi on tropical earthworm taxonomy: the value of a full-time taxonomist. *Pedobiologia*. 47: 400-404.
- Garcia, M.** 2004. *Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicological test methods for tropical regions*. Cuvillier Verlag, Goettingen. Tese de doutorado. 281p.
- González, G., C.-Y. Huang, X. Zou & C. Rodriguez.** 2006. Earthworm invasions in the tropics. *Biological Invasions*. 8:1247-1256.
- Hendrix, P. F., D. A. Crossley Jr., J. M. Blair, D. C. Coleman.** 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. Pp. 637-654. In: C.A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R.H. Miller and G. House (Eds). *Sustainable agricultural systems*. SWCS, Ankeny.
- Hendrix, P. F. & P. J. Bohlen.** 2002. Exotic earthworm invasions in North America: ecological and policy implications. *Bioscience*. 52: 801-811.
- Hund-Rinke, K. & H. Wiechering.** 2001. Earthworm avoidance test for soil assessments - an alternative for acute and reproduction tests. *Journal of Soils & Sediments*. 1: 15-20.
- ISO-11268-1.** 1993. International organization for standardization. Soil-quality – Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*) – Part 1: Determination of acute toxicity using artificial soil substrate. Geneve.
- ISO-11268-2.** 1998. International organization for standardization. Soil-quality – Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*) – Part 2: Method for the determination of effects on reproduction. Geneve.

- ISO-23611-1.** 2006. International organization for standardization. Soil-quality – Sampling of soil invertebrates - Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of earthworms. Geneve.
- James, S. W. & G. G. Brown.** 2006. Earthworm ecology and diversity in Brazil. Pp. 56-116. In: F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira and L. Brussaard (Eds). *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. CABI, Wallingford.
- Kale, R. D., K. Bano, J. Secilia & D. J. Bagyaraj.** 1989. Do earthworms cause damage to paddy crop? *Mysore Journal of Agricultural Science*. 23: 370-373.
- Lavelle, P.** 1988. Earthworms and the soil system. *Biology & Fertility of Soils*. 6: 237-251.
- Lavelle, P.** 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*. 9: 3-16.
- Lavelle, P.** 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*. 24: 93-132.
- Lavelle, P. & A. V. Spain.** 2001. *Soil ecology*. Kluwer, Norwell.
- Lavelle, P., I. Barois, C. Cruz, A. Hernández, A. Pineda, P. Rangel.** 1987. Adaptative strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. *Biology & Fertility of Soils*. 5: 188-194.
- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragozo, V. Eschenbrenner, D. López-Hernández, B. Pashanasi & L. Brussaard.** 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. Pp. 137-169. In: P. L. Woomer and M. J. Swift (Eds). *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Lavelle, P., D. Bignell, M. Lepage, V. Wolters, P. Roger, P. Ineson, O. W. Heal & S. Ghillion.** 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*. 33: 159-193.
- Lavelle, P., E. Barros, E. Blanchart, G. G. Brown, T. Desjardins, L. Mariani & J-P. Rossi.** 2001. SOM management in the tropics: why feeding the soil macrofauna? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 61: 53-61.
- Loureiro, S., A. M. V. M. Soares & A. J. A. Nogueira.** 2005. Terrestrial avoidance behavior tests as screening tool to assess soil contamination. *Environmental Pollution*. 138: 121-131.
- Machado, A. B. M., C. S. Martins & G. M. Drummond.** 2005. *Lista da fauna brasileira ameaçada de extinção, incluindo as listas das espécies quase ameaçadas e deficientes em dados*. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte.
- Martin, A.** 1991. Short-and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas, on soil organic matter. *Biology & Fertility of Soils*. 11: 234-238.
- Milori, D. M. B. P., H. V. A. Galetti, L. Martin Neto, J. Dieckow, M. G. Pérez, C. Bayer & J. C. Salton.** 2006. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*. 70: 57-63.
- Moreira, F. M., J. O. Siqueira & L. Brussaard.** 2006. Soil organisms in tropical ecosystems: a key role for Brazil in the global quest for the conservation and sustainable use of biodiversity. Pp. 1-12. In: F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira and L. Brussaard (Eds). *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. CABI, Wallingford.
- OECD.** 1984. Guideline for testing of chemicals no. 207. Earthworm acute toxicity test. OECD, Paris, France.
- Paoletti, M. G.** 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 74: 137-155.
- Peixoto, R. T. G. & A. I. Marochi.** 1996. A influência da minhoca *Pheretima* sp. nas propriedades de um latossolo vermelho escuro álico e no desenvolvimento de culturas em sistema de plantio direto, em Arapoti-PR. *Revista Plantio Direto*. 35: 23-25.

- Reynolds, J. W.** 1994. Earthworms of the world. *Global Biodiversity*. 4: 11-16.
- Reynolds, J. W. & G. A. Jordan.** 1975. A preliminary conceptual model of megadrile activity and abundance in the Haliburton Highlands. *Megadrilogica*. 2: 1-9.
- Righi, G.** 1967. O gênero *Pheretima* Kinberg (Oligochaeta) no Brasil. *Ciência & Cultura*. 19: 342-343.
- Righi, G.** 1997. Minhocas da América Latina: diversidade, função e valor. In: *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. SBCS, Rio de Janeiro. CD-Rom.
- Römbke, J.** 2006. Tools and techniques for the assessment of ecotoxicological impacts of contaminants in the terrestrial environment. *Human and Ecological Risk Assessment*. 12: 84-101.
- Römbke, J. & J. Moltmann.** 1996. *Applied Ecotoxicology*. CRC Press, Boca Raton.
- Rutgers, M., A. J. Schouten, J. Bloem, N. Van Eekeren, R. G. M. de Goede, G. A. J. M., Jagersop Akkerhuis, A. Van der Wal, C. Mulder, L. Brussaard & A.M. Breure.** 2009. Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. *European Journal of Soil Science*. 60: 820-832.
- Sastre-De-Jesús, I. & G. González.** (Ed.) 2006. Second Latin-American Meeting on Oligochaeta Ecology and Taxonomy: earthworms as invasive species. *Caribbean Journal of Science*. 42: 281-427.
- Scheu, S.** 2003. Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia*. 47: 846-856.
- Simpson, I. C., P. A. Roger, R. Oficial & I. F. Grant.** 1993a. Density and composition of aquatic Oligochaete populations in different farmers' rice fields. *Biology & Fertility of Soils*. 16: 34-40.
- Simpson, I. C., P. A. Roger, R. Oficial & I. F. Grant.** 1993b. Impacts of agricultural practices on aquatic Oligochaete populations in rice fields. *Biology & Fertility of Soils*. 16: 27-33.
- Six, J., H. Bossuyt, S. Degryze & K. Denef.** 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Research*. 79: 7-31.
- Slimak, K. M.** 1997. Avoidance response as a sublethal effect of pesticides on *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta). *Soil Biology & Biochemistry*. 29: 713-715.
- Stevens, M. M. & G. N. Warren.** 2000. Laboratory studies on the influence of the earthworms *Eukerria saltensis* (Beddard) (Oligochaeta: Ocnerodrilidae) on overlying water quality and rice plant establishment. *International Journal of Pest Management*. 46: 303-310.
- Velásquez, E., C. Pelosi, D. Brunet, M. Grimaldi, M. Martins, A. C. Rendeiro, E. Barrios & P. Lavelle.** 2007. This ped is my ped: visual separation and NIRS spectra allow determination of the origins of soil macro-aggregates. *Pedobiologia*. 51: 75-87.
- Yardley, R. B., J. M. Lazorchak & L. C. Gast.** 1996. The potential of an earthworm avoidance test for evaluation of hazardous waste sites. *Environmental Toxicology & Chemistry*. 15: 1532-1537.