

A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores

Fernando Vaz de Melo
George G. Brown
Reginaldo Constantino
Júlio N.C. Louzada
Fiávio J. Lulzão
José Wellington de Moraes
Ronald Zanetti

A meso e a macrofauna do solo incluem uma variedade enorme de formas biológicas distintas, de diferentes ordens. Algumas são bastante conspicuas e desempenham papéis ecológicos com grande interface com a cultura humana e atividades econômicas. Contudo, estas funções ecológicas são influenciadas pelo uso da paisagem, e o cientista de solos deve estar atento a esses pequenos "engenheiros". Aqui, apresentamos um pouco mais sobre esses interessantes e diversos grupos de organismos.

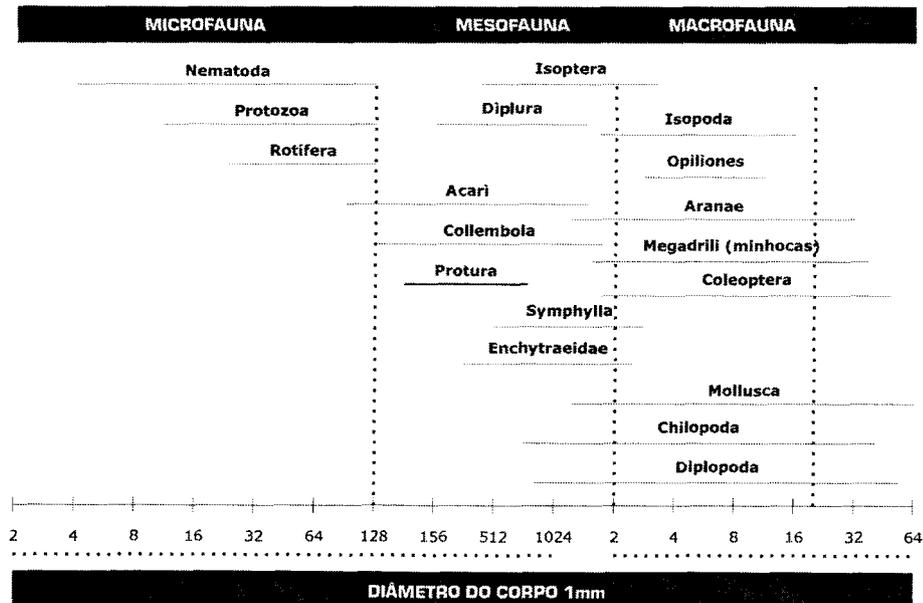
O que é meso e macrofauna do solo?

Existem várias formas de classificar a biota do solo. O tamanho corporal geralmente é o critério básico, pois apresenta alguma relação com o tamanho do tubo digestivo e do aparelho bucal, mas também são levados em consideração aspectos da mobilidade, hábito alimentar e função que desempenham no solo. As classificações

mais utilizadas envolvem a separação dos animais segundo seu diâmetro (Figura 1) ou comprimento. Usando o diâmetro (o) como base, a microfauna inclui microrganismos <0,2 mm, e seus representantes mais importantes são os nematoides e os protozoários.

Já a mesofauna é representada por animais que medem 0,2 a 2,0 mm e inclui Acari, Collembola, Palpigradi, Pretura, Paupopoda, Diplura

Enchytraeidae e Symphyla. A macrofauna, que inclui organismos visíveis a olho nu (>2,0 mm), é representada por mais de 20 grupos taxonômicos. Entre eles, cupins, formigas, minhocas, besouros, tatuzinhos, aranhas, centopéias, piolhos-de-cobra, baratas, tesourinhas, grilos, caracóis, escorpiões, percevejos, cigarras, larvas de mosca e de mariposas. Algumas espécies pequenas de cupins, formigas e besouros são



Agora 1. Esquema de classificação da fauna de solo por tamanho (modificada de SWIFF e colaboradores, 1979).

frequentemente coletadas junto com a mesofauna, mas normalmente são consideradas parte da macrofauna, pois a maioria é visível ao olho nu.

Diversidade de grupos e funções ecológicas

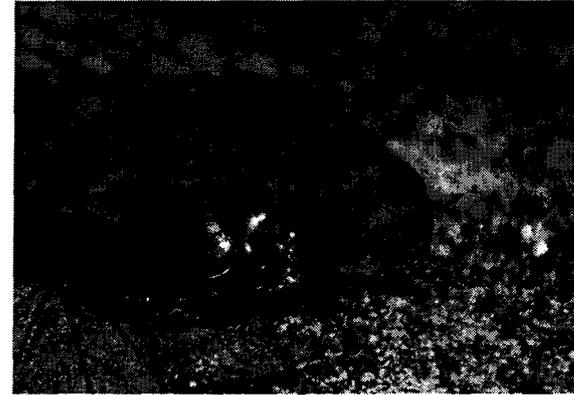
A meso e a macrofauna do solo desenvolvem principalmente funções detritívoras e predatórias nas teias tróficas de detritos da serapilheira e do interior do solo. Essas funções ecológicas podem ser associadas a diversos processos como a ciclagem de nutrientes, o revolvimento do solo, a incorporação de matéria orgânica e o controle biológico de pragas do solo. Apresentamos, a seguir, alguns detalhes sobre as funções ecológicas e a diversidade dos grupos da meso e da macrofauna mais comumente encontrados em solos florestais e agrícolas brasileiros (Tabela 1).

Entre a mesofauna, Acari e Collembola geralmente dominam em abundância e diversidade, sendo os ácaros muito diversos, com mais de 1000 espécies conhecidas no país. Os colêmbolos são pouco conhecidos e estudados no Brasil, mas exercem importante função detritívora, contribuindo para a decomposição da matéria orgânica e o controle das populações de microrganismos, especialmente dos fungos. Já os ácaros agem principalmente como predadores, controlando as populações de outros organismos no solo, especialmente a microbiota.

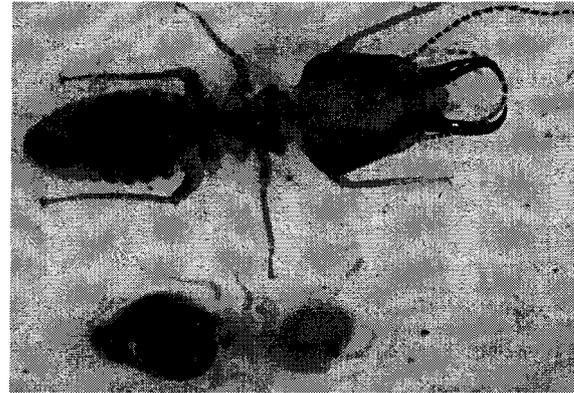
Entre a macrofauna, os cupins, as formigas, as minhocas e os besouros se destacam, pois atuam não somente como detritívoros, quebrando o material vegetal em frações menores e facilitando a ação decompositora dos microrganismos, mas também agem na formação e estruturação do solo, constituindo um grupo funcional chamado de "engenheiros-da-solo".

As formigas e os cupins são insetos sociais que vivem em colônias que podem conter de algumas dezenas até milhões de indivíduos. As formigas são altamente diversificadas - mais de 2000 espécies no Brasil - e têm várias funções ecológicas, atuando como importantes predadores de outros organismos, além de cultivadores de fungos (saúvas), detritívoros e fitófagos. Contudo, diferentemente dos cupins, as formigas não ingerem solo; apenas o transportam com suas mandíbulas na construção de ninhos.

Os cupins alimentam-se de material



Besouro rola bosta de espécie do gênero *Dicotomus*.



Soldado e operário de cupim da espécie *Syntermes molestus*.



Minhoca da espécie *Pontoscolex corethrurus*, de ampla ocorrência em todo o Brasil.

celulósico, acelerando a decomposição e a reciclagem dos nutrientes minerais retidos na matéria vegetal morta. Eles constroem uma extensa rede de ninhos e túneis no solo, em função de suas necessidades de busca de alimento, proteção e controle ambiental. Com isso, movimentam partículas, vertical e horizontalmente, formam agregados e aumentam a porosidade, aeração,

infiltração e drenagem do solo. Cupins também apresentam simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que os ajuda a compensar a alta relação C/N na sua dieta.

Devido à sua importância como pragas de madeira e outros materiais celulósicos, os cupins são insetos relativamente bem estudados em termos biológicos, comportamentais e

taxonômicos, embora ainda existam lacunas importantes. O Brasil é o único país da América Latina com uma boa tradição em Termitologia, que teve início com o trabalho pioneiro de Renato L. Araújo, a partir da década de 1950. Atualmente, existem cinco grupos de pesquisa registrados no diretório do CNPq com produção significativa sobre térmitas, todos eles formando mestres e

doutores.

As formigas são animais dominantes na maioria dos ecossistemas terrestres. Estima-se que exista de 15.000 a 20.000 espécies de formigas no planeta, das quais entre 3.000 e 8.000 estão na região Neotropical. Nas florestas tropicais, por exemplo, as formigas são um dos grupos dominantes, tanto em número de espécies quanto em biomassa, chegando a ter quatro vezes mais biomassa do que todos os vertebrados, incluindo pássaros, mamíferos, anfíbios e répteis juntos.

Entre os invertebrados, esse grupo é um dos principais e capaz de colonizar ambientes terrestres que oferecem poucos recursos para o desenvolvimento da vida, como praias, dunas, áreas de minas a céu aberto, plantas epífitas, agroecossistemas, pastagens e vegetação pós queimada.

Elas constituem um dos grupos de invertebrados com papel mais importante na pirâmide de fluxo de energia. Consequentemente, podem desempenhar importantes funções nos processos ecológicos, como dispersão de sementes, predação, herbivoria, criação de nutrientes, estruturação física e química do solo, proteção de plantas contra herbívoros, além da sua interação com diversos grupos de organismos.

A relação das formigas com o solo é bem conhecida. Elas promovem o revolvimento do solo durante a escavação dos ninhos e incorporação de matéria orgânica utilizada como alimento. Essas ações propiciam o aumento da porosidade e drenagem, reduzindo a densidade do solo, bem como aumentando o seu teor de matéria orgânica, que favorece o desenvolvimento de plantas, pois ocorre aumento da quantidade de nutrientes em solos revolvidos pelas formigas.

O tipo de solo também parece influenciar o comportamento de nidificação de algumas espécies de formigas, principalmente as *Attini*. As saúvas escolhem os solos pobres em calcário para fundar suas colônias, pois a acidez favorece o fungo simbionte

dessas formigas. Em consequência, evita as regiões calcárias. Estudos mostram que a sobrevivência inicial das colônias de formigas cortadeiras é maior em solos mais pobres em nutrientes, devido à redução de entomopatógenos e de possíveis antagonistas ao fungo simbionte.

Por apresentarem dominância no ecossistema, distribuição geográfica ampla, abundância local alta, riqueza de espécies local e global altas, muitos táxons especializados, são facilmente amostradas, separadas em morfoespécies e sensíveis a mudanças na condição do ambiente, além da sua fundamental importância no ecossistema, as formigas são bastante adequadas para serem utilizadas como bioindicadoras das condições de preservação, degradação ou de recuperação ambiental.

Pesquisas sobre esses insetos foram feitas para avaliar respostas do ecossistema às perturbações ambientais associadas ao uso da terra pelo homem como: impactos de práticas agroflorestais, sucesso de recuperação ecológica de áreas de mineração, comparação de diferentes ferramentas de manejo agrícola, impacto de perturbações em áreas de conservação e avaliação da diversidade biológica dentro de regiões selecionadas.

O uso de formigas bioindicadoras, assim como de qualquer outro organismo, requer um prévio conhecimento dos fatores ecológicos determinantes da estrutura e composição de suas comunidades. Para facilitar os estudos dos formicídeos, os ecologistas classificam as espécies em grupos funcionais, que respondem a padrões previsíveis quando expostas a diferentes condições ambientais, somando as propriedades ecológicas básicas dos principais gêneros desses organismos. O uso de grupos funcionais e guildas tem se mostrado uma valiosa ferramenta, que permite realizar comparações de diferentes condições ambientais. Este tipo de ferramenta foi usado com sucesso em distintas regiões do mundo, em programas de monitoramento de

CATEGORIAS DA FAUNA/TAMANHO NOMBRES COMUNS (CIENTÍFICOS)

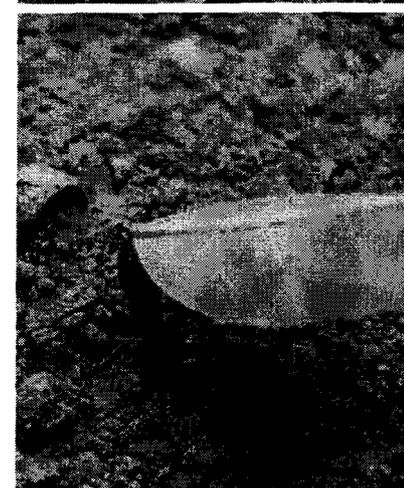
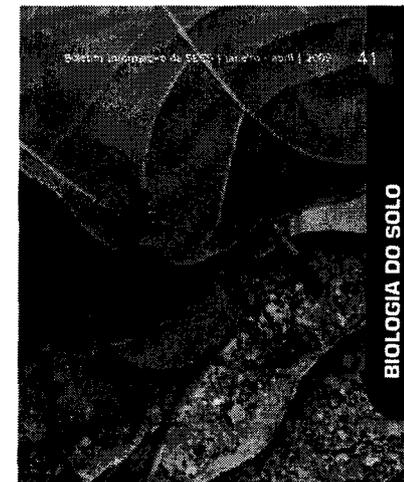
N. ESPÉCIES' BRASIL MUNDO

FUNÇÕES ECOLÓGICAS

Diplura	NA	659	Predador
Ácaros (Acari)	1,500	45,000	Predador, Hematófago, neutro-e
Enquitreídeos (Enchytraeidae)	37	800	Detritívoro, fungívoro
Pseudo-escorpiões (Pseudoscorpionida)	>100 ²	3,235	Predador
Colêmbolos (Collembola)	199	7,500	Detritívoro, Fungívoro
Symphyla	NA	200	Predador
Formigas (Formicidae)	2,750	11,826	Predador, Detritívoro, Onívoro, Fitófago, Fungívoro
Besouros (Coleoptera)	30,000	350,000	Predador; Detritívoro, Onívoro, Fitófago, Rizófago
Carabidae	1,132	30,000	
Elateridae	590	9,300	
Scarabidae	1,777	25,000	
Staphylinidae	1,571	35,000	
Tenebrionidae	1,234	18,000	
Minhocas (Megadrilos)	306	3,800	Geófago, Detritívoro
		[8,000]	
Glossoscolecidae	202	533	
Opiliones (Opiliones)	951 [1,800]	5,500	Predador
Myriapoda	424	15,100	
Centopéias (Chilopoda)	150	2,500	Predador
Piolhos-de-cobra (Diplopoda)	NA	10,000	Detritívoro, Fitófago
Escorpiões (Scorpionida)	119	1,259	Predador
Caracóis (Gastropoda)	670 [2,000]	30,000	Oetritívoro, Fitófago
Aranhas (Araneae)	2587	38,884	Predador
	[10,000]		
Cupins (Isoptera)	290 (500)	2,800	Detritívoro, Fungívoro, Fitófago, Rizófago, Humívoro, Xilófago
Onicóforos (Onychophora)	4	90	Predador
Tatuídeos (Tardigrada)	135	4,250	Detritívoro

NA = não avaliados

Tabela 1. Estimativas da diversidade específica mundial e nacional e as diversas funções ecológicas de alguns representantes da meco e macrofauna do solo (valores tomados de Adis, 2002; Brandão et al., 2006; Brown & Remes, 2007; Culik & Zeppelini FHO, 2003; Lewinsohn & Prado, 2005; 2006; Lewinsohn et al., 2005; Moreira et al., 2006).



O Brasil tem a maior biodiversidade do planeta, e a fauna do solo é um importante componente dessa diversidade.

qualidade ambiental e em relação aos diferentes sistemas de uso do solo.

A Coleoptera é a maior ordem de insetos, com pelo menos uma centena de famílias. O número varia conforme a opinião de diferentes autores - e os mais variados hábitos alimentares, principalmente rizófagos, detritívoros, fungívoros e predadores. Entre os muitos grupos importantes em sua interação com o solo, está a subfamília Scarabaeinae, da família Scarabaeidae, que inclui os besouros chamados rolobostas ou escaravelhos do esterco. Esse grupo reúne aproximadamente sete mil espécies conhecidas em nível mundial, das quais cerca de 800 já citadas como ocorrentes no Brasil.

Os nomes vulgares desses insetos se devem ao fato de alguns gêneros apresentarem o hábito de retirar porções de excremento, moldando-as em forma de bola e transportando-as ativamente sobre o solo. Mas outros grupos cavam imediatamente por baixo da fonte de excrementos a diferentes

profundidades, enquanto outros permanecem no depósito de alimento. Esses hábitos associados à variedade de alimentos utilizados - carcaças, frutos em decomposição, fungos e, em alguns casos, até sepiheira - fazem com que eles tenham extrema importância como incorporadores de matéria orgânica ao solo, como escavadores de galerias e como dispersores de sementes.

As minhocas são amplamente conhecidas pela humanidade não somente por sua utilidade como isca para pesca, mas também por seus efeitos benéficos sobre a fertilidade do solo, devido principalmente à mistura de solo e matéria orgânica nos coprólitos (dejetos) e à formação de túneis. No Brasil, conhecem-se aproximadamente 300 espécies, sendo mais de 50 dessas minhocas gigantes, vulgarmente chamadas de minhocuçus.

A biologia e a ecologia dessas espécies continuam em grande parte desconhecidas, já que a maioria dos trabalhos realizados envolveu apenas

uma espécie: a minhoca mansa (*Pontoscolex corethrus*), a mais comum e amplamente distribuída no Brasil. Apesar da grande contribuição do falecido taxonomista Gilberto Righi para o conhecimento da diversidade de espécies de minhocas no país, estima-se que ainda existam mais de 1000 espécies a serem descobertas e descritas.

Uso do solo e impactos sobre a meso e macrofauna

A qualidade do solo está relacionada ao seu funcionamento, observado pelos indicadores químicos, físicos e os biológicos, de mais difícil mensuração. A abundância e a diversidade da meso e macrofauna do solo dos ecossistemas naturais e dos agrossistemas podem ser afetadas por vários fatores edáficos (tipo de solo, minerais predominantes, temperatura, pH, matéria orgânica, umidade, textura e estrutura), vegetais (tipo de vegetação e cobertura), históricos (especialmente humano, mas também geológico), topográficos (posição fisiográfica, inclinação) e climáticos (precipitação fluvial, temperatura, vento, umidade relativa do ar). Assim, intervenções antrópicas tanto em sistemas naturais quanto em agrícolas podem potencialmente afetar a dinâmica dessas comunidades animais e, por consequência, as funções ecológicas nas quais estão envolvidas.

Por serem sensíveis e reagir a mudanças induzidas por atividades antrópicas e naturais ao solo e à sua cobertura vegetal, as populações e a diversidade dessa fauna podem ser usadas como bioindicadores do uso do solo ou da sua fertilidade, dando uma noção do seu estado atual e de mudanças induzidas por forças internas

e externas (bióticas e abióticas), ao longo do tempo. Tais distúrbios alteram a distribuição da fauna do solo à medida que alteram a disponibilidade de recurso alimentar, modificando as interações ecológicas intra e interespecíficas. As alterações no meio ambiente (por exemplo, espécies epigêicas, que vivem na serapilheira) desaparecem com o desmatamento ou com maior perturbação dos solos (uso de arado e pesticidas. Figura 2).

Já as práticas conservacionistas, como o uso de adubos verdes, plantio direto e sistemas agroflorestais, podem afetar positivamente as populações da fauna do solo (Figura 2). Por exemplo, as populações de minhocas e *Collembola* aumentam na presença de cobertura verde, matéria orgânica em decomposição e sistema radicular extenso. Trabalhos recentes na Amazônia Central têm demonstrado a importância de se manter a diversidade da macrofauna para que o solo tenha boa estrutura e fertilidade, já que mesmo os grupos importantes, como as minhocas, quando não estão associados a vários outros organismos, podem causar problemas à estrutura e funcionamento do solo, inclusive causando sua compactação superficial e impedindo a circulação de ar e água.

Em sistemas de cultivo com diferentes graus de diversificação de espécies, foi evidente que aqueles com maior número de árvores consorciadas (como alguns sistemas agroflorestais) tiveram também maior diversidade e quantidade de organismos da macrofauna (e, provavelmente, de outros grupos da biota do solo). Assim, a manutenção da diversidade de plantas nos ecossistemas e, conseqüentemente, da biota do solo diversificada, junto com uma permanente cobertura da superfície

do solo, seriam essenciais para manter o solo vivo e funcionando bem, de forma produtiva e mais sustentável.

Perspectivas futuras

O estudo da meso e macrofauna do solo é ainda incipiente no Brasil. Alguns grupos ou espécies economicamente mais importantes (especialmente determinadas pragas) são razoavelmente bem conhecidos, porém, a maioria dos invertebrados edáficos continua pouco estudada. Esse desconhecimento é ainda exacerbado pelos poucos taxonomistas de macrofauna do solo atuantes no Brasil.

Podem-se avançar no conhecimento desse componente essencial dos solos estudando a composição de organismos em nível de grandes grupos taxonômicos ou os processos ecológicos alterados pela fauna (decomposição, ciclagem de nutrientes, agregação), o que amplia as possibilidades de sua utilização como indicadores da qualidade ambiental. Contudo, independentemente da abordagem de estudo da comunidade de organismos edáficos, é importante consultar um taxonomista para identificar os animais em questão.

O Brasil possui a maior biodiversidade do planeta, e a fauna do solo é um importante componente dessa diversidade. Apesar de ser, na sua maior parte, "invisível", por estar dentro do solo ou da serapilheira, esta fauna gera importantes serviços ambientais, que são, infelizmente, pouco reconhecidos e valorizados. Cabe a nós, cientistas do solo, avaliar e quantificar esses serviços e difundir esse (re)conhecimento para subsidiar o manejo sustentável dos ecossistemas terrestres, em prol das presentes e futuras gerações.

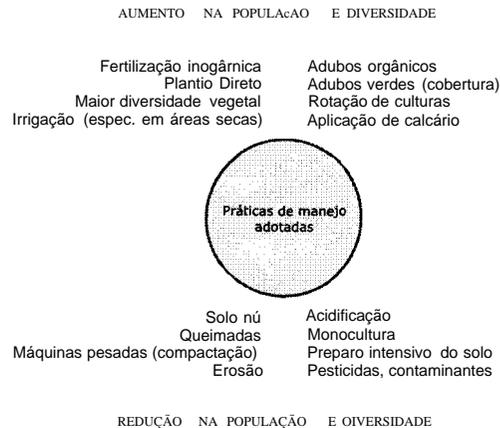


Figura 2. Efeito do manejo antrópico na população e diversidade de meso e macrofauna do solo (modificado de Edwan: Loft, 1969). A posição das práticas no eixo y representa sua contribuição relativa (importância hipotética) ao aumento ou à diminuição das populações e diversidade da fauna.

George G. Brown é pesquisador da empresa Florestas e bolsista de produtividade do CNPq. gbrown@cnpf.embrapa.br

Júlio H.C. Louzada é professor da UFPA e bolsista de produtividade do CNPq. jlouzada@ufpa.br

Flávio J. Luizão é pesquisador JNPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e bolsista de produtividade do CNPq. fluiuzao@inpa.gov.br

Fernando Z. Vaz-de-MeUo é professor da UFMT. lvazdemueoes@mau.com

José Wellington de Moraes é pesquisador JNPA. moraes@inpa.gov.br

Reginaldo Constantino é professor do Departamento de Zoologia da UnB e bolsista de produtividade do CNPq. constan@unb.br

Ronald Zanetti é professor da UFPA e bolsista de produtividade do CNPq. zanetti@ufpa.br