

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267333227>

FAUNA EDÁFICA E QUALIDADE DO SOLO

Chapter · January 2011

CITATIONS

5

READS

4,572

6 authors, including:



D. Baretta

Universidade do Estado de Santa Catarina

143 PUBLICATIONS **1,533** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Julio Santos

Universidade do Estado de Santa Catarina

55 PUBLICATIONS **376** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Eliana Vera Geremia

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

12 PUBLICATIONS **41** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Luís Carlos Iuñes Oliveira Filho

18 PUBLICATIONS **31** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Comparative analyses of microbial phylogenetic and functional processes following long-term land-use change [View project](#)



Uso de cinza de biomassa na agricultura [View project](#)

FAUNA EDÁFICA E QUALIDADE DO SOLO

Dilmar Baretta⁽¹⁾; Julio Cesar Pires Santos⁽²⁾; Julia Corá Segat⁽³⁾; Eliana Vera Geremia⁽⁴⁾; Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho⁽⁵⁾ & Maurício Vicente Alves⁽⁶⁾

Introdução	119
Classificação	122
Biodiversidade	131
Bioindicadores de Qualidade do Solo	138
Meso e Macrofauna como Bioindicadora	143
Exemplos de Bioindicadores da Qualidade do Solo	144
Fauna edáfica em áreas degradadas	152
Análise Multivariada (AM) na Seleção de Bioindicadores de Qualidade do Solo	157
Considerações Finais	159
Literatura Citada	159

INTRODUÇÃO

Da mesma maneira que em outros ecossistemas, significativa gama de organismos pode habitar os solos. A abundância e a diversidade dos diferentes grupos estão geralmente associadas às características inerentes aos ambientes, tais como: tipo de solo, clima e vegetação predominante (Lavelle & Pashanasi, 1989).

Quando se refere à utilização do solo com o objetivo de alcançar maior produtividade, sua fauna é um componente que recebe pouca atenção. Elevadas quantidades de produtos químicos são aplicadas, em especial nos grandes monocultivos, com o intuito de combater organismos indesejados (Freitas, 2007). O uso indiscriminado destes produtos pode eliminar momentaneamente indivíduos de algum nível da cadeia trófica (Odum, 1983),

¹ Professor Adjunto do Departamento de Zootecnia, Centro de Educação Superior do Oeste (CEO), da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC/CEO, CEP 89806-070. E-mail: dilmarbaretta@udesc.br

² Professor Associado do Departamento de Solos e Recursos Naturais, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) - UDESC/CAV, CEP 88520-000. E-mail: a2jcps@cav.udesc.br

³ Mestranda em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP/ESALQ, CEP 13418-900. E-mail: juliasegat@yahoo.com.br

⁴ Mestranda em Ciência Animal e Pastagem - USP/ESALQ. E-mail: eli_geremia@yahoo.com.br

⁵ Doutorando em Manejo do Solo - UDESC/CAV. E-mail: iunes1981@gmail.com

⁶ Professor Horista, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), CEP 88704-900. E-mail: mauriciovicente@gmail.com

desestruturando o sistema (Bartz et al., 2009a), e ainda exercer efeito sobre a composição da biota no ambiente por eliminar indivíduos em estádios de vida específicos, como larvas e ovos.

Pouco se conhece das funções e importância dos organismos do solo. No entanto, nos últimos anos, estudos foram realizados com o intuito de estabelecer melhor as funções dos organismos, evidenciando que a maior diversidade biológica estabelece um equilíbrio do solo por um período de tempo maior, sendo importante objeto de estudo em avaliação de qualidade do ambiente e da sustentabilidade dos sistemas de produção (Lavelle et al., 2006).

A diversidade biológica do solo exerce significativa interação com a manutenção da sua capacidade produtiva, sendo de grande importância para a decomposição e mineralização de resíduos orgânicos, favorecendo a disponibilidade de nutrientes (principalmente N) às plantas e até mesmo para outros indivíduos (Brown & Sautter, 2009).

A maior limitação para a sobrevivência da fauna do solo refere-se à disponibilidade de alimento, aproveitando a maioria do que está disponível de baixo valor nutricional, enquanto os que têm elevado valor ou são pouco disponíveis.

A fauna do solo mostra-se sensível a modificações ocorridas no ambiente, tanto as biológicas, físicas e químicas, como resultantes das práticas de manejo do solo e de cultivo empregadas. Dependendo do tipo e intensidade do impacto promovido ao ambiente, tais práticas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, podem aumentar, diminuir ou não influir na diversidade de organismos edáficos.

Dentre as modificações físicas que ocorrem no solo, a compactação altera diretamente indivíduos que habitam os poros do solo, reduzindo-lhes a capacidade de criar suas galerias, como é o caso dos ácaros (Acarina), minhocas (Oligochaeta), aranhas (Araneae), dentre outros. Sua locomoção é dependente da porosidade, sendo reduzida pela compactação do solo (Moço et al., 2005). Outras práticas utilizadas que interferem nas propriedades físicas são a subsolagem e a escarificação; o revolvimento da camada superior do solo interfere diretamente na distribuição da matéria orgânica e, ainda, provoca variações de temperatura e, conseqüentemente, da umidade do solo. De acordo com Lavelle & Spain (2001), a temperatura é o principal fator que ativa a regulação metabólica nos indivíduos da fauna do solo e, juntamente com a umidade, determina a distribuição espacial destes e os períodos de maior atividade.

O principal fator que altera as propriedades químicas do solo em áreas agrícolas e que mostra efeito sobre sua fauna é a utilização de fertilizantes, químicos ou orgânicos. O uso de resíduos orgânicos influencia o fornecimento de alimento para a fauna do solo, que fragmenta e mistura partículas minerais e orgânicas. A abundância e a diversidade da fauna do solo podem variar de acordo com o tipo e composição de resíduos orgânicos aplicados ao solo (Alves et al., 2008; Moço et al., 2010). A maior densidade de alguns organismos, como o caso das minhocas, está intimamente associada a solos sem muita interferência antrópica e com alto teor de matéria orgânica (Trogello et al., 2008).

O tipo de sistema de manejo adotado também pode causar impacto na fauna do solo. Quando se refere ao sistema de preparo convencional, algumas práticas ligadas a esse sistema podem prejudicar, de maneira drástica, a estabilidade da fauna do solo, tais como a aração e a gradagem, que modificam a estrutura do solo e reduzem a cobertura do solo, intensificando o efeito da radiação solar direta no solo, alterando o microclima do local. Deve-se considerar, ainda, a redução dos recursos alimentares, já que a palhada é incorporada ao solo, acelerando a decomposição (Baretta et al., 2006).

Em contrapartida, quando o manejo adotado é conservacionista, como o caso do sistema plantio direto, o favorecimento da fauna do solo ocorre porque o solo é minimamente revolvido, apenas nas linhas de plantio, mantendo os resíduos das culturas anteriores sobre a superfície do solo, protegendo-o da incidência direta do sol e do impacto direto da gota da chuva (Baretta et al., 2003), servindo de habitat aos organismos hemiedáficos. A maior disponibilidade de alimentos reduz a competição entre indivíduos e favorece a proliferação da fauna do solo.

Diferentes coberturas vegetais e práticas culturais podem ter influência direta sobre a fauna do solo, uma vez que este fato determina a composição do resíduo orgânico mantido na superfície do solo (Antoniolli et al., 2006; Moço et al., 2010). Ainda que não se conheçam totalmente os efeitos do monocultivo sobre organismos do solo, o que já se sabe é que a monocultura promove um meio específico para determinadas comunidades, reduzindo, desta forma a diversidade, tendo em vista a pouca disponibilidade de abrigo e a baixa variedade de recursos alimentares no local, proporcionando a proliferação de organismos que se adaptam melhor a essas condições, desestruturando o equilíbrio da biodiversidade edáfica (Battirola et al., 2007).

Outro fator ainda a ser considerado na diversidade da fauna do solo é o tipo de ecossistema original. Jiménez et al. (1998) citam o caso de pastagens

estabelecidas em ambientes que originalmente eram de florestas tropicais, o que favorece o aparecimento de espécies endêmicas, diferentemente dos ambientes de savanas tropicais onde a diversidade de espécies não tem alteração significativa.

A sensibilidade da fauna do solo tem papel importante na avaliação das atividades promovidas pelo homem, sendo uma propriedade indicativa para monitorar a qualidade do solo. Pensando nisso, procura-se demonstrar, no presente capítulo, a importância da fauna do solo e de outros atributos edáficos como indicadores de qualidade do solo.

CLASSIFICAÇÃO

De maneira geral, existem várias formas de classificar a biota do solo, com algumas diferenças entre elas. A mais utilizada pelos pesquisadores é a classificação proposta por Swift et al. (1979), em que os grupos que contêm a biota do solo são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e, principalmente, pelo seu tamanho, em: microfauna (0,2 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm) (Figura 1).

A fauna do solo é composta basicamente por invertebrados que passam toda ou parte de sua vida no solo e são classificados, de acordo com seus hábitos alimentares, em: (a) saprófagos, relacionados com a decomposição da matéria orgânica morta, que podem ser detritívoros: alimentam-se de resíduos vegetais em vários estádios de decomposição (exemplo: alguns artrópodes); cadavéricolas: alimentam-se de animais mortos (exemplo: larvas de insetos); coprófagos: alimentam-se de excrementos de outros animais (exemplo: pequenos artrópodes, coleópteros (Coleoptera), minhocas); ou (b) biófagos, alimentam-se de tecidos vivos, que podem ser microbióvoros: alimentam-se de organismos da micro e mesofauna (exemplos, ácaros, nematóides (Nematoda)); fungívoros: alimentam-se de fungos (exemplos: colêmbolos (Collembola)); fitófagos: alimentam-se de plantas (exemplos, insetos, nematóides); predadores: alimentam-se exclusivamente de animais vivos, matando rapidamente sua presa (exemplo: alguns coleópteros e ácaros); parasitas: alimentam-se exclusivamente de animais vivos, matando lentamente o seu hospedeiro. Por seu habitat preferencial, classificam-se em aquáticos: habitam os poros com água, ou terrestres, vivem na atmosfera do solo e, considerando o meio de locomoção, em escavadores ou não escavadores.

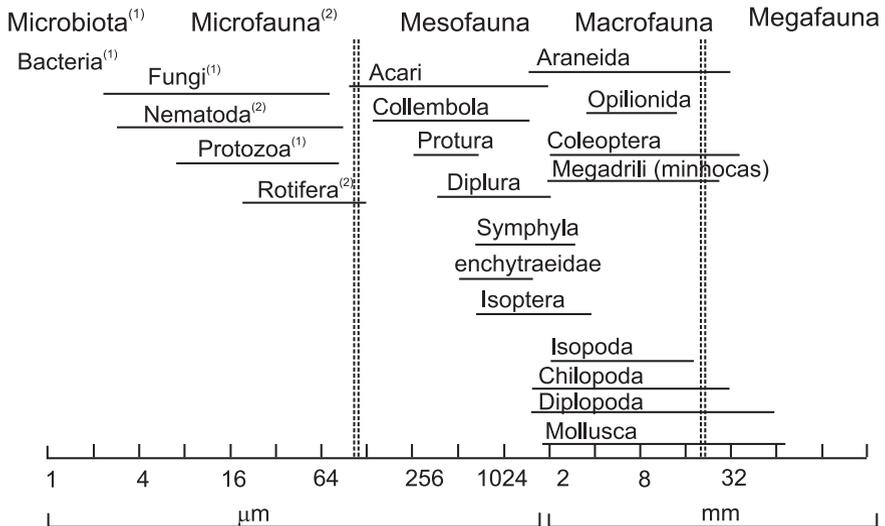


Figura 1. Classificação da fauna do solo por tamanho.

Fonte: Swift et al., 1979; Baretta, 2007

Apesar da fauna do solo ser classificada em microbiota, microfauna, mesofauna, macrofauna e megafauna (Figura 1), este capítulo tratará mais da meso e macrofauna do solo e seus exemplos.

Mesofauna: aqui se encontram os indivíduos numericamente mais representativos, como os ácaros (Acari) e colêmbolos. Apresenta funções importantes no solo, como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, pela regulação da população de micro-organismos (Heisler & Kaiser, 1995).

Macrofauna: uma grande diversidade de organismos compõe esse grupo, os quais se caracterizam por possuir o corpo com tamanho geralmente superior a 2 mm. Os componentes desse grupo criam estruturas específicas que permitem sua movimentação no solo, graças ao seu hábito escavatório, promovendo a formação de buracos, galerias e ninhos, além da deposição de coprólitos e fezes, que tem efeito sobre a estrutura e fertilidade do solo. Além disso, esses macro-organismos são conhecidos também como "engenheiros do ecossistema", pelas funções que exercem (Jiménez et al., 2006; Jouquet et al., 2006). Atuam também na fragmentação e distribuição dos resíduos vegetais (Swift et al., 1979). Os grupos mais representativos nesta classificação são as minhocas, as formigas (Hymenoptera: Formicidae) e os térmitas (Isoptera).

A seguir, serão descritas algumas características dos grupos mais frequentes encontrados no solo.

Oligochaeta

As minhocas são organismos que integram a macrofauna e estão entre aqueles mais importantes do solo, pelas funções que desempenham nos ecossistemas terrestres (Bartz et al., 2009b).

Esse grupo de organismos tem importante papel na ciclagem de nutrientes e na sua distribuição no perfil do solo e, ainda, interfere na decomposição dos resíduos orgânicos (Ortiz-Ceballos et al., 2007). Os hábitos de locomoção das minhocas promovem também a formação de túneis, o que facilita a locomoção de outros grupos da fauna do solo e melhora a distribuição de água no perfil do solo (Blanchart et al., 2004). Apresentam o corpo cilíndrico e as extremidades não diferenciadas a olho nu. Seu tamanho corporal pode variar de poucos milímetros até 2 m, porém, em sua maioria, as espécies apresentam tamanho variando de 5 a 15 cm (Lavelle & Spain, 2001).

Neste grupo, encontram-se organismos de três diferentes tipos ecológicos (Lavelle & Spain, 2001):

a) Espécies epigeicas: habitam as camadas superiores do solo e a serapilheira, e têm capacidade de adaptar-se mais facilmente em ambientes pouco propícios ao seu crescimento e desenvolvimento, sujeitos a secas e temperaturas extremas. Nesta região que habitam, encontram alimento de melhor qualidade, razão por que apresentam maiores taxas de crescimento, mas ficam mais expostas aos predadores. Possuem corpo pigmentado, não fazem galerias no solo e vivem preferencialmente na serapilheira.

b) Espécies anécicas: movimentam-se verticalmente no solo desde a superfície até as regiões mais profundas, constroem galerias verticais bastante profundas e transportam material da superfície para o interior das galerias. Geralmente, são indivíduos maiores e com corpo mais desenvolvido, em decorrência do maior esforço exercido para a locomoção e construção das galerias, apresentam baixa taxa de crescimento e de mortalidade e corpo com pigmentação.

c) Espécies endogeicas: não criam galerias permanentes, são as principais responsáveis pela agregação do solo e estabilização da matéria orgânica. Vivem no perfil do solo, alimentam-se basicamente de matéria orgânica e possuem tamanho variado e corpo sem pigmentação.

Enchytraeidae

Medindo, em média, 10 a 20 mm de comprimento, esses organismos podem viver em ambiente aquático e terrestre e têm respiração cutânea. Por causa de seu pequeno tamanho corporal não são capazes de se locomoverem em grandes profundidades no solo, isso só ocorre quando utilizam galerias construídas, por exemplo, pelas minhocas, por isso são frequentemente encontrados nos primeiros centímetros do solo. Anatomicamente, são bastante similares às minhocas.

São saprófagos e atraídos por material vegetal com alto conteúdo de N. No solo, esse grupo de organismos tem ação mais significativa na decomposição da matéria orgânica do que na estrutura do solo. Assim como para outros grupos, a temperatura e a umidade são os principais fatores que limitam a ocorrência de enquitreídeos (Lavelle & Spain, 2001).

Coleoptera

Podem ter tamanhos muito variados, desde menores de 3 mm até 170 mm (Alvarez, 2008). Na maioria das espécies adultas deste grupo, a cabeça é arredondada, possuem uma espécie de "pescoço" que articula a cabeça ao corpo, os olhos encontram-se nas laterais e são compostos; mesmo sendo bastante diferentes entre as famílias, todos têm antenas e aparelho bucal mastigador bem desenvolvido.

São facilmente identificados por possuírem élitros, asas de consistência córnea que podem recobrir e ser membranosas quando em repouso. Integram esse grupo os organismos popularmente conhecidos como besouros, vaga-lumes e pirilampos; nesses últimos, encontra-se a luminescência que é obtida de uma reação química (Audino et al., 2007). Encontram-se distribuídos por todo o mundo nos mais diferentes ambientes. No solo, os besouros podem ser divididos em predadores, fitófagos e saprófagos.

Realizam também importante função na redução de excretas e de resíduos de origem animal e vegetal, facilitando a decomposição (Coleman & Crossley Jr., 1996). O popularmente conhecido "besouro rola-bosta" (Coleoptera: Scarabeidae) tem grande papel na decomposição de resíduos e promove a aeração do solo, o transporte de matéria orgânica e exerce importante papel no controle biológico (Milhomem et al., 2003; Almeida & Louzada, 2009), como no caso do controle da mosca-do-chifre (*Haematobia irritans*), por desestruturarem as fezes de bovinos e o habitat das larvas destas moscas (Domingues & Mendes, 2009).

A quantidade de matéria orgânica incorporada ao solo tem relação direta com o tamanho dos indivíduos (Horgan, 2001). As famílias de Coleoptera (exemplo Scarabeidae) são as principais executoras de serviços ambientais nos ecossistemas, como escavação e posterior acúmulo de matéria orgânica, e podem ser incorporadas no solo em diferentes profundidades (Louzada, 2008).

Hymenoptera

Dentro dessa ordem, a família mais importante no solo é Formicidae que reúne as formigas (Colleman & Crossley Jr., 1996), que de maneira geral, não representam danos severos às culturas agrícolas, exceto por algumas espécies de formigas, como a saúva (*Atta* spp.) (Grüzmacher et al., 2002). Esse grupo de organismos organiza-se em sociedade com três posições hierárquicas, rainhas, machos e operárias (Colleman & Crossley Jr., 1996).

Considerados os insetos mais evoluídos, possuem a cabeça bem desenvolvida, destacada do corpo e ligada ao tórax por um "pescoço". As antenas são bem desenvolvidas e variadas e o aparelho bucal pode ser do tipo mastigador. Alguns desses insetos possuem asas membranosas (Gallo et al., 2002).

Exercem papel importante na estrutura do solo, pela construção de formigueiros, galerias subterrâneas e pelo transporte de matéria orgânica da superfície para camadas mais profundas no solo, influenciando o ciclo de nutrientes disponíveis às plantas e aos microrganismos do solo (Forgarait, 1998). O hábito de construção de galerias tem grande influência na capacidade de armazenamento e distribuição da água no solo. Por outro lado, o grupo caracteriza-se por ser o principal predador dos microartrópodes no solo, podendo atuar na regulação de populações e no controle biológico (Hatfield & Stewart, 1993; Floren et al., 2002; Vasconcelos, 2008).

Isoptera

Os térmitas, também conhecidos por cupins ou aleluias, são um dos mais importantes grupos da fauna edáfica, pois têm influência na estrutura do solo. Ocorrem principalmente em zonas tropicais, mas também em ambientes temperados e desertos.

São insetos que se organizam em colônias e todos os indivíduos exercem uma função de acordo com sua especialização, morfologia e fisiologia. Possuem a cabeça livre, com tamanhos variáveis e olhos compostos. Os cupins superiores desenvolvem asas (pares), possuem antenas e aparelhos bucais bastante desenvolvidos e uma estrutura chamada "fontanela", na qual há uma glândula que secreta um líquido espesso e viscoso que serve de defesa.

Considerando a resposta dos cupins às modificações do habitat, esses insetos podem ser bons bioindicadores de uso e manejo do solo (Barros et al., 2002). O manejo em agroecossistemas, no sentido amplo, deve preservar seus efeitos positivos sobre o solo e, ao mesmo tempo, prevenir problemas com danos às culturas (Constantino & Acioli, 2008).

Isopoda

Podem ter de alguns milímetros até 2 cm de comprimento corporal e pesam alguns miligramas. O corpo destes indivíduos é achatado dorso-ventralmente e sua cabeça tem formato de escudo. As peças bucais tendem a ser compactadas e protegidas por apêndices e, durante a alimentação, o alimento é sustentado pelas patas anteriores (Correia & Andrade, 2008). São saprófagos e alimentam-se de matéria orgânica em decomposição. As diferentes espécies podem ingerir diariamente de 0,5 a 20 % do seu peso vivo em matéria seca (Lavelle & Spain, 2001).

Encontrados em diversos ambientes, principalmente naqueles com elevada umidade, esses organismos são sensíveis a ambientes secos, por terem elevada perda de água, porém são capazes de adaptar-se em ambientes não propícios, passando a ter hábitos noturnos e diminuindo a taxa de respiração basal. Seu corpo permite que fiquem em formato de bola para reduzir o efeito das elevadas temperaturas. No inverno, diminuem suas atividades, por serem sensíveis também a baixas temperaturas (Paoletti & Hassall, 1999).

Existe uma estreita relação entre a presença de Ca e a presença do grupo Isopoda no ambiente, isso pode ser explicado pela estrutura do corpo desses indivíduos (Alves et al., 2006).

Acarina

No grupo Acarina, encontram-se os carrapatos e ácaros. Os membros deste grupo possuem corpo indiviso (não separado em regiões); nas fases pós-larvais, apresentam quatro pares de patas, apêndices articulados e esqueleto externo. Os ácaros, em sua maioria, medem 0,1-0,2 e 1,5-2 mm de comprimento e são artrópodes muito numerosos no solo (Lavelle & Spain, 2001).

A composição, distribuição e densidade da acarofauna edáfica varia de acordo com a profundidade do solo, o tamanho dos ácaros, a localidade e a estação do ano (Lavelle & Spain, 2001). Geralmente, são encontrados em maior quantidade na camada de matéria orgânica do que na mineral (Petersen & Luxton, 1982). Grande parte dos ácaros do solo alimenta-se de algas, fungos e matéria orgânica em decomposição.

Araneae

Vivem em vários habitats, desde ao nível do mar até as montanhas mais altas. São, na sua maioria, noturnas e possuem grande adaptabilidade. Sua alimentação é quase exclusivamente de insetos.

A maioria dos artrópodes da serapilheira pode ser presa de aranhas, em alguma época de suas vidas, e a atividade de predação das aranhas tem efeito regulador potencialmente importante na comunidade edáfica (Poggiani et al., 1996).

Algumas famílias de aranhas têm sido relatadas em diversos estudos como indicadores de qualidade do solo. A presença ou ausência de famílias de aranhas pode indicar o grau de intervenção antrópica em florestas, especialmente de araucária (Baretta et al., 2007b).

Collembola

De modo geral, esses organismos têm tamanho corporal entre 0,2 e 9 mm, sendo integrantes da mesofauna do solo (Hatfield & Stewart, 1993; Baretta et al., 2008), exercem importante papel na decomposição e ciclagem de nutrientes no solo. Possuem o corpo alongado ou globoso, delicado e a coloração é variável, a cabeça é pequena com antenas curtas e aparelho bucal do tipo mastigador. No abdômen, esses organismos possuem uma estrutura chamada "fúrcula", um apêndice saltatório que lhes permite saltarem a alturas de aproximadamente 10 cm (Gallo et al., 2002).

Vivem em locais úmidos e geralmente em grupos (Coleman & Crossley Jr., 1996). Alimentam-se de material em decomposição, fungos, líquens e, desta maneira, são mais frequentes nas camadas superiores do solo (Hatfield & Stewart, 1993). Os principais predadores deste grupo são os ácaros, besouros e as aranhas.

Protura

Os membros deste grupo possuem tamanho de 0,5 a 2 mm (Sziptycki & Bedano, 2005), seu corpo é alongado e cilíndrico, dividido entre cabeça e tórax, com três pares de pernas. O primeiro par de pernas (função sensorial) é maior que os demais. Habitam solos úmidos, serapilheira ou húmus, alimentam-se de esporos de fungos e matéria orgânica em decomposição (Uhlig, 2005).

Diplura

São de coloração clara, medindo de 6 a 15 mm de comprimento. Seu abdômen é constituído por 10 segmentos. Habitam locais úmidos, solo,

musgos, rochas e serapilheira de florestas. Possuem corpo alongado, dividido em cabeça, um par de antenas e sem olhos, tórax: composto por três pares de pernas e abdômen segmentado, terminando em um par de apêndices. Os dipluros geralmente se alimentam de micro-organismos do solo, mas algumas espécies são herbívoras, alimentando-se de raízes de plantas e resíduos orgânicos (Uhlig, 2005).

Diplopoda

Os representantes desta classe são lentos, alongados, têm corpo cilíndrico ou achatado, segmentado, com dois pares de pernas em cada segmento ao longo do corpo, sendo este o motivo para o nome Diplopoda. Esta classe está distribuída por todo o mundo, especialmente nos trópicos. São animais noturnos, ficando escondidos da luz do dia. Somente abandonam seus esconderijos em período noturno quando os dias são chuvosos. Nos períodos secos, vivem em estado de dormência e à noite costumam empreender migrações e vão se expandindo pelo ambiente (Uhlig, 2005).

Os diplópodes são um grupo muito diversificado quanto a formas do corpo, cores e tamanhos. Esta classe apresenta indivíduos em média, com 19 segmentos no corpo (Pinheiro et al., 2009).

Os diplópodes são, em sua maioria, fungívoros e detritívoros, alimentando-se de vegetação e madeira em decomposição, desempenhando papel importante na decomposição da matéria orgânica e na formação do solo (Costa Neto, 2007). São os maiores consumidores de fragmentos orgânicos em florestas temperadas e tropicais, onde se alimentam predominantemente de material vegetal morto (Uhlig, 2005).

Chilopoda

Conhecidas popularmente como lacraias ou centopéias, possuem corpo alongado e achatado, com segmentos; em cada segmento, encontra-se somente um par de pernas. Na cabeça, há um par de antenas articuladas, dois pares de maxilas, um par de forcípulas, onde estão as glândulas de peçonha, o aguilhão, que é o aparelho inoculador de veneno, e um conjunto de olhos simples (Barroso et al., 2001). Medem de 2 a 5 cm de comprimento, podendo alguns exemplares atingir 20 cm.

São animais terrestres, de hábitos noturnos, passando a maior parte do dia escondidos sob entulhos úmidos, folhas e cascas de árvores, sendo ocasionalmente encontrados dentro das casas. Alimentam-se basicamente de larvas de besouros, minhocas, dentre outros, que são capturados vivos,

imobilizados e inoculados por peçonha (Barroso et al., 2001), ocasionalmente alimentam-se de material vegetal em decomposição (Uhgih, 2005). A maior abundância e diversidade normalmente ocorrem em áreas menos impactadas (Baretta, 2007).

Blattodea

Conhecidas popularmente como baratas. Apresentam aparelho bucal mastigador, sendo suas asas anteriores em tégmina, corpo ovalado e achatado dorso-ventralmente, variando de 3 a 100 mm de comprimento, dependendo da espécie. Alguns grupos possuem hábito silvestre e outros domésticos, comendo de tudo e, às vezes, apresentam cheiro desagradável e muito característico.

Habitam locais quentes e úmidos, como serapilheiras, cascas de árvores e ninhos de Hymenoptera e Isoptera, interior de casas e canalização de esgoto. As espécies silvestres alimentam-se de material animal e vegetal em decomposição (Teixeira & Coutinho, 2002).

Grylloblattodea

Apresentam tamanho médio, sem asas, olhos reduzidos ou até mesmo ausentes, seu corpo é dividido em tagmas: cabeça, tórax e abdômen. Tamanho, variando de 2 a 3 cm. São encontrados em locais úmidos e de baixa temperatura.

No Brasil, poucos estudos têm sido realizados com este grupo e são praticamente inexistentes os relatos como bioindicadores.

Orthoptera

Popularmente chamados de grilos, paquinhos ou gafanhotos, em geral, são de hábitos terrestres e fitófagos. Os indivíduos desta ordem medem de 3 a 5 cm (machos) e 6 a 8 cm (fêmeas). Alimentam-se de diversos tipos de plantas, muitos são pragas nas plantações (Vasconcellos, 2005). Possuem pernas posteriores longas, apropriadas para salto, apresentam dois pares de asas, sendo o primeiro utilizado para proteção e o segundo para o vôo. O aparelho bucal é do tipo mastigador.

Thysanoptera

São popularmente chamados de tripes, possuem tamanhos variando de 0,5 a 15 mm de comprimento, apresentam duas asas franjadas, quando

adultas apresentam coloração negra (Pinent et al., 2008). Apresentam órgão bucal do tipo picador-sugador. Essa ordem tem maior número de espécies-pragas, seja pelos danos diretos causados aos tecidos vegetais durante a alimentação, seja pela transmissão de agentes fitopatogênicos, especialmente vírus (Monteiro et al., 2001).

Tais indivíduos habitam flores, folhas, cascas de árvores, serapilheiras, formigueiros e cupinzeiros. Boa parte das espécies conhecidas alimentam-se de fungos, algumas de tecidos de plantas raspando e sugando sua seiva e poucos são predadores de outros insetos e ácaros, alguns polinizadores e até mesmo como ectoparasitas (Izzo et al., 2002; Pinent et al., 2003).

BIODIVERSIDADE

A biodiversidade da fauna edáfica pode ser compreendida como a variedade e variabilidade de espécies de organismos presentes no solo. Já é sabido que, a biodiversidade de um ecossistema tem íntima e positiva correlação com a sustentabilidade e com o equilíbrio do ambiente, sendo uma das propriedades fundamentais da natureza, responsável por manter o equilíbrio e a estabilidade dos ecossistemas.

Dentre os possíveis causadores de modificações na biodiversidade podem-se citar as atividades antrópicas como as de maior efeito, tais como: implantação de culturas, degradação de áreas nativas, preparo e intensificação do uso do solo, queimadas e explorações minerais, contaminação do solo, água e atmosfera com poluentes (Wink et al., 2005; Baretta, 2007).

Alguns estudos de biodiversidade da fauna buscam atribuir valores por meio de "índices" com objetivo de facilitar a avaliação, permitindo que ambientes de diferentes locais sejam comparados (Paoletti, 1999a; Lavelle et al., 2006).

Índices de diversidade medem a variabilidade qualitativa e são uma medida da "dispersão qualitativa" de uma população, de indivíduos que pertencem a várias categorias qualitativamente diferentes (Pielou, 1977; Odum, 1983). Podem-se separar os índices em:

Índice de riqueza (S): estima o número de espécies em uma comunidade, e não considera a estrutura desta, nem a frequência com que esses indivíduos aparecem.

Índice de abundância: avalia não somente o número de espécies, mas também a quantidade com que elas se distribuem na população.

Índice de heterogeneidade: compara a diversidade entre as comunidades por meio de um modelo de distribuição de abundância (Martins & Santos, 1999).

Os mais conhecidos índices de diversidade são dominância de Simpson (*I*_s), uniformidade de Pielou (*e*) e de Shannon-Wiener (*H*).

Índice de dominância de Simpson (*I*_s): uma derivação do "índice de concentração de Simpson" no qual se supõe que dois indivíduos são independentemente retirados de uma comunidade. Se existir uma elevada probabilidade de que os dois pertençam à mesma espécie, é possível dizer que a comunidade apresenta um alto grau de concentração, sendo essa probabilidade usada como índice (Odum, 1983).

Índice de uniformidade de Pielou (*e*): em que a uniformidade tem relação com o padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies, calculado por meio da equação:

$$e = H/\log S \quad (1)$$

em que: *H* é o índice de Shannon e *S* é o número de espécies (Moço et al., 2005).

Shannon-Wiener (*H*): comumente chamado apenas de índice de Shannon. Nele, as espécies são como símbolos e o tamanho da população em questão como uma probabilidade, além de considerar o número de espécies e sua equitabilidade.

Baretta et al. (2007b) expressaram a diversidade de famílias de aranhas pelo índice de diversidade de Shannon [$H = -\sum(\pi_i \log \pi_i)$], em que: $\pi_i = n_i/N$; n_i = densidade de cada família, N = número total de famílias] e analisaram os valores de *H* de cada ponto analisado por meio de análise univariada. Entretanto, esse índice é mais recomendado para avaliar a diversidade de espécies no ambiente, pois é sabido que diferentes ambientes com diferentes manejos são diferentes na composição de sua fauna do solo. No quadro 1, podem ser observados os valores de índices de diversidade de Shannon em diferentes ambientes. Entretanto, não serão discutidos os valores de *H* em cada ambiente, pois são muito questionáveis e dependem de uma série de fatores abióticos, mas nos fornecem um valor para cada condição de uso do solo, região, tipo de solo e vegetação.

Quadro 1. Índices de diversidade Shannon (H) obtidos para a fauna edáfica em diferentes ambientes, independentemente da metodologia de coleta

Condição de uso do solo	Solo	Região	Valor de H	Referência
Caatinga	Neossolo Litólico e Luvissolo	Santa Terezinha (PB)	1,46 (0,38 - 2,54)	Souto et al. (2008)
Sistemas agroflorestais	Solo argiloso	Paraty (RJ)	Inverno: 1,42; Verão: 2,3	Silva (2006)
Capoeira (solo)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 2,6; Verão: 1,85	Moço et al. (2005)
Capoeira (serapilheira)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 1,96; Verão: 2,52	Moço et al. (2005)
Campo nativo	Neossolo Quartzarênico	Alegrete (RS)	1,29	Rovedder et al. (2004)
Campo aberto	Latossolo Vermelho	Nordeste da Itália	0,83	Nazzi et al. (1989)
Savana (coprólitos)	Latossolo	Colômbia	1,43	Decaëns et al. (1999)
Savana (abaixo do solo)	Argissolo	Colômbia	2,75	Decaëns et al. (1999)
Área degradada	Sem informação	Alegrete (RS)	1,00	Rovedder et al. (2004)
Eucalipto	Neossolo Quartzarênico	Alegrete (RS)	1,14	Rovedder et al. (2004)
Eucalipto (solo)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 1,69; Verão: 2,66	Moço et al. (2005)
Eucalipto (serapilheira)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 2,88; Verão: 3,21	Moço et al. (2005)
Mata nativa de araucária	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	1,73	Baretta et al. (2008)

Continua...

Quadro 1. Cont.

Condição de uso do solo	Solo	Região	Valor de H	Referência
Mata nativa	Solo argiloso	Paraty (RJ)	Inverno: 1,82; Verão: 1,93	Silva (2006)
Mata estacional	Latosolo Vermelho-Escuro-fraco e Latossolo Roxo distrófico	Santa Rita do Passa Quatro (SP)	2,07	Espírito-Santo Filho (2005)
Mata semidecidual	Latosolo Vermelho-Escuro-fraco e Latossolo Roxo distrófico	Santa Rita do Passa Quatro (SP)	2,11	Espírito-Santo Filho (2005)
Floresta não preservada (solo)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 1,73; Verão: 3,19	Moço et al. (2005)
Floresta não preservada (serapilheira)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 3,02; Verão: 3,16	Moço et al. (2005)
Floresta preservada (solo)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 2,75; Verão: 2,96	Moço et al. (2005)
Floresta preservada (serapilheira)	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 2,84; Verão: 2,70	Moço et al. (2005)
Floresta de araucária natural	Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	0,63	Baretta (2007)
Floresta de araucária introduzida	Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	0,75	Baretta (2007)

Continua...

Quadro 1. Cont.

Condição de uso do solo	Solo	Região	Valor de H	Referência
Floresta de araucária que sofreu queima	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	0,67	Baretta (2007)
Reflorestamento araucária que sofreu queima	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	0,26	Baretta (2007)
Reflorestamento araucária	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	1,43	Baretta et al. (2008)
Reflorestamento araucária que sofreu queima	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	1,33	Baretta et al. (2008)
Pastagem	Sem informação	Colômbia	2,57	Decaëns et al. (1999)
Pastagem (abaixo do solo)	Sem informação	Colômbia	1,95	Decaëns et al. (1999)
Pastagem	Argissolo Vermelho-Amarelo	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos dos Goytacazes (RJ)	Inverno: 2,4; Verão: 2,29	Moço et al. (2005)
Pasto natural + araucária	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Campos do Jordão (SP)	0,93	Baretta et al. (2008)
Batata (<i>Solanum tuberosum</i>)	Argissolo Vermelho distrófico arênico	Santa Maria (RS)	Orgânica: 0,68; Intermediário: 0,68; Mineral: 0,62	Quadros et al. (2009)
Mandioca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>)	Solo Argiloso	Paraty (RJ)	Inverno: 1,58; Verão: 1,97	Silva (2006)

Continua...

Quadro 1. Cont.

Condição de uso do solo	Solo	Região	Valor de H	Referência
Soja (<i>Glycine max</i> L.)	Argissolo Vermelho distrófico arênico	Santa Maria (RS)	Orgânica: 0,76; Intermediário: 0,70; Mineral: 0,69	Quadros et al. (2009)
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Argissolo Vermelho distrófico arênico	Santa Maria (RS)	Orgânica: 0,75; Intermediário: 0,77; Mineral: 0,81	Quadros et al. (2009)
Milho (<i>Zea mays</i>)	Argissolo Vermelho distrófico arênico	Santa Maria (RS)	Orgânica: 0,75; Intermediário: 0,67; Mineral: 0,66	Quadros et al. (2009)
Plantio direto com rotação de cultura	Latossolo	Londrina (PR)	1,60	Brown et al. (2001)
Plantio direto com sucessão de cultura	Latossolo	Londrina (PR)	1,90	Brown et al. (2001)
Plantio direto com rotação de cultura e subsolagem	Latossolo	Londrina (PR)	2,00	Brown et al. (2001)
Plantio direto com sucessão de cultura e subsolagem	Latossolo	Londrina (PR)	2,00	Brown et al. (2001)
Plantio direto desde 1986	Latossolo Vermelho distrófico	Campinas (SP)	1,63	Alves et al. (2006)
Plantio direto desde 1999	Latossolo Vermelho distrófico	Campinas (SP)	1,52	Alves et al. (2006)
Plantio direto	Neossolo Quartzarênico	Alegrete (RS)	1,56	Rovedder et al. (2004)

Continua...

Quadro 1. Cont.

Condição de uso do solo	Solo	Região	Valor de H	Referência
Preparo convencional com rotação de culturas	Latossolo	Londrina (PR)	1,10	Brown et al. (2001)
Preparo convencional com sucessão de culturas	Latossolo	Londrina (PR)	1,40	Brown et al. (2001)
Preparo convencional desde 1999	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campinas (SP)	1,34	Alves et al. (2006)
Preparo convencional com pousio no outono-inverno	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campinas (SP)	1,08	Alves et al. (2006)
Adubação mineral	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campos Novos (SC)	0,60	Alves et al. (2008)
Adubação organomineral	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campos Novos (SC)	1,10	Alves et al. (2008)
Adubação orgânica com 3t/ha de dejetos suíno	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campos Novos (SC)	0,70	Alves et al. (2008)
Adubação orgânica com 6t/ha de dejetos suíno	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campos Novos (SC)	1,00	Alves et al. (2008)
Adubação orgânica com 12t/ha de dejetos suíno	Latossolo Vermelho Distroférrico	Campos Novos (SC)	0,90	Alves et al. (2008)

BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo é definida como a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema, visando a sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais (Baretta, 2007; Baretta et al., 2010). Os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza (física, química e biológica) que ocorrem no meio, podendo ser utilizados como indicadores de sua qualidade, por meio dos processos no solo relacionados com o manejo adotado (Baretta et al., 2006).

Podemos definir indicador como uma medida ou um índice atribuído ao final da avaliação da saúde do sistema. Para que possa ser usado como indicador no solo, o índice deve fazer parte das propriedades químicas, físicas ou biológicas, interferir nos processos ecológicos e ser de fácil aplicabilidade por especialistas e técnicos (Baretta, 2007).

Indicadores ambientais são atributos passíveis de mensuração e devem ser vistos como uma importante ferramenta para avaliar variáveis e componentes de um ecossistema e assinalar mudanças ocorridas no ambiente em questão.

Bioindicadores ou indicadores biológicos são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença ou ausência, abundância e condições nas quais os indivíduos se encontram revelam determinada condição ambiental. Os bioindicadores são importantes, visto que podem correlacionar determinado fator antrópico com potencial impactante ou um fator natural, auxiliando os pesquisadores na avaliação da qualidade do solo (Baretta et al., 2010).

Os resultados alcançados com as avaliações de bioindicadores têm sido usados para apontar a possibilidade de um agente estressor, seja ele causador de qualquer alteração, estar causando algum efeito adverso no ambiente ou nas populações e são também utilizados para indicar o grau de perigo que esse agente pode estar causando ou o risco que poderá vir a causar no ecossistema.

O uso de indicadores biológicos como ferramenta para avaliar a qualidade do solo e até mesmo o impacto das modificações causadas nesses, tem crescido muito em âmbito mundial. Essa tendência em utilizar cada vez mais a fauna do solo como bioindicadores está relacionada com a facilidade de sua estimativa e com a eficiente representação do ambiente que esses promovem (Brown Jr., 1997; Espírito-Santo Filho, 2005).

Uma forma de avaliar o equilíbrio ambiental é pela observação das características populacionais de grupos de organismos que são considerados bioindicadores do grau de alteração do ambiente. Os mais importantes indicadores são os insetos, tanto por ser o grupo mais diverso em número de espécies, como pela facilidade de amostragem destes animais (Wink et al., 2005).

Entretanto, os atributos mais comumente estudados e difundidos na Ciência do Solo são os químicos, envolvendo a matéria orgânica, pH, disponibilidade de nutrientes, além de avaliações físicas como compactação e a porosidade. De maneira geral, os pesquisadores têm comparado resultados obtidos em estudos com outros encontrados em ambientes naturais tomados como referência (Baretta et al., 2010). Aquino et al. (2008) perceberam maior densidade total e riqueza biológica em sistemas de fragmentação de floresta quando comparados com os sistemas de cultivo. No entanto, como o ambiente de origem tem influência sobre a composição da fauna, a determinação de índices é importante para padronizar avaliações.

Características como densidade e diversidade de populações de bioindicadores podem demonstrar as condições de um solo, seus níveis de equilíbrio ou perturbação. As minhocas e os térmitas têm sido utilizados como bioindicadores de menor ou maior sensibilidade e têm refletido o estado da qualidade do solo diante de ações antrópicas (Turco & Blume, 1999).

A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 e 10 cm (Baretta et al., 2005). Soares & Costa (2001) encontraram 97,7 % do total de indivíduos da fauna edáfica na camada de 0-10 cm em uma área com *Eucalyptus* spp. 88 % do total de indivíduos em áreas com *Pinus elliottii*, nessa mesma profundidade.

Os bioindicadores podem ser usados na avaliação da indicação de alterações de habitat, destruição do ambiente natural, contaminação por metais pesados ou produtos químicos utilizados nas culturas ou outro tipo de contaminante, reabilitação de áreas degradadas, sucessão da vegetação e tipo de manejo adotado (Melo et al., 2009; Andréa, 2010).

Uma grande diversidade de organismos que habitam o solo são indicadores de sua qualidade, tendo em vista as inúmeras funções que desempenham no solo (Knoepp et al., 2000). Cada espécie responde de forma diferenciada aos distúrbios do meio onde vivem, sendo desta forma de grande importância o reconhecimento de suas interações com as alterações ambientais (Espírito-Santo Filho, 2005). O quadro 2 resume os principais grupos edáficos e os relaciona com a qualidade do solo.

Quadro 2. Invertebrados da fauna edáfica como bioindicadores e sua relação com a qualidade do solo, independentemente da metodologia de coleta

Relação do bioindicador com atributos físicos-químicos ou com a qualidade do solo	Referência
Hymenoptera	Dunxião et al. (1999).
Elevada concentração de P, K e matéria orgânica favorece o aparecimento deste grupo.	
Sistemas de culturas mais duráveis; modificação da paisagem altera a riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae).	Baretta et al. (2003).
A presença indica estado de degradação do ambiente. Perturbações ocasionadas pela queima, mudanças no ambiente e excesso de metais pesados.	Wink et al. (2005); Grzés (2010).
A Família Formicidae é frequentemente observada em áreas mal manejadas, sendo fundamental para estudos de impacto ambiental.	Alves et al. (2008).
A riqueza de espécies é menor em floresta de várzea do que em florestas de terra firme, especificamente quando se compara riqueza de espécies associadas ao solo.	Wilson (1987); Majer & Delabie (1994).
A conversão de florestas primárias em pastagens diminui drasticamente a riqueza e composição de espécies de formigas.	Vasconcelos (1999).
Algumas espécies de formigas cortadeiras de folhas como <i>Atta sexdens</i> e <i>A. laevigata</i> e algumas predadoras de sementes <i>Solenopsis saevissima</i> e <i>S. geminata</i> podem se tornar muito abundantes nas pastagens e podem ter efeito negativo, dependendo do tipo de manejo adotado.	Vasconcelos (2008).
Chilopoda	Almeida et al. (2007).
Abundância dependente da quantidade e qualidade de cobertura do solo.	
Coleoptera	Milhomem et al. (2003).
Indicadores de temperatura, aumento da aeração e umidade do solo.	Kromp (1999).
Os organismos pertencentes à família Caribidae atuam na remoção e reingresso da matéria orgânica.	
Os besouros da família Scarabaeidae são detritívoros, promovendo a remoção e reingresso da matéria orgânica no ciclo de nutrientes, aumentando a aeração do solo e prolongando a sua capacidade produtiva.	
Indicadores de impacto de cultivo. Presença de pesticidas no solo; simplificação da estrutura do habitat e perturbação mecânica do solo (estrutura do solo).	Dunxião et al. (1999).

Continua...

Quadro 2. Cont.

Relação do bioindicador com atributos físicos - químicos ou com a qualidade do solo	Referência
<p>Coleoptera</p> <p>O aumento de indivíduos da família Staphylinidae está relacionado com a maior concentração de P, K e matéria orgânica do solo.</p> <p>As famílias Carabidae e Staphylinidae podem ser aumentadas pela adubação do solo.</p> <p>A presença da família Staphylinidae é considerada bioindicadora de alterações ambientais, principalmente aquelas de ação antrópica. Reagem às mudanças das condições microclimáticas e umidade do solo.</p> <p>Indicadores de poluição por metais pesados.</p>	<p>Wink et al. (2005).</p> <p>Büchs (2003).</p> <p>Kromp (1999); Paoletti (1999a).</p>
<p>Isoptera</p> <p>Sensíveis ao uso de agrotóxicos. Indicadores da contaminação química e da degradação ambiental. Em áreas muito perturbadas podem desaparecer.</p> <p>A presença desses organismos é indicador de áreas perturbadas.</p> <p>A perturbação moderada de florestas pode resultar em aumento da população de cupins, em virtude do acúmulo de madeira morta no solo.</p>	<p>Wink et al. (2005); Bandeira et al. (2003).</p> <p>Paoletti (1999a).</p> <p>Constantino & Acioli (2008).</p> <p>Fauvel (1999).</p>
<p>Hemiptera</p> <p>Sensíveis a produtos químicos. Indicam distúrbios em cultivos.</p>	<p>Sommagio (1999)</p>
<p>Diptera (não edáfico)</p> <p>Importantes na decomposição da matéria orgânica. Indicadores de manejo intensivo e uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes.</p>	
<p>Collembola</p> <p>Sensíveis à baixa umidade do solo.</p> <p>Sensíveis a áreas degradadas e com pouca matéria orgânica. Sensíveis ao aumento da temperatura, uso de agrotóxicos e compactação.</p> <p>A diversidade de famílias de colêmbolos é reduzida quando ocorre queima em reflorestamento de araucária.</p>	<p>Gallo et al. (2002).</p> <p>Rovedder et al. (2004).</p> <p>Baretta et al. (2008).</p>
<p>Oligochaeta</p> <p>Polluição do solo com pesticidas e metais pesados.</p> <p>Sensível à compactação.</p> <p>Presença de matéria orgânica do solo e condições de média à elevada umidade do solo.</p> <p>O tipo de solo e vegetação influenciam a abundância de minhocas, pastagens tendem a ter maior população do que florestas.</p>	<p>Chauvel et al. (1999).</p> <p>Paoletti (1999b).</p> <p>Lavelle et al. (2006).</p> <p>Lavelle (1996).</p>

Continua...

Quadro 2. Cont.

Relação do bioindicador com atributos físicos - químicos ou com a qualidade do solo	Referência
<p>Não suportam concentrações maiores que 2.000 mg kg⁻¹ de Zn.</p> <p>Oligochaetas são mais frequentes em solos com maiores teores de matéria orgânica.</p> <p>Mais frequentes em sistemas de plantio direto em comparação com plantio convencional.</p>	<p>Nahmani & Lavelle (2002)</p> <p>Alves et al. (2008).</p> <p>Tank et al. (2000).</p> <p>Baretta et al. (2003).</p> <p>Marc et al. (1999).</p>
<p>Arachnida</p> <p>Maior presença em ambiente mais equilibrado. Sensíveis indicadores a poluição do solo por metais pesados; diversidade é maior quanto maior a umidade do solo.</p> <p>Reagem as mudanças das condições microclimáticas e umidade do solo.</p> <p>Maior riqueza de famílias edáficas em florestas nativa de araucária em comparação com reflorestamento, especialmente os impactados pela queima.</p>	<p>Buchs (2003).</p> <p>Baretta et al. (2007b);</p> <p>Baretta et al. (2010).</p>
<p>Isopoda</p> <p>Sensível à poluição por metais pesados. Simplificação da estrutura do habitat e perturbação mecânica do solo.</p> <p>Sensíveis à presença de pesticidas no solo.</p>	<p>Farkas et al. (1996).</p>
<p>Diplopoda</p> <p>Sensíveis à baixa umidade do hábitat; aumentam com produtividade vegetal (biomassa) e a biodisponibilidade de P.</p> <p>Apresenta relação direta com a precipitação pluvial.</p> <p>A abundância é influenciada pela disponibilidade de alimento, áreas para nidificação, fatores edáficos e interações de predação e parasitismo.</p>	<p>Hassall (1996)</p> <p>Dunxião et al. (1999);</p> <p>Uhlrig (2005).</p>
<p>Enchytraeidae</p> <p>Preferem ambientes onde a matéria orgânica tem elevado teor de N.</p> <p>Sensíveis a solos compactados.</p>	<p>Lavelle & Spain (2001);</p> <p>Buchs (2003).</p>
<p>Acarina</p> <p>Sensíveis ao uso de herbicidas e ao preparo intensivo do solo</p> <p>Sensíveis à degradação ambiental.</p> <p>A ordem Oribatida está amplamente envolvida na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes.</p>	<p>Minor et al. (2004);</p> <p>Duarte (2004);</p> <p>Behan-Pelletier (1998).</p>

Meso e Macrofauna como Bioindicadores

A meso e a macrofauna como bioindicadores do estado do solo têm sido bastante utilizadas, visto que podem ser coletadas com métodos de fácil aplicação, como, por exemplo, a catação manual e armadilhas.

Em termos metodológicos, não existe um único método capaz de amostrar, de maneira eficiente, ao mesmo tempo, a micro, a meso e a macrofauna. Em geral, organismos da microfauna são extraídos, como no caso dos nematoides (Kozłowska & Wasilewska, 1993), ou multiplicados em meio de cultura, como no caso dos protozoários (Jopkiewicz & Szrantowicz, 1993). Para a mesofauna, há uma variedade de aparatos de extração que utilizam gradientes de temperatura e umidade, em geral, derivados da proposta original de Berlese-Tüllgren (Correia & Andrade, 2008; Moreira et al., 2010). No caso da macrofauna, a amostragem conjunta de vários grupos taxonômicos para fins de avaliação da qualidade do solo utiliza, em geral, monólitos do solo, método recomendado pelo programa "Tropical Soil Biology and Fertility" (Anderson & Ingram, 1993). Armadilhas de queda também são utilizadas com o objetivo de determinar a diversidade de espécies de invertebrados associados à interface solo-serapilheira (Moldenke, 1994; Santos et al., 2007; Moreira et al., 2010).

No entanto, avaliações da diversidade de grupos específicos requerem métodos adaptados a sua biologia e ecologia. Métodos específicos são utilizados para formigas, térmitas, minhocas, diplópodes, dentre outros. Na prática, as diferenças metodológicas para cada classe de tamanho significam que um estudo raramente vai contemplar a avaliação da micro, meso e macrofauna simultaneamente (Correia & Andrade, 2008).

A catação manual nada mais é do que a coleta de um volume de solo (monólito), com dimensões que podem variar, (normalmente de 25 x 25 cm), feita com auxílio de uma pá de corte a uma profundidade de 0-20 cm, na qual manualmente são retirados os organismos visíveis a olho nu (Baretta et al., 2003).

No caso de armadilhas, o recipiente com 200 mL de uma solução, água e detergente neutro a 2,5 % é enterrado, mantendo-se a extremidade vazada ao nível do solo onde permanece por tempo pré-determinado, geralmente três dias (Baretta et al., 2003). Quando se objetiva avaliar a biodiversidade, recomenda-se usar vários métodos de coleta, para garantir a extração de uma maior riqueza de espécies, sobretudo de minhocas, aranhas e colêmbolos (Baretta et al., 2007a,b, 2008).

A mesofauna edáfica é composta especialmente por Acarina e Collembola, sendo esses dois grupos amplamente distribuídos pelo mundo e com grande

importância nos ecossistemas agrícolas (Vu & Nguyen, 2000). Os ácaros e colêmbolos, por serem os artrópodes do solo mais numerosos e mais bem distribuídos (Arbea & Basco-Zumeta, 2001), influenciam, indiretamente, a fertilidade do solo, por meio da estimulação da atividade microbiana, da distribuição de esporos, da inibição de fungos e bactérias causadoras de doenças (Lavelle, 1996). Os indivíduos da mesofauna podem habitar diferentes zonas no ambiente: vegetação (zona epígea) até os níveis orgânicos na superfície do solo (zona hemiedáfica) e extratos profundos (zona euedáfica).

A macrofauna do solo tem importante papel nos processos do ecossistema no que concerne à ciclagem de nutrientes e estrutura do solo, por ser responsável pela fragmentação dos resíduos orgânicos, mistura das partículas minerais e orgânicas, redistribuição da matéria orgânica, além de produzir "pellets" fecais (Baretta et al., 2007b). As minhocas são importantes na ciclagem de nutrientes e estão relacionadas com a decomposição do material vegetal. Já as formigas exercem importante papel no fluxo de materiais no ecossistema, porém a grande diversidade de espécies dificulta a determinação de quais são mais relevantes nessa função.

Exemplos de Bioindicadores da Qualidade do Solo

Os bioindicadores consistem em organismos que realizam inúmeras funções no solo, a saber: (a) promovem a fragmentação da serapilheira, que aumenta a área de superfície exposta ao ataque de micro-organismos; (b) melhoram a distribuição da matéria orgânica e nutrientes tanto vertical quanto horizontal da superfície para as camadas mais profundas (minhocas, besouros); (c) constroem galerias, que podem ser feitas pelas minhocas, larvas de insetos, térmitas e formigas, formando canais, que servem para facilitar a penetração das raízes, a aeração e a capacidade de infiltração de água; (d) melhoram a estrutura do solo pelo revolvimento e pela deposição dos seus excrementos, aumentando a estabilidade de agregados à água e ao vento; (e) digerem a celulose, lignina e hemicelulose (colêmbolos, térmitas, ácaros); (f) permitem o controle biológico; e (g) degradam substâncias tóxicas no solo.

Os organismos edáficos dão respostas imediatas a qualquer mudança no solo e ambiente. De maneira geral, estudos estão sendo efetuados para avaliar a abundância e a diversidade de espécies de indivíduos no ambiente, bem como as interações ecológicas que ocorrem entre esses grupos de organismos.

Descrevem-se, a seguir, alguns grupos com maior frequência e suas ligações com a qualidade do solo.

Oligochaeta

A possibilidade de fazer identificação de algumas espécies de minhocas a olho nu e da presença destes indivíduos em ambientes sem intervenção humana faz com elas sejam amplamente utilizadas como bioindicadores da qualidade do solo (Paoletti, 1999b; Brown & Domínguez, 2010).

A atividade das minhocas no solo pode ter importantes efeitos cumulativos nas populações e atividades de outros organismos dentro do solo e na serapilheira (Brown & Doube, 2004), assim como nas propriedades químicas, como o teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e pH do solo. Portanto, vários autores encontram diferenças no pH e nos teores de $N-NO_3^-$, P, K, Ca e Mg em solos com minhocas comparados com os sem minhocas (Langenbach et al., 2002; James & Brown, 2008).

Diversos são os fatores que podem causar diminuição da abundância de minhocas no ambiente, tais como: aplicação de pesticidas até mesmo de alguns herbicidas, o intenso uso dos solos, redução na matéria orgânica e da cobertura vegetal.

Tank et al. (2000), avaliando a população de minhocas em diferentes sistemas de plantio direto *versus* convencional, constataram maior riqueza e densidade de indivíduos do gênero *Amyntas* sp. no sistema plantio direto, espécie esta considerada endêmica e exógena. Brown et al. (2006) afirmaram que a atividade dessa espécie, assim como de *Pontoscolex corethurus*, pode ter efeito sobre características do solo e na vegetação do local. Em estudo realizado no Canadá, Clapperton et al. (1997) também observaram maior número de minhocas no plantio direto do que no sistema preparo convencional.

A ausência de perturbações nocivas associadas geralmente ao estabelecimento de culturas tem influência sobre a frequência de minhocas (Ponge et al., 2003).

O material que compõe a serapilheira tem influência sobre o número de indivíduos presentes. Segundo Paoletti (1999a), a serapilheira de áreas reflorestadas com eucalipto não é atrativa às minhocas e, em floresta decídua, a serapilheira somente é atrativa para minhocas após sofrer ataque prévio de fungos e bactérias.

Paoletti (1999b,) em uma revisão de 350 estudos, ordenou diferentes ambientes de acordo com a densidade de minhocas e percebeu clara predominância destes indivíduos em pastagens. Decaëns et al. (1999),

avaliando pastagens na Colômbia, encontraram biomassa maior em pastagens e atribuíram isso à estrutura da vegetação, que tem influência no habitat de macroinvertebrados, e à qualidade da serapilheira, que bem estruturada é mais bem aceita pelas minhocas. Brown & Doube (2004), em estudos no México, encontraram maior diversidade de espécies de minhocas em ambientes de pastagem natural (quatro espécies) quando comparada à de ambientes de pastagem introduzida (duas espécies).

Graças ao seu hábito escavatório, as minhocas entram em contato direto com as substâncias aplicadas ao solo pelo escoamento da água da chuva nas galerias formadas por esses indivíduos, e essas substâncias podem ser ingeridas durante a alimentação ou absorvidas pela cutícula do animal, quando dissolvidas na solução do solo (Papini & Andreá, 2004), podendo reduzir o número de casulos e indivíduos jovens.

Além do sistema de preparo do solo e o uso de pesticidas, a fonte de fertilização também pode ter influência sobre os indivíduos que habitam o solo. Alves et al. (2008), avaliando adubação mineral e orgânica com dejetos de suínos, encontraram maior frequência de minhocas nos tratamentos que receberam adubação orgânica de dejetos de suínos, o que foi associado à maior presença de matéria orgânica. No entanto, ainda não se têm muitos estudos sobre o uso de adubos orgânicos de origem animal em relação aos metais e seus efeitos sobre a diversidade de organismos edáficos.

Nahmani & Lavelle (2002), em um estudo em áreas contaminadas com Zn, observaram que a frequência de minhocas diminui com o aumento do teor de Zn, chegando a ser eliminada em um teor igual a 2.000 mg kg⁻¹. Dai et al. (2004), avaliando a bioacumulação de metais em áreas contaminadas com metais pesados (Zn, Cd, Pb e Cu) com duas espécies de minhocas (*Aporrectodea caliginosa* e *Lumbricus rubellus*), concluíram que essas espécies têm diferentes concentrações de metais nos tecidos corporais, o que pode estar associado ao habitat preferencial e ao hábito alimentar (endo ou epigeicas). Neste sentido, a abundância, diversidade e biomassa das minhocas são sensíveis indicadores de intervenção antrópica em floresta de araucária (Baretta et al., 2007a). Também são recomendados ensaios de bioacumulação na área de ecotoxicologia (por meio da utilização de métodos ISO), uma vez que as minhocas ingerem considerável quantidade de solo e os poluentes podem acumular em seus tecidos, sendo transportados para níveis mais elevados da cadeia trópica.

Alguns fatores não relacionados diretamente com o solo têm efeito sobre a população que o habita. Benito et al. (2004) associaram o prolongado período de seca à baixa densidade populacional de minhocas. Pastagens

estabelecidas em ambientes originalmente de florestas tropicais têm perda na riqueza de espécies de minhocas, favorecendo o aparecimento de espécies endêmicas; já no caso de savanas tropicais, onde são implantadas pastagens, o distúrbio provocado não alterou o número inicial de espécies, mantendo a diversidade em pastagens puras ou consorciadas com leguminosas (Jiménez et al., 1998). Isso se explica pela semelhança funcional entre pastagens cultivadas e savanas (Lavelle et al., 1994).

Hymenoptera

Os himenópteros apresentam elevado potencial como indicadores de mudanças ocorridas no ambiente, como, por exemplo, o monitoramento ambiental de metais decorrentes de atividades antrópicas (Grzés, 2010). As formigas podem ser destacadas nesse grupo, pois mostram-se importantes como bioindicadores, sendo de fácil coleta e certa facilidade de identificação e, ainda, estão presentes em todos os extratos da vegetação, o que permite avaliar as alterações ambientais, indicando o grau de conservação ou de degradação do solo (Wink et al., 2005). As formigas são dominantes na maioria dos ecossistemas terrestres com grande número de espécies. Esse grupo é capaz de colonizar ambientes terrestres que não oferecem muitos recursos para o desenvolvimento de organismos, como praias e áreas queimadas. Na Austrália, há métodos específicos para avaliação de formigas, ao longo da reabilitação de áreas degradadas (Andersen et al., 2002).

A riqueza de espécies de formigas está correlacionada positivamente com a complexidade da estrutura do ambiente. A maior riqueza de formigas pode ser encontrada em ambientes onde a complexidade da serapilheira também é maior, principalmente quando predominam árvores nativas (Pereira et al., 2007). Lourente et al. (2007), em estudo avaliando diferentes sistemas de manejo, encontraram menor frequência de formigas no sistema de preparo convencional, atribuindo tal fato à menor complexidade da vegetação. Assim, quando uma única espécie cresce em abundância domina a população em ambientes degradados e pode até se tornar praga, prejudicando as plantações.

A presença deste grupo em áreas com pouca ou baixa diversidade de vegetação pode estar associado à facilidade de locomoção no ambiente, optando assim por áreas com menor competição por espaços e menor presença de predadores, com fontes de alimento mais distantes (Parr et al., 2007). Alves et al. (2008), avaliando diferentes fontes de adubação, perceberam maior frequência (83%) de organismos da ordem Hymenoptera (principalmente Formicidae) no tratamento-testemunha (sem adubação), o qual apresentou

menor crescimento e desenvolvimento de plantas. Esse comportamento também foi observado nos tratamentos que tinham menor cobertura vegetal e que haviam recebido maiores doses de adubo orgânico (12 t ha^{-1}). Wink et al. (2005) afirmaram que esse comportamento pode ser indicativo de áreas mal manejadas, o que torna algumas espécies deste grupo importantes bioindicadoras para avaliação de impacto ambiental.

Espécies diferentes de Hymenoptera têm preferência por diferentes ambientes. No gênero *Panatrechina*, algumas espécies oportunistas podem ocorrer em ambientes com pouca vegetação e constantemente perturbados (Matos et al., 1994).

O gênero *Solenopsis* adapta-se com facilidade a locais perturbados, com sistemas de plantio com intenso revolvimento do solo, sendo bastante comum em áreas antropizadas (Nascimento et al., 2001). Ramos et al. (2001) afirmam que a espécie *Camponotus rufipes* é característica de locais alterados, como reflorestamento de eucalipto, assim como o gênero *Trachymyrmex* por adaptarem-se facilmente a diferentes vegetações.

Morini et al. (2003) observaram que espécies do gênero *Camponotus* são oportunistas em relação à dieta e locais para nidificação. Indivíduos desta espécie são frequentemente encontrados em ambientes degradados com elevada incidência de luz solar. Já a subfamília *Myrmicinae* é comumente encontrada em ambientes não perturbados por preferirem locais com clima mais constante e maior riqueza de espécie de vegetação (King et al., 1998). Já outras características associadas ao solo também têm influencia na espécie que coloniza o local. As saúvas, por exemplo, preferem solo com acidez, pois essa condição favorece o desenvolvimento de fungos simbiotes a elas.

Isoptera

Quando ocorre redução de recursos alimentares, alguns grupos da macrofauna do solo podem-se estabelecer com grande eficiência e dominar a comunidade, isso é bastante característico de insetos sociais como cupins (Silva et al., 2006b). Esse grupo é encontrado frequentemente nas camadas superiores do solo, especialmente nos primeiros 10 cm. Podem ocorrer também em área de mata, porém com o desmatamento são capazes de manter uma população mais especializada, e podem também ser encontrados em área de pastagens (Decaens et al., 1999).

O estabelecimento destes organismos em pastagens degradadas pode estar relacionado com a simbiose com as bactérias fixadoras de N_2 e os

protozoários degradadores de celulose presentes nesses ambientes (Aquino et al., 2008). Esses mesmos autores afirmam que a presença de Isoptera em pastagens pode estar associada ao fato de serem capazes de retirar eficientemente nutrientes da serapilheira de gramíneas, diminuindo, assim, a competitividade de outros organismos saprófagos que habitam com facilidade ambientes com maior qualidade do material vegetal (presença de leguminosas).

De maneira similar, os cupins são sensíveis indicadores de áreas que sofreram alguma perturbação (Brown Jr., 1997).

Araneae

Este grupo é pouco estudado, porém, amplamente distribuído no mundo, por exercer papel fundamental na regulação de populações da fauna do solo, além da facilidade de ser amostrado. Este grupo é encontrado de acordo com a disponibilidade de recursos. As áreas com menor ação antrópica, como vegetação natural, favorecem o aparecimento de aranhas, pois, nestes locais, existem maior disponibilidade de alimento e condições para formação de teias (Baretta et al., 2007b).

As aranhas contribuem para reduzir as pragas pela pressão predatória. O uso de inseticidas e produtos químicos em áreas agricultáveis é importante fator a se considerar quando se estudam a população de aranhas, a redução na disponibilidade de presas (alimento) e o efeito residual e repelente de algumas substâncias químicas que podem proporcionar significativa diminuição na comunidade de aranhas em agroecossistemas.

Em algumas culturas, as práticas de aração, gradagem e colheita mecânica podem ocasionar a mortalidade deste grupo, alterando tamanho e composição da população (Marc et al., 1999). Duarte (2004), constatou que as aranhas e os pseudo-escorpiões (Arachnida: Pseudoscorpionida) apresentaram diminuição drástica em sua abundância nos fragmentos que continham menores áreas, onde a estrutura da vegetação estava mais alterada, a quantidade de serapilheira era menor e a pressão de pastoreio maior. Segundo Dennis et al. (2001), a estrutura da vegetação, a quantidade de serapilheira e a pressão de pastoreio são importantes para a determinação das abundância e diversidade de aracnídeos.

As aranhas são boas indicadoras no que diz respeito aos fatores físicos do ambiente como alterações no microclima, sendo desta forma sensível em áreas que sofreram algum tipo de intervenção antrópica, tendo sua população reduzida com a intensidade do uso do solo e efeitos degradantes (Baretta et al., 2007a).

Acarina

Este grupo está amplamente associado com a matéria orgânica do solo. É encontrado em todo o perfil do solo, na serapilheira, na superfície de gramíneas, nos galhos e nas folhas de árvores (Behan-Pelletier, 1999). Sua resistência à seca e às temperaturas extremas permite sua colonização em praticamente todos os solos (Lavelle & Spain, 2001). As espécies de ácaros são em grande parte consideradas parasitas de plantas e animais, porém a maioria tem um papel de grande importância no controle de plantas daninhas e insetos indesejáveis. Algumas espécies demonstraram ainda grande relevância na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na formação do solo. Alimentam-se de grande variedade de material em decomposição, fungos e musgos.

Os ácaros constituem parte importante da comunidade de microartrópodes do solo, são organismos que indicam áreas com impacto de práticas de manejo do solo, respondem a fatores como compactação do solo e efeito residual de agrotóxicos (Behan-Pelletier, 1999).

Minor et al. (2004), estudando os efeitos das técnicas de preparo do solo sobre a comunidade de ácaros do solo (Acari: Oribatida e Acari: Gamasida) em Nova York, constataram que estes dois grupos podem ser alterados negativamente com aplicação direta de alguns herbicidas, especialmente no primeiro ano.

Segundo Ducatti (2002), os ácaros ocorrem em diversos ecossistemas e têm sua população aumentada com a adição de produtos químicos, como fertilizantes nitrogenados e inseticidas, diminuindo seus predadores.

Os ácaros oribatídeos (Oribatida) oferecem várias vantagens para a avaliação da qualidade dos ecossistemas terrestres: sua diversidade é alta, eles ocorrem em número elevado, pois são facilmente encontrados na amostra são muito frequentes no solo (Behan-Pelletier, 1999). Apresentaram, geralmente pouca capacidade para responder, em curto prazo, às alterações ambientais e suas populações declinam rapidamente quando o habitat é alterado, o que pode permitir sua utilização para detectar a degradação ambiental (Duarte, 2004).

Sgardelis & Usher (1994), estudando a comunidade de ácaros oribatídeos em fragmentos florestais de áreas agrícolas da Inglaterra, relataram que as populações de oribatídeos e a organização da comunidade exibiram mudanças bruscas em uma transição mata-lavoura, com a maioria das espécies isoladas na área de mata. Segundo Behan-Pelletier (1999), os dejetos dos ácaros fornecem grande superfície para decomposição e, por sua vez, são parte

integrante da estrutura do solo em horizontes orgânicos, com efeitos diretos e indiretos sobre a formação e manutenção da estrutura do solo.

Collembola

Os colêmbolos juntamente com os ácaros constituem a maior parte da mesofauna edáfica, sendo importantes fontes de alimento para aranhas e coleópteros. Os colêmbolos são pequenos artrópodes, ápteros, encontrados em todo o mundo (Bellinger et al., 2007). Estão entre os invertebrados mais abundantes no solo, podendo sobreviver também na serapilheira, árvores, litoral marinho e na água doce (Bellinger et al., 2007; Baretta et al., 2008).

A umidade e a temperatura são fatores que determinam o habitat ideal e influenciam a taxa de reprodução e crescimento dos indivíduos e sua distribuição vertical ao longo de um perfil (Arbea & Basco-Zumeta, 2001). São bons indicadores de áreas que sofreram com impacto de metais pesados e efeitos residuais de defensivos agrícolas e desempenham papel importante em vários processos do solo, tais como: decomposição da matéria orgânica e formação do solo (Lavelle, 1996). A população de Collembola pode ser diretamente alterada pela ação antrópica, com o uso indiscriminado ou incorreto do solo. Fiera (2009) estudou os efeitos dos poluentes atmosféricos na população de colêmbolos, sendo encontrada maior riqueza de espécies nas áreas menos poluídas.

Um dos fatores de maior importância na abundância de espécies de colêmbolos são os fatores climáticos, como variação de temperatura e umidade do solo, outro fator é a disponibilidade de matéria orgânica e alimento na área (Arbea & Basco-Zumeta, 2001). A diversidade dos colêmbolos tem sido usada como bioindicador de distúrbios, efeitos da intervenção antrópica, bem como da qualidade do solo (Cutz-Pool et al., 2007). Baretta et al. (2008), estudando colêmbolos como indicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*, constataram que as famílias de colêmbolos são sensíveis às intervenções antrópicas, sendo observada na floresta nativa de araucária com melhores condições edáficas, o desenvolvimento de uma maior diversidade de famílias, em comparação às áreas que sofreram maiores interferências antrópicas.

A crescente intervenção antrópica e o aumento de incêndios acidentais podem contribuir para reduzir a diversidade de colêmbolos (Baretta et al., 2008). Desta forma, a diversidade de colêmbolos pode ser amplamente utilizada para estudar o nível de intervenção antrópica.

Fauna Edáfica em Áreas Degradadas

A degradação ambiental dos diferentes ecossistemas brasileiros é uma realidade que atingiu proporções alarmantes em algumas regiões, já no final do século XIX e início do século XX, seja para a formação de cultivos agrícolas, pastagens ou expansão de áreas urbanas. Essa degradação do solo gera um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais e representa enorme risco para as gerações futuras, provocando grande impacto nos ecossistemas, com enorme perda da biodiversidade.

De acordo com Azevedo & Kaminski (1995), os processos de degradação do solo podem ser entendidos como perturbações nos fluxos de troca, as quais se ampliam por todo o sistema, alterando seu funcionamento e produzindo uma nova realidade ao solo e, ou, o ecossistema degradado. Esse processo caracteriza-se inicialmente pela redução da capacidade do solo em sustentar a vida dos organismos produtores e consumidores, assim como dos serviços ambientais em decorrência da diminuição da sua qualidade como habitat (Siqueira et al., 2008).

A degradação dos solos resulta principalmente das atividades antrópicas, que são: desmatamento, obras de construção civil (expansão da urbanização, construção de estradas, barragens, lixões), mineração, deposição de rejeitos, contaminação, salinização, compactação, agricultura extensiva e de subsistência, como também de processos naturais (arenização, atividades vulcânicas, deslizamento de terras, erosão do solo, inundações, fogo) (Figura 2).

Como resultados dessas atividades, alguns processos são causadores da degradação do solo, como a erosão hídrica e eólica, as perdas da matéria orgânica, o acúmulo excessivo de sais no solo, a lixiviação de nutrientes, o acúmulo de substâncias e metais tóxicos, a chuva ácida, as mudanças na estruturação, na porosidade, na permeabilidade e na densidade do solo. Todos esses processos degradadores estão associados à deterioração das características e atributos físicos, químicos e biológicos que garantem a boa qualidade do solo, sendo essas alterações fortemente influenciadas pelo teor de matéria orgânica (Siqueira et al., 2008).

Deve-se ressaltar que a degradação não é um processo irreversível, mas normalmente a recuperação é muito lenta e difícil de ser alcançada. Na recuperação, a sequência temporal é inversa, ou seja, primeiro se corrigem os atributos físicos e químicos para, em seguida, recuperar os atributos biológicos funcionais. O tempo para recuperação sustentada destes atributos pode variar de poucos anos até várias décadas, dependendo do grau de degradação e do esforço nas ações recuperadoras (Siqueira et al., 2008).

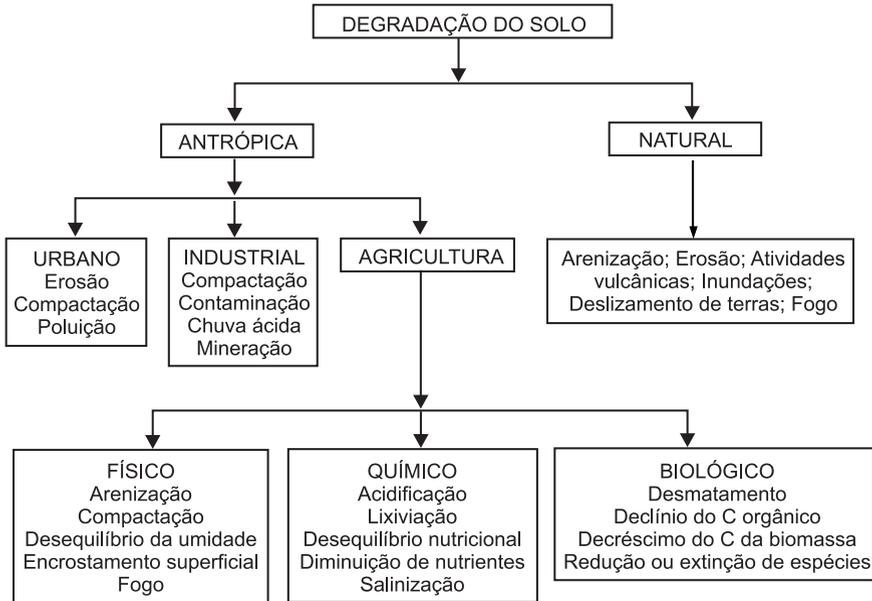


Figura 2. Esquema dos principais tipos de degradação do solo.

O êxito na recuperação de uma área degradada depende da melhoria da qualidade do solo. Por essa razão, práticas de manejo que minimizam impactos prejudiciais das atividades humanas ao recurso do solo podem prevenir sua degradação e facilitar sua recuperação (Stahl et al., 2002). Muitas práticas podem ser usadas para diminuir a degradação dos solos e melhorar inicialmente a diversidade de organismos do solo, como, por exemplo: eliminação das operações de preparo do solo, com adoção do sistema semeadura direta, não utilização de fogo, formação da cobertura morta, plantio de leguminosas eficientes em fixação de N_2 e rotação de culturas e pousio, dentre outras.

Alguns trabalhos demonstram a influência das práticas não conservacionistas na diversidade da fauna. Fowler (1998), mostrou que as práticas de revegetação, com a leguminosa *Mimosa scabrella*, em áreas de mineração promoveram rápido enriquecimento da comunidade de formigas, apresentando em apenas quatro anos um número de 23 a 30 espécies de formigas, sendo semelhante à mata nativa com um número de 21 a 36 espécies. Nunes et al. (2009), constataram que as queimadas realizadas após o desmatamento da Caatinga resultaram em redução da abundância e diversidade da fauna edáfica, enquanto o enleiramento dos resíduos orgânicos mostrou ser uma prática mais conservacionista para a fauna.

O aumento da diversidade da fauna e o re-estabelecimento da cadeia trófica podem ser indicativo de que o ecossistema vem se mantendo em equilíbrio e se auto-sustentando. Os impactos das mudanças na diversidade dependem das condições biológicas do ecossistema, por exemplo, da riqueza e densidade de espécies da fauna do solo antes da interferência e da intensidade do distúrbio imposto ao ecossistema. Segundo Topp et al. (2001), a fauna do solo melhora significativamente as propriedades físicas e químicas do solo em áreas submetidas a processos de recuperação.

Grupos funcionais da fauna edáfica podem desaparecer ou serem reduzidos em sua abundância e diversidade como resultado de processos de degradação do solo ou de substituição da diversidade natural por poucos organismos exóticos oportunistas e altamente adaptados a distúrbios (Lavelle, 1996; Loranger et al., 1999). Alterações locais nas condições ambientais após um distúrbio tendem a mudar o balanço competitivo entre as espécies, permitindo redistribuição na dominância entre as espécies (Begon et al., 1999) e, conseqüentemente, na estrutura das comunidades. Perturbações antrópicas impostas a sistemas naturais levam à desestruturação ecológica do conjunto de "condições ideais" para muitos organismos, que podem responder de diversas maneiras: desde indiferença até desaparecimento total, ou mesmo favorecimento de super reprodução (Brown Jr., 1991), como a presença de grandes populações e reduzido número de espécies (Lara, 1992).

Distúrbios realizados nos ecossistemas alteram a distribuição da fauna do solo à medida que alteram a disponibilidade de recurso alimentar, modificando as interações ecológicas intra e interespecíficas. Por exemplo, espécies epigeicas, que vivem na serapilheira, desaparecem com o desmatamento ou com maior perturbação dos solos (uso de práticas não-conservacionistas e agrotóxicos) (Melo et al., 2009). Rovedder et al. (2009) estudaram organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa do Rio Grande do Sul e observaram redução drástica da população de colêmbolos entre os tratamentos com cobertura vegetal e no tratamento com solo arenizado. Verificaram, ainda, a redução da população e da riqueza de espécies de colêmbolos em sítios que perderam sua cobertura do solo, em decorrência da alta temperatura e baixo teor de umidade nestas áreas. A diversidade da estrutura da cobertura vegetal pode influenciar a variabilidade da distribuição de comunidades de colêmbolos edáficos (Ponge et al., 2003).

Um adequado estabelecimento de cobertura vegetal poderá auxiliar a recuperação da diversidade da fauna edáfica, ou seja, devem-se escolher espécies que tenham capacidade para crescer rapidamente, proteger e

enriquecer o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem e restabelecer o regime hídrico (Kopezinski, 2000). Pereira et al. (2007) desenvolveram um trabalho com formigas no Município de Itaguaí, RJ, região de Mata Atlântica, em que o ambiente sofreu remoção de 1.400.000 m³ de substrato em 1979 e, somente em 1994, foi realizada reabilitação envolvendo o uso de diferentes combinações de espécies vegetais nativas e exóticas e uma área testemunha, sem qualquer tipo de intervenção desde 1980. A comunidade de formigas demonstrou ser sensível às variações no ambiente, sofrendo influência da estrutura vegetal, onde a maior riqueza de espécies foi encontrada nas parcelas com maior número de espécies arbóreas nativas.

Uma das técnicas que atualmente vem sendo utilizada pelos produtores e que ameniza os problemas de degradação dos recursos naturais com a fauna edáfica é o plantio direto (Aquino et al., 2008). Nesse sistema, a macrofauna em um Latossolo, tanto nas condições climáticas do Cerrado quanto da Mata Atlântica, é mais diversa que no sistema convencional (Silva et al., 2006b). Por outro lado, quando se observaram resultados referentes a duas safras de verão e duas de inverno, a riqueza de grupos foi superior nas áreas de matas quando comparadas com o plantio direto. Isso decorre do fato de ser este ambiente mais favorável em termos de variedades de micro habitats e oferta de recursos (Silva et al., 2006b).

A degradação por pastejo contínuo em áreas cobertas por *Brachiaria*, Marandu, Mimosa e outras espécies têm demonstrado menores valores de riqueza de grupos, possivelmente em decorrência do monocultivo (Dias et al., 2007). Todavia, quando usado um sistema agropastoril, onde ocorre integração da lavoura e pecuária com uma rotação e, ou, sucessão de cultivos, a diversidade da fauna é favorecida, e a riqueza aumenta, variando de 13 a 18 grupos, e a densidade pode atingir 3.300 indivíduos por metro quadrado ou mais (Dias et al., 2006; Silva et al., 2006a). Barros (1999), estudando uma cronossequência de pastagens degradadas para capoeiras e sistemas agroflorestais na Amazônia Central, observou rápida regeneração da fauna do solo no sistema agroflorestal.

O potencial das minhocas em melhorar o solo durante a recuperação de áreas ou em locais agrícolas degradados é de interesse crescente (Lee, 1995). Em muitas situações, pode ser desejável introduzir minhocas; para isso, foram desenvolvidas técnicas de inoculação para amplas áreas destituídas de minhocas e para introdução de espécies que podem executar funções desejadas. Normalmente, é necessário que as condições do solo sejam favoráveis (por exemplo, matéria orgânica, umidade e temperatura do

solo apropriadas) na hora da inoculação (por exemplo, blocos de campo nativo) para que as minhocas possam dispersar (Coleman et al., 2004).

Misturas de espécies de minhocas podem influenciar uma ordem maior de processos no solo do que uma única espécie, com o aumento da matéria orgânica como também melhoria nas propriedades estruturais do solo (Lee, 1995). Introdução de tais populações poderia incluir uma ou mais espécies de anécicas e uma ou mais espécies de endogeicas. Inclusão de espécies epigeicas poderia apressar a decomposição de resíduos na superfície do solo (Coleman et al., 2004; Aquino & Correia, 2005). Além dos benefícios físicos que as minhocas proporcionaram no solo, também realizam a dispersão de fungos micorrízicos arbusculares, acarretando grandes benefícios às áreas degradadas (Siqueira et al., 2007).

A presença ou a ausência de espécies exóticas e nativas de organismos edáficos pode ser utilizada como indicadora de qualidade do estado de perturbação do ambiente (Brown & James, 2006; Baretta et al., 2007b), além de informações importantes sobre o nível de perturbação antrópica. Porém, até o momento, as populações da fauna do solo não têm sido usadas para este fim, especialmente pela falta de conhecimento das espécies e sua distribuição e pela ausência de taxonomistas qualificados para realizar tais estudos em ambientes degradados.

A exploração mineral, se não conduzida devidamente, exerce forte impacto sobre os ecossistemas, perturbando-os totalmente, por destruir a vegetação e promover grandes retiradas de solo, alterando radicalmente a paisagem. Além disso, a exploração mineral pode acarretar consequências importantes no seu entorno, sobretudo pela retirada de solo de áreas de empréstimo e por descarga de resíduos contaminados com sedimentos de produtos químicos, metais ou acidez alterada. As operações de mineração podem também introduzir pragas, predadores e doenças nos ecossistemas naturais e podem abrir zonas marginais sujeitas a outras perturbações produzidas pelo homem (Gardner, 2001). No Brasil, apesar dos poucos estudos em áreas mineradas, pesquisas com fauna de solo estão voltadas a áreas recuperadas e, ou, em processo de recuperação de minas de carvão, bauxita e xisto (folhelho pirobetuminoso).

Têm ocorrido vários estudos relacionados com a taxa de recolonização por Collembola em locais de minas revegetados ou minas a céu aberto. Estes estudos mostraram que Collembola são os colonizadores primários de locais perturbados, sendo útil para monitorar o progresso de reabilitação. Por exemplo, em minas recuperadas de carvão na Austrália, Collembola foi dominante durante o período pioneiro e permaneceu assim até o décimo

ano de recuperação (Dunger, 1989). Zeppelini et al. (2009) ressaltam a importância dos colêmbolos como bioindicadores de áreas alteradas, pois são altamente sensíveis a diferenças de estádios ecológicos sucessionais, têm ciclo de vida curto e são ricos em espécies endêmicas e não-endêmicas.

Um fator-chave na degradação destas áreas é a perda de cobertura vegetal, permitindo aumento da erosão o que favorece o processo de salinização. A presença de vegetação em tais áreas é importante, desde que forneça proteção física e contribua para o aumento da matéria orgânica, permitindo o aumento da retenção de água e da fertilidade do solo (Garcia et al., 1994). Resultados obtidos por Sautter et al. (1998), em pastagens, na recuperação dos solos degradados pela mineração do xisto, mostraram que o uso de espécies vegetais forrageiras e adubação mineral com permanência da palhada sobre o solo proporcionou aumento do número de Collembola na camada de 0 a 3 cm. Como o progresso de vegetação natural é muito lento em espólios de mina, na maioria dos casos, a plantação seletiva de espécies nativas é desejada (Singh, 2004).

Em estudo realizado em área reconstruída após a mineração de carvão, não foram observadas diferenças significativas na densidade de organismos nos tratamentos adotados em uma mina na região sul de Santa Catarina (Correa, 2010). O processo desuniforme de reconstrução da área resultou em baixa densidade de organismos.

Contudo, o manejo de áreas degradadas pode melhorar a densidade populacional da fauna do solo, podendo auxiliar na recuperação de solos degradados, aumentando o crescimento das plantas, desde que manejada adequadamente e com aplicação adequada de fertilizantes (Hutson, 1989). O tratamento de áreas degradadas com uma camada superficial de matéria orgânica pode aumentar a qualidade do solo, tornando comparável a áreas com longo histórico de fertilização, sendo este efeito devido, principalmente, às melhorias das condições para o estabelecimento da fauna do solo e sua atividade (Topp et al., 2001). Entretanto, no Brasil, existem poucos estudos que relacionam fauna do solo com áreas degradadas pela exploração mineral, especialmente quanto às espécies.

Análise Multivariada (AM) na Seleção de Bioindicadores de Qualidade do Solo

O uso da análise multivariada (AM) tem crescido muito nas mais diversas áreas do conhecimento, por avaliar múltiplos atributos ao mesmo tempo.

Diferentemente dos métodos estatísticos univariados que tratam de apenas uma variável por vez, esse tipo de análise pode ser usada para avaliar as interações entre diferentes grupos de indivíduos e as variáveis ambientais explicativas (Scheeren et al., 2000; Baretta, 2007).

Baretta (2007) afirma que a AM tem diversos métodos que podem analisar dados biológicos do solo, dentre os quais destacam: análise de correspondência (AC), análise de componentes principais (ACP), análise de agrupamento (Cluster Analysis) e análise canônica discriminante (ACD).

AAC e ACP mostram base de cálculos semelhantes, já que as duas são análise de ordenação. Todavia, no caso da AC, os valores alcançados são valores relativos e na representação gráfica esses valores representam maior ou menor associação entre as espécies em cada tratamento. Já a ACP gera um conjunto de variáveis a partir de um conjunto maior de variáveis. As variáveis geradas são combinações lineares das variáveis do conjunto maior. Na ACP, vários componentes são gerados. O componente principal 1 (CP1) é o que explica maior grau de variabilidade, o qual diminui de acordo com o aumento de componentes analisados (CP2, CP3... CP_n). E o número de CP a serem analisados é diferente em termos de quantidade de variabilidade (%) que é explicada por cada CP, e a forma gráfica dos dados ajuda na interpretação dos resultados.

A análise canônica discriminante (ACD) permite compreender as relações entre os atributos do solo e as áreas analisadas e detecta se há diferenças entre tratamentos. Essa é uma importante ferramenta a ser utilizada quando o objetivo é identificar qual dos atributos biológicos é o que mais contribui para diferir os locais estudados (Baretta et al., 2006), considerando esse atributo como um indicador sensível às intervenções ocorridas (Scheeren et al., 2000; Baretta, 2007).

Na análise de agrupamento, é empregada aos algoritmos uma medida de similaridade ou de distância estatística entre os elementos de uma matriz de dados. Essa análise evidencia a similaridade entre os tratamentos em relação à variável que se está usando, por exemplo, abundância de grupos ou de classe taxonômica (Alves et al., 2008). Dentre as diversas distâncias estatísticas, vem sendo muito utilizada a "distância euclidiana" por sua facilidade de cálculo, especialmente quando o propósito é agrupar valores de maneira que os que permanecem em um mesmo grupo sejam similares e valores de diferentes grupos sejam dissimilares (Baretta et al., 2003; Baretta et al., 2007a).

De modo geral, este tópico não visa a detalhar todos os métodos de análise multivariada, mas, sim, incentivar sua maior utilização (AC, ACP,

ACC e ACD) na área de biologia do solo, visto que essas técnicas mostram-se como ferramentas úteis para avaliar e selecionar os melhores indicadores da qualidade do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fauna edáfica pode ser usada como bioindicadora da qualidade, uma vez que alguns indivíduos mostram-se sensíveis ao uso e manejo do solo, além de envolver medições fáceis e de baixo custo.

Os pesquisadores na área de Solos no Brasil poderiam utilizar métodos padronizados, preferencialmente ISO (International Standardization Organization) em estudos de indicadores de qualidade e de inventários de biodiversidade da fauna edáfica e adotar a multidisciplinaridade, visando relacionar informações de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, por meio de análise multivariada.

Sugere-se também realizar estudos dentro da área de ecotoxicologia do solo com organismos-teste, não só por ser esta linha de pesquisa carente no Brasil, mas também por apresentar grande potencial para avaliar por meio de métodos padronizados (ISO) o risco do impacto ambiental da aplicação de resíduos tanto de origem animal quanto vegetal, usando organismos indicadores da qualidade do solo, tais como: colêmbolos, enquitreídeos, minhocas e isópodes.

Dentre os temas mais relevantes para estudos, destaca-se a utilização de técnicas de análises moleculares para a macro e mesofauna do solo, em especial a utilização de código de barras, que não foi apresentado neste capítulo.

Maiores investimentos e esforços devem ser direcionados para a formação de taxonomistas, especialmente na área de meso e macrofauna do solo.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, H.C.; ALMEIDA, D.; ALVES, M.V.; SCHNEIDER, J.; MAFRA, Á.L. & BERTOL, I. Propriedades químicas e fauna do solo influenciadas pela calagem em sistema semeadura direta. *Ci. Rural*, 37:1462-1465, 2007.
- ALMEIDA, S.S.P. & LOUZADA, J.N.C. Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (*Scarabaeidae: Coleoptera*) em fitofisionomias do cerrado e sua importância para a conservação. *Neotrop. Entomol.*, 38:32-43, 2009.

- ALVAREZ, H.J.G. Diversidade, taxonomia e distribuição da tribo Oryctini (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae) para a Amazônia Brasileira. Manaus, Universidade Federal do Amazonas, 2008. 122p. (Tese de Mestrado)
- ALVES, M.V.; BARETTA, D. & CARDOSO, E.J.B.M. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no Estado de São Paulo. R. Ci. Agrovet., 5:33-43, 2006.
- ALVES, M.V.; SANTOS, J.C.P.; GÓIS, D.T.; ALBERTON, J.V. & BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no Oeste do estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 32:589-598, 2008.
- ANDERSEN, A.N.; HOFFMANN, B.D.; MULLER, W.J. & GRIFFITHS, A.D. Using ants as bioindicators in land management: Simplifying assessment of ant community responses. J. Appl. Ecol., 39:8-17, 2002.
- ANDERSON, J.M. & INGRAM J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, CAB International, 1993. 171p.
- ANDRADE, L.B. Uso da fauna edáfica como bio-indicadora de modificações ambientais em áreas degradadas. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 44p. (Monografia de Graduação)
- ANDRÉA, M.M. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. Acta Zool. Mex., 2:97-107, 2010.
- ANTONIOLLI, Z.I.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOCK, V.D.; PORT, O.; SILVA, D.M. & SILVA, R.F. Método alternativo para estudar a fauna do solo. Ci. Flor., 16:407-417, 2006.
- AQUINO, A.M. & CORREIA, M.E.F. Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2005. 52p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 201)
- AQUINO, A.M.; CORREIA, M.E.F. & ALVES, M.V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.142-170.
- ARBEA, J.I. & BASCO-ZUMETA, J. Ecología de los Colembolos (*Hexapoda, Collembola*) en Los Monegros (Zaragoza, España). Aracnet 7 -Bol. SEA., 28:35-48, 2001.
- AUDINO, L.D.; NOGUEIRA, J.M.; SILVA, P.G.; NESKE, M.Z.; RAMOS, A.H.B.; MORAES, L.P. & BORBA, M.F.S. Identificação dos coleópteros (Insecta: Coleoptera) das regiões de Palmas (município de Bagé) e Santa Barbinha (município de Caçapava do Sul), RS. Bagé, 2007. 92p. (Informação Técnica – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 70)
- AZEVEDO, A.C. & KAMINSKI, J. Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul. Ci. Amb., 11:7-31, 1995.
- BANDEIRA, A.G.; VASCONCELOS, A.; SILVA, M. & CONSTANTINO, R. Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a highland tropical Forest in the Caatinga Domain, Brazil. Sociobiology, 42:117-127, 2003.
- BARETTA, D. Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2007. 158p. (Tese de Doutorado).
- BARETTA, D.; BRESCOVIT, A.D.; KNYSAK, I. & CARDOSO, E.J.B.N. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (arachnida: araneae) in *Araucaria angustifolia* forest. Sci. Agric., 64:375-383, 2007b.

- BARETTA, D.; BROWN, G.G.; JAMES, S.W. & CARDOSO, E.J.B.N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic Forests with *Araucaria angustifolia*. *Sci. Agric.*, 64:384-392, 2007a.
- BARETTA, D.; BROWN, G.G. & CARDOSO, E.J.B.N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Acta Zool. Mex.*, 2:135-150, 2010.
- BARETTA, D.; FERREIRA, C.S.; SOUSA, J.P. & CARDOSO, E.J.B.N. Colêmbolos (*Hexapoda: Collembola*) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *R. Bras. Ci. Solo.*, 32:2693-2699, 2008.
- BARETTA, D.; MAFRA, A.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T. & BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1675-1679, 2006.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, Á.L.; WILNDER, L.P. & MIQUELLUTI, D.J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. *R. Ci. Agrovet.*, 2:97-106, 2003.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; RIBEIRO, S.F. & KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:715-724, 2005.
- BARROS, E. Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physiques du sol de paturages dégradés D'Amazonie. Paris, L'Université Paris VI, 1999. 127p. (Tese de Doutorado)
- BARROS, E.; PASHANASI, B.; CONSTANTINO, R. & LAVELLE, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biol. Fert. Soils*, 35:338-347, 2002.
- BARROSO, E.; HIDAKA, A.S.V.; SANTOS, A.X.; FRANÇA, J.D.M.; SOUSA, A.M.B.; VALENTE, J.R.; MAGALHÃES, A.F.A. & PARDAL, P.P.O. Acidentes por centopéias notificados pelo "Centro de informações toxicológicas de Belém", num período de dois anos. *R. Soc. Bras. Medic. Trop.*, 34:527-530, 2001.
- BARTZ, M.L.; BROWN, G.G.; PASINI, A.; FERNANDES, J.O.; CURMI, P.; DORIOZ, J. & RALISCH, R. Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation. *Peq. Agropec. Bras.*, 44:928-933, 2009b.
- BARTZ, M.L.; PASINI, A. & BROWN, G.G. Earthworms from Mato Grosso, Brazil, and new records of species from the state. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:934-939, 2009a.
- BATTIROLA, L.D.; ADIS, J.; MARQUES, M.I. & SILVA, F.H.O. Composição da comunidade de artrópodes associada à copa de *Attalea phalerata* Mart. (Arecaceae), durante o período de cheia no Pantanal de Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Neotrop. Entomol.*, 36:640-651, 2007.
- BEGON, M.; HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. *Ecology*. Berlin, Blackwell, 1999. 945p.
- BEHAN-PELLETIER, V.M. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: Role for bioindication. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74:411-423, 1999.
- BELLINGER, P.F.; CHRISTIANSEN, K.A. & JANSSENS, F. Checklist of the Collembola of the world. 2007. Disponível em: < <http://www.collembola.org>>. Acesso em: 10 fev. de 2010.

- BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M.F. & BOBILLIER, B. Transformation of soil macroinvertebrate populations alter native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *Eur. J. Soil. Biol.*, 40:147-154, 2004.
- BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; BROWN, G., DECAENS, T.; DUBOISSET, A.; LAVELLE, P.; MARIANI, L. & ROOSE, E. Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion. *Agric. Environ.*, 12:303-315, 2004.
- BROWN Jr., K.S. Conservation of neotropical environments: Insects as indicators. In: COLLINS, N.M. & THOMAS, J.A., eds. *The conservation of insects and their habitats*. London, Academic Press, 1991. p.349-404.
- BROWN Jr., K.S. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: MARTOS, H.L. & MAIA, N.B., eds. *Indicadores ambientais*. Sorocaba, PUCC/Schell, 1997. p.143-155.
- BROWN, G.G. & DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE ECOLOGIA E TAXONOMIA DE OLIGOQUETAS (ELAETAO3), 3., Curitiba, 2010; *Acta Zool. Mex.*, 2:1-18, 2010.
- BROWN, G.G. & DOUBE, B.M. Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. In: EDWARDS, C.A., ed. *Earthworm ecology*. Boca Raton, CRC Press, 2004. p.213-239.
- BROWN, G.G. & JAMES, S.W. Earthworm biodiversity in São Paulo state, Brazil. *Eur. J. Soil Biol.*, 42:145-149, 2006.
- BROWN, G.G.; JAMES, S.W.; PASINI, A.; NUNES, D.H.; BENITO, N.P.; MARTINS, P.T. & SAUTTER, K.D. Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: Diversity, distribution, and effects on soils and plants. *Caribb. J. Sci.*, 42:339-358, 2006.
- BROWN, G.G. & SAUTTER, K.D. Biodiversity, conservation and sustainable management of soil animals: the XV International Colloquium on Soil Zoology and XII International Colloquium on Apterygota. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:1-9, 2009.
- BROWN, G.G.; PASINI, A.; BENITO, N.P.; AQUINO, A.M. & CORREIA, M.E.F. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: A preliminary analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MANAGING BIODIVERSITY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS. Montreal, 2001. p.8-10.
- BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 98:35-78, 2003.
- CHAUVEL, A.; GRIMALDI, M.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M. & LAVELLE, P. Pasture damage by an Amazonian earthworm. *Nature*, 398:32-33, 1999.
- CLAPPERTON, M.J.; MILLER, J.J.; LARNEY, F.J. & LINDWALL, W.C. Earthworm populations as affected by long-term tillage practices in southern Alberta, Canada. *Soil Biol. Biochem.*, 29:631-633, 1997.
- COLEMAN, D.C. & CROSSLEY Jr., D.A. *Fundamentals of soil ecology*. San Diego, Academic Press, 1996. 205p.
- COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr., D.A. & HENDRIX, P.F. *Fundamentals of soil ecology*. 2.ed. Athens, Elsevier. 2004. 404p.
- CONSTANTINO, R. & ACIOLI, A.N.S. Diversidade de cupins (Insecta: Isoptera) no Brasil. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.277-297.

- CORREA, D.S. Fauna edáfica como indicador da recuperação de áreas degradadas por mineração de carvão. Joinville, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). 2010. 90p. (Tese de Mestrado).
- CORREIA, M.E.F. & ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.137-158.
- COSTA NETO, E.M. The perception of diplopoda (*Arthropoda*, *Myriapoda*) by the inhabitants of the county of Pedra Branca, Santa Teresinha, Bahia, Brazil. *Acta Biol. Colomb.*, 12:123-134, 2007.
- CUTZ-POOL, L.Q.; PALACIOS-VARGAS, J.G.; CASTAÑOMENESES, G. & GARCÍA-CALDERÓN, N.E. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, México. *Appl. Soil Ecol.*, 36:46-52, 2007.
- DAI, J.; BECQUER, T.; ROUILLER, J.H.; REVERSAT, G.; BERNHARD-REVERSAT, F. & LAVELLE, P. Influence of heavy metals on C and N mineralisation and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. *Appl. Soil Ecol.*, 25:99-109, 2004.
- DECAËNS, T.; MARIANI, L. & LAVELLE, P. Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. *Appl. Soil Ecol.*, 13:87-100, 1999.
- DENNIS, P.; YOUNG, M.R. & BENTLEY, C. The effects of varied grazing management on epigeal spiders, harvestmen and pseudoscorpions of *Nardus stricta* grassland in upland Scotland. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 86:39-57, 2001.
- DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; CORREIA, M.E.F.; ROCHA, G.P.; MOREIRA, J.F.; RODRIGUES, K.M. & FRANCO, A.A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de *Digitaria*. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:1015-1021, 2006.
- DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; CORREIA, M.E.F.; RODRIGUES, K.M. & FRANCO, A.A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:38-44, 2007.
- DOMINGUES, L.N. & MENDES, J. Susceptibilidade do besouro rola-bosta africano a reguladores de crescimento de insetos. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 61:1077-1084, 2009.
- DUARTE, M.M. Abundância de microartrópodes do solo em fragmentos de mata com araucária no sul do Brasil. *Iheringia. Série Zool.*, 94:163-169, 2004.
- DUCATTI, F. Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas de reflorestamento com espécies da mata atlântica. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. (Tese de Mestrado)
- DUNGER, W. The return of soil fauna to coal mined areas in the German Democratic Republic. In: MAJER, J.D., ed. *Animals in primary succession: The role of fauna in reclaimed lands*. Cambridge, Cambridge University Press, 1989. p.307-337.
- DUNXIAO, H.; CHUNRU, H.; YALING, X.; BANWANG, H.; LIYUAN, H. & PAOLETTI, M.G. Relationship between soil arthropods and soil properties in a suburb of Qianjiang City, Hubei, China. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18:467-473, 1999.
- ESPÍRITO-SANTO FILHO, K. Efeito de distúrbios ambientais sobre a fauna de cupins (Insecta: Isoptera) e seu papel como bioindicador. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", 2005. (Tese de Mestrado)

- FARKAS, S.; HORNING, E. & FISCHER, E. Toxicity of cooper to *Procellio scaber* Latr. Isopoda under different nutritional status. Bull. Environ. Contamin. Toxicol., 57: 582-588, 1996.
- FAUVEL, G. Diversity of Heteroptera in agroecosystems: Role of sustainability and bioindication. Agric., Ecosyst. Environ., 74:275-303, 1999.
- FIERA, C. Biodiversity of Collembola in urban soils and their use as bioindicators for pollution. Pesq. Agropec. Bras., 44:868-873, 2009.
- FLOREN, A.; BIUN, A. & LINSENAIR, K.E. Arboreal ants as key predators in tropical lowland rainforest trees. Oecologia, 131:137-144, 2002.
- FORGARAIT, P.J. Ant its relationship to ecosystem functioning: A review. Biol. Conser., 7:1221-1244, 1998.
- FOWLER, H.G. Formigas indicam nível de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Provas de melhoria ambiental. Ci. Hoje, 24:69-71, 1998.
- FREITAS. M.P. Flutuação populacional de oligochaeta edáfica em hortas sob sistemas convencional e orgânico no município de Canoinhas/SC. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. 61p. (Tese de Mestrado)
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P. L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E., PARRA, J.R.P., ZUCCHI, R.A.F. & ALVES, S.B. Entomologia agrícola. Piracicaba, FEALQ, 2002. 919p.
- GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. & COSTA, F. Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. Soil Biol. Biochem., 26:1185-1191, 1994.
- GARDNER, J. Reabilitación de minas para el mejor uso del terreno: la minería de bauxita en el bosque de jarrah de Australia Occidental. Unasyuva, 52:3-8, 2001.
- GRÜRZMACHER, D.D.; LOECK, A.E. & MEDEIROS, A.H. Ocorrência de formigas cortadeiras na região da depressão central no Estado do Rio Grande do Sul. Ci. Rural, 32:185-190, 2002.
- GRZÉS, I.M. Ants and heavy metal pollution - A review. Eur. J. Soil Biol., 46:350-355, 2010.
- HASSALL, M. Spatial variation in favorability of a grass heath as a habitat for woodlice (*Isopoda: Oniscidea*). Pedobiologia, 40:514-528, 1996.
- HATFIELD, J.L. & STEWART, B.A. Soil biology: Effects on soil quality. Boca Raton, CRC Press, 1993.169p.
- HEISLER, C. & KAISER, E.A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. Biol. Fert. Soils, 19:159-165, 1995.
- HORGAN, F.G. Burial of bovine dung by coprophagous Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from house and cow grazing sites in El Salvador. Eur. J. Soil. Biol., 47:103-111, 2001.
- HUTSON, B.R. The role of fauna in nutrient turnover. In: MAJER, J.D., ed. Animals in primary succession. The role of fauna in reclaimed lands. New York, Cambridge University Press, 1989. p.51-70.
- IZZO, J.T.; PINENT, S.M.J. & MOUND, L.A. *Aulacothrips dictyotus* (Heterothripidae), the first ectoparasitic thrips (Thysanoptera). Fla. Entomol., 85:281-283, 2002.

- JAMES, S.W. & BROWN, G.G. Ecologia e diversidade de minhocas no Brasil. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008.. p.193-276.
- JIMÉNEZ, J.J.; MORENO, A.G.; DECAENS, T.; LAVELLE, P.; FISHER, M.J. & THOMAS. R.J. Earthworm communities in native savannas and man-made pastures of the eastern plains of Colombia. *Biol. Fert. Soils*, 28:101-110, 1998.
- JOPKIEWICZ, K. & SZTRANTOWICZ, H. Methods for the assessment of population density: Protozoa. In: GÖRNY, M. & GRÜM, L., eds. *Methods in soil zoology*. Varsóvia, Elsevier, 1993. p.142-155.
- JOUQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLÖF, J.; LAVELLE, P. & LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Appl. Soil. Ecol.*, 32:153-164, 2006.
- KING, J.R.; ANDERSEN, A.N. & CUTTER, A.D. Ants as bioindicators of habitat disturbance: validation of the functional group model for Australia's humid tropics. *Biodivers. Conserv.*, 7:1627-1638, 1998.
- KNOEPP, J.D.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr.; D.A. & CLARK, J.S. Biological indices of soil quality: Ecosystem case study of their use. *For. Ecol. Manag.*, 138:357-368, 2000.
- KOPEZINSKI, I. Mineração x meio ambiente: Considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 103p.
- KOZLOWSKA, J. & WASILEWSKA, L. Methods for the assessment of population density: Nematoda. In: GÖRNY, M. & GRÜM, L., eds. *Methods in soil zoology*. Varsóvia, Elsevier, 1993. p.163-186.
- KROMP, B. Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74:187-228, 1999.
- LANGENBACH, T.; INACIO, M.V.S.; AQUINO, A.M. & BRUNNINGER, B. Influência da minhoca *Pontocolex corethrurus* na distribuição do acaricida dicofol em um Argissolo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:13-18. 2002.
- LARA, F.M. Princípios de entomologia. São Paulo: Ícone, 1992. 331p.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol. Intern.*, 33:3-15, 1996.
- LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; PASHANASI, B. & BRUSSAARD, L. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: SWIFT, M.J. & WOOMER, P., eds. *Tropical soil biology and fertility*. New York, John Wiley, 1994. p.137-169.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P. & ROSSI, J.P. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.*, 42:S3-S15, 2006.
- LAVELLE, P. & PASHANASI, B. Soil macrofauna and land management in peruvian amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*, 33:283-29, 1989.
- LAVELLE, P. & SPAIN, A. *Soil ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 654p.
- LEE, K.E. Earthworms and sustainable land use. In: HENDRIX, P.F., ed. *Earthworm ecology and biogeography*. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995. p.215-234.

- LORANGER, G.; PONGE, J.F.; BLANCHART, E. & LAVELLE, P. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). *Eur. J. Soil Biol.*, 34:157-165, 1999.
- LOURENTE, E.R.P.R.F.S.; SILVA, D.A.; MARCHETTI, M.E. & MERCANTE, F.M. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Sci. Agron.*, 29:17-22, 2007.
- LOUZADA, J.N.C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritivos em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.299-322.
- MAJER, J.D. & DELABIE, J.H.C. Comparison of the ant communities of annually inundated and terra firme forests at Trombetas in the Brazilian Amazonia. *Insects Soc.*, 41:459-466, 1994.
- MARC, P.; CANARD, A. & YSNEL, F. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74:229-273, 1999.
- MARTINS, F.R. & SANTOS, F.A.M. Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. *R. Holos*, 1:236-267, 1999. (Edição especial)
- MATOS, J.Z.; YAMANAKA, C.N.; CASTELLANI, T.T. & LOPES, B.C. Comparação da fauna de formigas de solo em áreas de plantio de *Pinus elliotti*, com diferença graus de complexidade estrutural (Florianópolis - SC). *Biotemas*, 7:57-84, 1994.
- MELO, F.V.; BROWN, G.G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J.N.C.; LUIZÃO, F.J.; MORAIS, J.W. & ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadora. *B. Inf. SBCS*, 34:38-40, 2009.
- MILHOMEM, M.S.; MELLO, F.Z.V. & DINIZ, I.R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:1249-1256, 2003.
- MINOR, M.A.; VOLK, T.A. & NORTON, R.A. Effects of site preparation techniques on communities of soil mites (*Acari: Oribatida*, *Acari: Gamasida*) under short-rotation forestry plantings in New York, USA. *Appl. Soil Ecol.*, 25:181-192, 2004.
- MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:555-564, 2005.
- MOLDENKE, A.R. Arthropods. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P. A. Methods of soil analysis: Microbiological and biochemical properties. Part 2. Madison, SSSA, 1994. p.517-542.
- MONTEIRO, R.C.; MOUND, L.A. & ZUCCHI, R.A. Espécies de *Frankliniella* (Thysanoptera: Thripidae) de importância agrícola no Brasil. *Neotrop. Entomol.*, 30:65-72, 2001.
- MOREIRA, F.M.S.; HUISING, E.J. & BIGNELL, D.E. Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. 368p.
- MORINI, M.S.C.; SILVA, R.R. & KATO, L.M. Non-specific interaction between ants (Hymenoptera: formicidae) and fruits of *Syagrus romnzzoffiana* (Arecaceae) in an area of the billion atlantic forest. *Sociobiology*, 42:633-673, 2003.
- NAHMANI, J. & LAVELLE, P. Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *Eur. J. Soil Biol.*, 38:297-300, 2002.

- NASCIMENTO, R.P.; MORINI, M.S.C. & BRANDÃO, C.R.F. Mirmecofauna do Parque natural municipal da Serra do Itapety. I. Zona de uso intensivo. In: ENCONTRO DE MIRMECOLOGIA, 15., Londrina, 2001. Anais...Londrina, IAPAR, 2001. p.339-341, 2001.
- NAZZI, F.; PAOLETTI, M.G. & LORENZONI, G.G. Soil invertebrate dynamics of soybean agroecosystems encircled by hedgerow or not in Friuli, Italy. First data. Agric. Ecosyst. Environ., 27:163-176, 1989.
- NUNES, L.A.P.L.; ARAÚJO FILHO, J.A. & MENEZES, R.I.Q. Diversidade da fauna edáfica em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo no semi-árido nordestino. Sci. Agric., 10:43-49, 2009.
- ODUM, E.P. Ecologia. Rio de Janeiro, Guanabara, 1983. 434p.
- ORTIZ-CEBALLOS, A.; FRAGOSO, C. & BROWN, G.G. Synergistic effect of a tropical earthworm *Balanteodrilus pearsei* and velvetbean *Mucuna pruriens* var. utilis on maize growth and crop production. Appl. Soil Ecol., 35:356-362, 2007.
- PAOLETTI, M.G. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. Agric. Ecosyst. Environ., 74:137-155, 1999b.
- PAOLETTI, M.G. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. Agric. Ecosyst. Environ., 74:1-18, 1999a.
- PAOLETTI, M. G. & HASSALL, M. Woodlice (*Isopoda: Oniscidea*): Their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. Agric. Ecosyst. Environ., 74:157-165, 1999.
- PAPINI, S. & ANDRÉA, M.M. Ação de minhocas *Eisenia foetida* sobre a dissipação dos herbicidas simazina e paraquat aplicados no solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:67-73, 2004.
- PARR, C.L.; ANDERSEN, A.N.; CHASTAGNOL, C. & DUFFAUD, C. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. Oecologia, 151:33-41, 2007.
- PETERSEN, H. & LUXTON, M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. Oikos, 39:287-388, 1982.
- PEREIRA, M.P.S.; QUEIROZ, J.M.; VALCARCEL, R. & MAYHÉ-NUNES, A.J. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. Ci. Flor., 17:197-204, 2007.
- PIELOU, E.C. Mathematical ecology. New York, Wiley, 1977. 385p.
- PINENT, S.M.J.; MASCARO, F.; BOTTON, M. & REDAELLE, L.R. Thrips (*Thysanoptera: Thripidae, Phlaeothripidae*) damaging peach in Paranapanema, São Paulo State, Brazil. Neotrop. Entomol., 37:486-488, 2008.
- PINENT, S.M.J.; ROMANOWSKI, H.P.; REDAELLI, L.R. & MOUND, L.A. Thrips species (*Thysanoptera*) collected at Parque Estadual de Itapuã, Viamão, RS, Brazil. Neotrop. Entomol., 32:619-623, 2003.
- PINHEIRO, T.G.; MARQUES, M.I. & BATTIROLA, L.D. Life cycle of *Poratia salvator* (Diplopoda: Polydesmida: Pyrgodesmidae). Zoologia, 26:658-662, 2009.
- POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.E. & CUNHA, G.C. Práticas de ecologia florestal. Piracicaba, 1996. p.1-44. (Documentos. Florestais, 16)
- PONGE, J. F.; GILLET, S.; DUBS, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J.P. & LAVELLE, P. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. Soil Biol. Biochem., 35:813-826, 2003.

- QUADROS, V.J.; ANTONIOLLI, Z.I.; CASALI, C.A.; DENEGA, G.L.; LUPATINI, M.; STEFFEN, R.B. & PUJOL, S.B. Fauna edáfica em sistemas de cultivo de batata, soja, feijão e milho. *Ci. Natura*, 31:115-130, 2009.
- RAMOS, L.S.; MARINHO, C.G.S.; FILHO, R.Z.B. & DELABIE, J.H.C. Impacto do plantio de eucalipto numa área de Cerrado, usando as formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira como indicadores biológicos. In: ENCONTRO DE MIRMECOLOGIA, 15., Londrina, 2001. Anais...Londrina, IAPAR, 2001. p.325-327.
- ROVEDDER, A.P.; ANTONIOLLI, Z.I.; SPANOLLO, E. & VENTURINI, S.F. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. *R. Ci. Agrovet.*, 2:87-96, 2004.
- ROVEDDER, A. P.M.; ELTZ, F.L.F.; DRESCHER, M.S.D.; SCHENATO, R.B. & ANTONIOLLI, Z.I. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. *Ci. Rural*, 39:1061-1068, 2009.
- SANTOS, S.A.P.; CABANAS, J.E. & PEREIRA, J.A. Abundance and diversity of soil arthropods in olive grove ecosystem (Portugal): Effect of pitfall trap type. *Eur. J. Soil Biol.*, 43:77-83, 2007.
- SAUTTER, K.D.; MOTTA NETO, J.A.; MORAES, A.; SANTOS, H.R. & RIBEIRO JUNIOR, P.J. População de Oribatei e Collembola em pastagens na recuperação de solos degradados pela mineração do xisto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1509-1513, 1998.
- SCHEEREN, L.W.; GEHRARDT, E.J.; FINGER, C.A.G.; LONGHI, S.J. & SCHNEIDER, P.R. Agrupamento de unidades amostrais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, em função de variáveis do solo, da serapilheira e das acículas, na região de Canela, RS. *Ci. Flor.*, 1:39-57, 2000.
- SGARDELIS, S.P. & USHER, M.B. Responses of soil Cryptostigmata across the boundary between a farm woodland and an arable field. *Pedobiologia*, 38:36-49, 1994.
- SILVA, M.S.C. Indicadores de qualidade do solo em sistema agroflorestais em Paraty, RJ. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 54p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. & GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:697-704. 2006b.
- SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. & GUIMARÃES, M.F. Populações de oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de uso do solo. *Ci. Rural.*, 36:673-677. 2006a.
- SINGH, S. Biological reclamation of degraded mined land. A sustainability indicator. *Archives of Environmental News, Newsletter of ISEB*, v.10, 2004. Disponível em: <http://isebindia.com/01_04/04-01-2.html>. Acesso em: 10 fev. de 2010.
- SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. & SILVA, C.A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.495-524.
- SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; SANTOS, J.G.D.; SCHNEIDER, J. & CARNEIRO, M.A.C. Micorrizas e degradação do solo: Caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. & REICHERT, J.M., eds. Tópicos ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p.219-306,

- SOARES, M.I.J. & COSTA, E.C. Fauna do solo em áreas com *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*, Santa Maria, RS. Ci. Flor., 11:29-43, 2001.
- SOMMAGGIO, D. Syrphidae: Can they be used as environmental bioindicators? Agric. Ecosyst. Environ., 74:343-356, 1999.
- SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S.; MIRANDA, J.R.P.; SANTOS, R.V. & ALVES, A.R. Comunidade microbiana e mesofauna edáfica em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. R. Bras. Ci. Solo, 32:151-160, 2008.
- STAHL, P.D.; PERRYMAN, B.L.; SHARMASARKAR, S. & MUNN, L.C. Topsoil stockpiling versus exposure to tric: A case study on in situ Uranium Wellfields. Restorat. Ecol., 10:129-137, 2002.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Oxford, Blackwell, 1979. 372p.
- SZIPTYCKI, A. & BEDANO, J.C. Faunistic records of proturans from Argentina (Insecta: Protura). Neotrop. Entomol., 34:853-854, 2005.
- TANK, B.C.B.; SANTOS, H.R. & DIONÍSIO, J.A. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a flutuação populacional do oligochaeta edáfico *Amyntas* spp. R. Bras. Ci. Solo, 24:409-415, 2000.
- TEIXEIRA, R.L. & COUTINHO, E.S. Hábito alimentar de *Proceratophrys boiei* (Wied) (Amphibia, Anura, Leptodactylidae) em Santa Teresa, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. B. Mus. Biol. Melo Leitão, 14:13-20, 2002.
- TOPP, W.; SIMON, M.; KAUTZ, G.; DWORSCHAK, U.; NICOLINI, F. & PRÜCKNER, S. Soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: Improvement of soil quality by surface pattern. Ecol. Eng., 17:307-322, 2001.
- TROGELLO, E.; TROGELLO, A.G. & SILVEIRA, E.R. Avaliação da fauna do solo em diferentes sistemas de cultivo, milho orgânico e milho em plantio direto. R. Bras. Bioci., 6:25-26, 2008.
- TURCO, R.F. & BLUME, E. Indicators of soil quality. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.G.R.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., orgs. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Lavras, UFLA/DCS, 1999. p.529-549.
- UHLIG, V. M. Caracterização da mesofauna edáfica em áreas de regeneração natural da floresta ombrófila densa submontanha, no município de Antonina, Paraná. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. 97p. (Tese de Mestrado)
- VASCONCELOS, H.L. Effects of forest disturbance on the structure of ground-foraging ant communities in central Amazonia. Biodiver. Conserv., 8:409-420, 1999.
- VASCONCELOS, H.L. Formigas do solo nas florestas da amazônia de diversidade e respostas aos distúrbios naturais e antrópicos. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.323-343.
- VASCONCELLOS, S.M. Revisão dos gêneros *Prionolopha* e *Securigera* (Orthoptera, Romaleidae, Romaleinae). Iheringia, Sér. Zool., 95:133-149, 2005.
- VU, Q.M. & NGUYEN, T.T. Microarthropod community structures (Oribatei and Collembola) in Tam Dao National Park, Vietnam. J. Biosci., 25:379-386, 2000.

- WILSON, E.O. The arborealant fauna of Peruan Amazon forests: A first assesment. *Biotropica*, 19:245-251. 1987.
- WINK, C.; GUEDES, J.V.C.; FAGUNDES, C.K. & ROVEDDER, A.P. Insetos edáficos como indicadores de qualidade ambiental. *R. Ci. Agrovet.*, 4:60-71, 2005.
- ZEPPELINI, D.; BELLINI, B.C.; CREÃO-DUARTE, A. J. & HERNÁNDEZ, M.I.M. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodiver. Conserv.*, 18:1161-1170, 2009.