

ORGANISMOS EDÁFICOS COMO BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL¹

Patrícia Inês Kemper Back²
Danni Maisa da Silva^{3*}
Eduardo Lorensi de Souza⁴
Divanilde Guerra⁴
Mastrângello Enívar Lanzanova⁴
Daiana Bortoluzzi Baldoni⁵
Robson Evaldo Gehlen Bohrer⁴
Ramiro Pereira Bisognin⁴
Rodrigo Ferreira da Silva⁶

RESUMO: Os organismos edáficos mostram-se sensíveis às modificações que ocorrem no meio, podendo ser utilizados como indicadores de qualidade. Estes são representados por uma grande diversidade de espécies, que desempenham inúmeras e complexas funções no solo, que, devido à sua ampla funcionalidade e sensibilidade conseguem detectar alterações decorrentes do manejo do solo. Os invertebrados são utilizados como bons bioindicadores, e dentre eles, a classe dos insetos é a que possui mais diversidade e são considerados como organismos benéficos na sustentabilidade ecológica. A diversidade de organismos edáficos pode revelar o nível de qualidade do solo a partir do qual podem ser determinadas intervenções a fim de manter, recuperar ou restaurar a sustentabilidade ambiental exercendo significativa interação com a manutenção da sua capacidade produtiva. A redução ou extinção de alguns grupos da fauna invertebrados do solo e a subsequente perda de suas atividades benéficas resultam na deterioração do solo, declínio da fertilidade, redução de nutrientes e aumento de pragas. Dentre as modificações físicas, químicas, biológicas, o uso de algumas práticas ligadas ao preparo do solo pode prejudicar de maneira drástica a estabilidade da fauna do solo, e em virtude disso, atualmente preservação da biodiversidade do solo está no centro da agricultura sustentável.

Palavras-chave: Biota do solo, indicadores biológicos, agricultura sustentável.

EDAPHIC ORGANISMS AS BIOINDICATORS OF SOIL QUALITY AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

ABSTRACT: Edaphic organisms are sensitive to changes that occur in the environment, and can be used as quality indicators. These are represented by a great diversity of species, which perform innumerable and complex functions in the soil, which, due to their wide functionality and sensitivity, are able to detect alterations resulting from soil management. Invertebrates are used as good bioindicators, and among them, the class of insects is the one with the most diversity and are considered as beneficial organisms in ecological sustainability. The diversity of edaphic organisms can reveal the level of soil quality from which interventions can be determined in order to maintain, recover or restore environmental sustainability, exerting a significant interaction with the maintenance of its productive capacity. The reduction or extinction of some groups of soil invertebrate fauna and the subsequent loss of their beneficial activities results in soil deterioration, declining fertility, nutrient depletion and increase in pests. Among the physical, chemical, biological modifications, the use of some practices related to soil preparation can drastically impair the stability of the soil fauna, and as a result, the preservation of soil biodiversity is currently at the heart of sustainable agriculture.

Keywords: Soil biota, biological indicators, sustainable agriculture.

¹ Pesquisa apresentada como Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Gestão e Sustentabilidade Ambiental, na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Três Passos/RS.

² Engenheira Agrônoma, Especialista em Gestão e Sustentabilidade Ambiental pela UERGS, Unidade Três Passos/RS. E-mail: backpatricia16@gmail.com.

³ Doutora, Professora Adjunta na UERGS Unidade Três Passos/RS. *Autora correspondente, Rua Cipriano Barata, 211, Bairro Érico Veríssimo, Três Passos – RS, CEP: 98600-000, E-mail: danni-silva@uergs.edu.br.

⁴ Doutor(a), Professor(a) Adjunto(a) na UERGS Unidade Três Passos/RS. E-mail: eduardo-souza@uergs.edu.br; divanilde-guerra@uergs.edu.br; mastrangelo-lanzanova@uergs.edu.br; robson-bohrer@uergs.edu.br; ramiro-bisognin@uergs.edu.br.

⁵ Doutora, Professora Adjunta na UERGS Unidade São Luiz Gonzaga/RS. E-mail: daiana-baldoni@uergs.edu.br.

⁶ Doutor, Professor Adjunto na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Frederico Westphalen/RS. E-mail: rodrigossilvaufsm@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade na produção agropecuária se torna mais evidente a cada dia, e muito se discute sobre física e química do solo, porém a qualidade do mesmo depende não só desses dois aspectos, mas também da condição biológica do mesmo (Figura 1). A qualidade do solo é um atributo fundamental para o desenvolvimento das espécies que ali habitam, assim como para manutenção sustentável das culturas e conseqüentemente para a garantia de alimentos para a população global (SILVA et al., 2021).

O solo é um corpo vivo, habitat de uma gigantesca e diversa população de invertebrados, e todos os seus processos e componentes estão funcionalmente integrados dentro do solo, os quais são indispensáveis para o adequado funcionamento desse sistema. Os processos vitais são expressos e regulados pela biota do solo e essa regulação da biota dá-se sobre a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, degradação de poluentes, além de sua forte influência na agregação do solo (BARROS et al., 2010). Isso faz com que esses organismos e os processos relacionados sejam naturalmente definidos como indicadores da qualidade do solo (PAPENDICK & PARR, 1992).

Os indicadores biológicos, são constituintes vivos, presentes na camada superior do solo. São representados por uma grande diversidade de espécies, as quais desempenham inúmeras e complexas funções no solo, que, devido à sua ampla funcionalidade e sensibilidade, conseguem detectar alterações decorrentes do manejo do solo (SILVA et al., 2021), antes mesmo da ocorrência de alterações nos parâmetros químicos e físicos. É evidente a importância de estudos relacionados à fauna edáfica, bem como, é necessária a devida atenção de agricultores e profissionais da área, para a flutuação das populações e comunidade desses organismos no solo, visando o manejo integrado e adequado (HALABURA & HAIDUK, 2020). Sendo assim, a qualidade do solo está diretamente ligada a interação da comunidade biótica com o solo e tem papel vital na produção, e estes representam um elemento fundamental para uma agricultura e um ambiente sustentáveis.

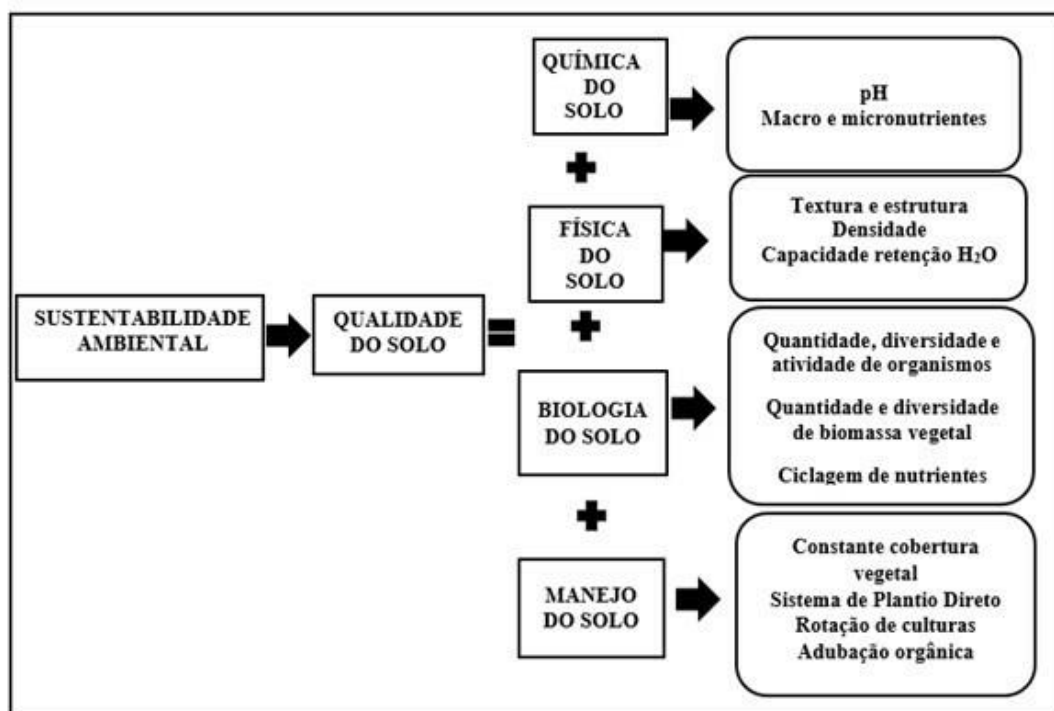


FIGURA 1. Esquema da composição de fatores necessários para qualidade do solo. Fonte: Autores (2022).

O manejo impróprio e intensivo do solo pode provocar gradativamente sua degradação, processo que em alguns casos pode ser irreversível (SILVA et al., 2021), de modo que, perturbações antrópicas constantes são importantes ameaças à biodiversidade e à saúde dos ecossistemas (BERUDE et al., 2015).

Invertebrados são utilizados como bons bioindicadores da qualidade do solo (VIEIRA, 2014), e dentre eles, a classe dos insetos é a que possui maior diversidade e são considerados como organismos benéficos na sustentabilidade ecológica (PRESTES & VINCENCI, 2019). Os organismos bioindicadores respondem às alterações do ambiente por meio de reações comportamentais ou metabólicas mensuráveis, que indicam e refletem alguma mudança no ambiente onde eles vivem (PRESTES & VINCENCI, 2019). Um indicador é definido como um índice ou uma medida final para avaliar a saúde de um sistema, seja ele econômico, físico ou biológico. Já um bioindicador é como a biota ou o componente biótico de um ecossistema é utilizado como indicador da qualidade do ambiente (ANDRÉA, 2008), sendo o solo um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas e essencial a sua preservação.

Segundo Prestes e Vincenci (2019), os seres bioindicadores estão nos mais variados níveis de organização biológica que fornecem informações complementares, necessárias para a análise de risco ecológico do ecossistema. Assim, o levantamento da fauna do solo em abundância, diversidade ou atividade pode servir de indicador da qualidade do próprio solo. Observa-se avanços nos estudos sobre o papel da comunidade biológica no funcionamento do solo, e a relação direta da biodiversidade e da atividade biológica com funções e características essenciais para a produtividade dos solos (HALABURA & HAIDUK, 2020). Segundo Bach et al. (2020), a fauna e os microrganismos do solo conduzem a ciclagem de nutrientes terrestres ao decompor material vegetal e animal morto e convertê-lo em formas prontamente utilizadas por organismos vivos.

Os organismos da mesofauna colaboram na humificação, redistribuem a matéria orgânica, estimulam a atividade microbiana, entre outros benefícios. Além disso, a fauna do solo está intrinsecamente ligada a inúmeras funções que se refletem na manutenção da fertilidade do solo e posteriormente na produtividade das culturas, infiltração de água, aeração, estrutura e textura do solo, aumento da CTC do solo (pela presença de húmus) e sequestro de carbono.

Os processos da ação microbiana no solo são de fundamental importância para o funcionamento dos sistemas agroecológicos de produção (ALVES et al., 2019). Dessa forma, a sustentabilidade da comunidade biológica do solo depende da quantidade e da diversidade química dos resíduos (TIEMANN et al., 2015). Todavia, a atividade da fauna edáfica pode ajudar direta e indiretamente no desenvolvimento vegetal, na qualidade do solo e na sustentabilidade ambiental (BACH et al., 2020).

No Sistema de Plantio Direto (SPD) a biomassa e a atividade microbiana do solo são indicadores efetivos e consistentes de mudanças induzidas pelo cultivo e, portanto, devem ser consideradas ao avaliar o impacto do cultivo sobre a qualidade do solo (RAIESI & KABIRI, 2016). Essa visão holística dos solos ganhou força de proprietários de terras e de profissionais do ramo e deixa claro que diversas partes interessadas estão ansiosas para proteger esse recurso crítico usando métodos interdisciplinares e focados em sustentabilidade (BACH et al., 2020). Diante disso, o objetivo desse estudo foi definir, caracterizar e descrever a importância dos bioindicadores para uma produção agropecuária sustentável, bem como para a gestão e sustentabilidade ambiental.

DESENVOLVIMENTO

Com vistas no atendimento dos objetivos propostos, foi realizada uma pesquisa de cunho bibliográfico, com base na busca de referências bibliográficas que abordassem a temática dos organismos do solo, seu papel e importância como bioindicadores da qualidade do solo, bem como na gestão e sustentabilidade ambiental. Como parte metodológica da realização deste trabalho realizou-se uma revisão sistemática na busca bibliográfica de artigos completos nas bases de dados on-line: Google Acadêmico, Scielo e outras bases científicas (circulares técnicas e livros digitais). Avaliou-se inicialmente os títulos e resumos dos artigos pesquisados, para posterior análise da fundamentação teórica e dos resultados obtidos, não se detendo no ano de publicação, no entanto, teve-se o cuidado de trazer resultados de estudos recentes para maior confiabilidade deste trabalho.

Além da busca nos periódicos, as referências bibliográficas de artigos chave foram observadas, a fim de se verificar o maior quantitativo de trabalhos possível e a relevância científica. A referida pesquisa foi realizada no período de 2021 a 2022.

As informações obtidas foram organizadas em diferentes tópicos, visando uma melhor organização dos temas abordados no artigo revisional, sendo estes:

Fauna edáfica: características e importância para o solo; Organismos edáficos como bioindicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade ambiental; Atividade da fauna edáfica e sua relação com o manejo do solo e a produção agropecuária sustentável; Bioindicadores de qualidade do solo na gestão e sustentabilidade ambiental.

Fauna edáfica: Características e importância para o solo

Os organismos do solo podem ser classificados de acordo com o tamanho do corpo, mobilidade, hábitos alimentares, e funções do solo. No entanto, as classificações mais usadas envolvem a separação de organismos de acordo com seu diâmetro corporal que indica uma relação com o diâmetro do tubo digestivo e do aparelho bucal ou comprimento (BARETTA et al., 2011) (Quadro 1). Já, Li et al. (2020) destaca que a fauna edáfica pode ser classificada quanto seu tamanho, seu hábito alimentar, sua mobilidade e função que desempenha (transformação da matéria orgânica, controle biológico, estrutura do solo e herbívora) no ecossistema. Ainda, segundo os mesmos autores, a intensidade e qualidade da função desempenhada pela fauna edáfica no solo sofre forte influência das variações sazonais (estações do ano, temperatura, precipitação).

Quadro 1 - Classificação da fauna do solo com base no tamanho e na mobilidade dos organismos.

Grupo	Diâmetro Corporal	Característica	Organismos
Microfauna	4µm a 100µm	Ligeiramente mais móveis que a microflora	Protozoários, bactérias e fungos
Mesofauna	100 µm e 2mm	Movimentam-se em fissuras, poros e na interface serapilheira/solo	Ácaros, colêmbolos, proturas e pequenos insetos
Macrofauna	>2 mm	Constroem ninhos, cavidades e galerias e transportam material de solo	Invertebrados

Fonte: Adaptado de Baretta et al. (2011).

A maior parte dos invertebrados pode ser encontrada na camada superficial do solo (0-10 cm de profundidade), sendo esta, a camada mais afetada pelas práticas de manejo (BARETTA et al., 2011; TRENTINI et al., 2018). A macrofauna edáfica é composta principalmente por organismos pertencentes as classes: Gastropoda (caracóis e lesmas), Oligochaeta (minhocas), Malacostraca (tatuzeiros), Insecta (cupins, grilos, baratas, besouros, moscas, formigas e etc.), Arachnida (aranhas, opiliões e escorpiões) e Myriapoda, classes Chilopoda (centopeias) e Diplopoda (gongolos ou piolhos-de-cobra) (SOUZA et al., 2016; PEREIRA et al., 2017). Estes organismos são capazes de indicar características físico-químicas (VELÁSQUEZ et al., 2012) e estruturais do ambiente em que se encontram (SOUZA et al., 2016).

A redução ou extinção de alguns grupos da fauna invertebrados do solo e a subsequente perda de suas atividades benéficas contribuem para as altas taxas de deterioração da terra, declínio da fertilidade, redução de nutrientes e aumento de pragas de artrópodes (BEDANO et al., 2016). Entre esses invertebrados do solo, a macrofauna do solo desempenha um papel importante na fragmentação da serapilheira e conseqüentemente na manutenção da qualidade do solo, sendo assim, a manutenção da palhada sobre o solo pode promover a diversidade e abundância da macrofauna e melhorar a qualidade do solo (PANT et al., 2017).

As propriedades físicas e químicas do solo respondem de forma lenta às mudanças no uso e no manejo do solo, ao contrário das propriedades biológicas e bioquímicas que são mais sensíveis as mudanças em curto prazo, sendo dessa forma, importantes indicadores da qualidade do solo, principalmente em avaliações do seu manejo (ROY et al., 2018).

Os estudos sobre os invertebrados na dinâmica do solo têm contribuído para o melhor entendimento de sua importância para a manutenção da capacidade produtiva dos sistemas agrícolas (LAVELLE et al., 1997). Assim, a interação dos invertebrados com as diferentes formas de manejar e fazer uso do solo é um importante parâmetro para a avaliação da sua qualidade, pois a abundância, a riqueza e a diversidade dos organismos são dependentes das práticas de manejo, intensidade de uso do solo, modificações no microclima e no tipo de cobertura vegetal (SIQUEIRA et al., 2016).

Os invertebrados podem ser classificados em três grupos funcionais: engenheiros do ecossistema, decompositores e micropredadores, dependendo do seu tamanho, natureza da estrutura que criam no solo e o principal tipo de relação que desenvolvem com os microrganismos (LAVELLE et al., 1994).

Os engenheiros do solo, Oligochaeta, Formicidae e Isoptera, são assim definidos devido a sua contribuição para a disponibilidade dos recursos e da sua distribuição espacial no solo, agindo por meios físicos e processos bioquímicos na criação de habitats, na construção de estruturas biogênicas e galerias, que podem persistir por longo período de tempo e que afetam profundamente o ambiente para os organismos menores (AQUINO, 2006; LAVELLE et al., 2016; ORGIAZZI et al., 2016).

Os decompositores da serapilheira e os micropredadores são os micros e macroinvertebrados que utilizam a serapilheira como alimento, transformando-a em estruturas orgânicas e que regulam a atividade microbiana. Esse grupo inclui as minhocas epigeicas, as minhocas da família Enchytraeidae e os cupins xilófagos (ORGIAZZI et al., 2016). Os micropredadores são, principalmente, protozoários e nematoides que se alimentam dos microrganismos, vivem no filme de água presente no solo e não desenvolvem relações mutualísticas com a microflora. A atividade desses invertebrados tem importante papel na regulação da biomassa de microrganismos, mantendo a diversidade por meio da prevenção da dominância de grupos específicos (AQUINO, 2006).

Ácaros e colêmbolos juntos dominam em abundância e diversidade nos solos do Brasil (MELO et al., 2009). A alta diversidade de espécies e a capacidade de reprodução,

torna essas espécies excelentes bioindicadoras de qualidade ambiental (PRESTES & VINCENCI, 2019) e por vezes, tais organismos recebem pouca importância e se conhece pouco acerca das funções que estes desempenham.

Organismos edáficos como bioindicadores de qualidade do solo e sustentabilidade ambiental

Os bioindicadores, segundo Allaby (1992), são espécies que podem ter uma amplitude estreita a respeito de um ou mais fatores ecológicos, e quando presentes, podem indicar uma condição ambiental particular ou estabelecida. Os bioindicadores, conforme Büchs (2003), devem ter sua taxonomia, ciclo e biologia bem conhecidos e possuir características de ocorrência em diferentes condições ambientais ou serem restritos a certas áreas. Além disso, devem ser sensíveis às mudanças do ambiente para que possam ser utilizados no monitoramento das perturbações ambientais.

Os insetos terrestres bioindicadores podem ser: indicadores ambientais que respondem às perturbações ou mudanças ambientais; indicadores ecológicos que demonstram efeitos das mudanças ambientais como alterações de habitats, fragmentação, mudanças climáticas, poluição e outros fatores que geram impacto na biota; e por último, indicadores de biodiversidade, que refletem índices de diversidade (MCGEOCH, 1998). No entanto, a perda e a degradação do habitat não são as únicas ameaças à biodiversidade do solo (BACH et al., 2020). Segundo os mesmos autores, a mudança climática é o principal desafio de nossa geração, e a biota do solo é impactada como todas as outras formas de vida na Terra.

A biodiversidade do solo é fundamental para processos ao nível de ecossistema, multifuncionalidade e serviços de ecossistema. As funções do ecossistema, como decomposição e mineralização de nutrientes, são desempenhadas, em parte, por um conjunto bem diverso da fauna do solo, classificados de acordo com o seu tamanho em microfauna, mesofauna e macrofauna, nos quais cada grupo compõem suas importantes funções (SILVA et al., 2021).

As minhocas apresentam características interessantes para uso como bioindicadoras, acumulam metais pesados no tecido e são sensíveis a muitos agrotóxicos e por isso são usadas em ensaios ecotoxicológicos padronizados pela ISO e ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Sua atividade está intimamente ligada a características físicas do solo, e elas também favorecem a estruturação do mesmo, contribuem para a fertilidade do solo através de sua participação na decomposição e mineralização de nutrientes e ainda são reconhecidas pelos agricultores como indicadoras de “terra boa” (BROWN; DOMÍNGUEZ, 2010).

Segundo Brown (1997), os indivíduos ou espécies das ordens Orthoptera, Hemiptera, Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera e Coleoptera constituem nos mais importantes bioindicadores. Estas ordens de insetos contêm subgrupos importantes adaptados para testar níveis de poluição, redução de predadores, aumento de plantas invasoras, inibição da decomposição.

Devido à sensibilidade as mudanças antrópicas, os besouros da ordem Coleoptera, ainda são considerados indicadores do impacto de cultivos, sendo negativamente afetados pela agricultura intensiva, controle mecanizado de ervas daninhas e pelo fogo. Sua dominância é modificada com o ritmo e fenologia de um cultivo, bem como pelo microclima que ele oferece (KROMP, 1999). Conhecidos como besouros-de-esterco ou rola-bosta, apresentam grande importância como indicadores de perturbação ambiental, alimentam-se de fezes de mamíferos (coprófagos), carcaças (necrófagos), fungos (micetófagos) e frutos em decomposição (carpófagos), entre outros materiais (saprófagos), e têm o hábito de

enterrar os recursos alimentares no perfil do solo (KORASAKI et al., 2013). Nos sistemas de pastagem, os escarabeíneos têm grande importância no controle das populações de moscas e de parasitas intestinais do gado. Ao enterrar as fezes, esses besouros eliminam ovos e larvas de moscas, bem como cistos e ovos de parasitas (KORASAKI et al., 2013; LOUZADA & ZANETTI, 2013).

As formigas, família Formicidae e ordem Hymenoptera, são o grupo taxonômico dominante na maioria dos ecossistemas, estando presente nos mais diferentes habitats (WINCK et al., 2005). A estrutura das comunidades das formigas é fundamental em estudo de impacto ambiental, pois estas mantêm e restauram a qualidade do solo. Elas operam na redistribuição das partículas, dos nutrientes e da matéria orgânica, melhoram a infiltração de água no solo pelo aumento da porosidade e a aeração (BRUYN, 1999). Assim como, os solos modificados pelas formigas são ricos em nitrogênio, fósforo, potássio e matéria orgânica, favorecendo o desenvolvimento das plantas (SOUZA et al., 2015).

Os cupins, ordem Isoptera, alteram a natureza e distribuição da matéria orgânica bem como atuam na construção de galerias subterrâneas modificando assim a textura do solo e consequentemente influenciam na fertilidade do solo. São importantes no transporte de água e gases no solo, criando microhabitats para outros microorganismos, mostram reações aos agrotóxicos, ao decréscimo do suprimento de matéria orgânica e aos diferentes cultivos (STORK e EGGLETON, 1992; BÜCHS, 2003). Culliney (2013) apresenta em seus estudos que os cupins são responsáveis por 91% da fragmentação anual da serapilheira nas florestas tropicais, quando esses materiais passam pelo trato digestivo desses insetos uma maior concentração de nutrientes que voltam de forma assimilável para solo sendo reabsorvida pelas plantas. 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 (DECAËNS et al., 1999). De maneira geral, os cupins são sensíveis indicadores de áreas que sofreram alguma perturbação, ou seja, indicam áreas degradadas.

Os colêmbolos, ordem Collembola, podem ser tanto saprófagos quanto predadores em termos de suas funções nos ecossistemas (MOÇO et al., 2005). A maioria se desenvolve no solo, alimentando-se de fungos, bactérias, algas e matéria vegetal morta (BERUDE et al., 2015). Por causa da abundância no solo e sensibilidade a condições ambientais, eles são considerados indicadores das condições biológicas do solo (DAMÉ et al., 1996), tendo contato com metais pesados no solo, como o cobre e zinco, a população de colêmbolos sofre ação negativa (ANTONIOLLI et al., 2013). Já o cádmio, na concentração de 1mg kg⁻¹ de solo, proporciona aumento na população de colêmbolos no solo, enquanto a presença de óleo lubrificante queimado e óleo diesel inibem o desenvolvimento dos colêmbolos no solo (ANTONIOLLI et al., 2013).

Os saprófagos caracterizam-se por se alimentarem diretamente dos resíduos de plantas, fragmentando-os (MOÇO et al., 2005), sendo extremamente sensíveis às mudanças ambientais, o que reforça a sua importância como indicadores (RESENDE et al., 2013).

Cada espécie responde de forma diferenciada a um distúrbio, sendo fundamental, portanto, reconhecer a sua interação com as alterações ambientais, bem como reconhecer e entender a sua evolução tanto em locais degradados como em estágio de recuperação (WINCK et al., 2005).

Atividade da fauna edáfica e sua relação com o manejo do solo e a produção agropecuária sustentável

Os organismos edáficos são afetados pelo manejo do solo e pelo declínio da quantidade de matéria orgânica, resultante do cultivo intensivo (ROVEDDER et al., 2009), pelo uso de insumos, e ainda, regimes de precipitação alterados afetam a fauna, tanto acima como abaixo do solo (BACH et al., 2020).

A bioturbação leva à descompactação do solo, aumentando a capacidade de infiltração de água, disponibilizando nutrientes e oxigênio para as plantas e promovendo a decomposição da matéria orgânica (SOUZA et al., 2015). Os organismos que realizam a bioturbação são chamados “engenheiros do ecossistema” (ALVES et al., 2014) ou “engenheiros do solo” (KORASAKI et al., 2013), sendo os principais representantes desse grupo as minhocas, os cupins, as formigas e os besouros escarabeídeos (KORASAKI et al., 2013).

A macrofauna desempenha diferentes papéis nos processos de fertilidade do solo, formando agregados, que podem proteger parte da matéria orgânica do solo de uma rápida mineralização, regulando a microbiota responsável pela mineralização e humificação, e constituindo uma reserva de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas (DECÄENS et al., 2003; BARETTA et al., 2011).

A atividade dos animais edáficos pode afetar uma gama de processos ecossistêmicos que contribuem direta e indiretamente diversos serviços essenciais para o funcionamento sustentável dos ecossistemas terrestres (LAVELLE et al., 2006). Estes incluem, a água disponível no solo (por mudanças na estrutura e agregação do solo), produção de alimentos e produtividade primária e secundária (efeitos no crescimento das plantas, produção de biomassa vegetal e animal), produtos farmacêuticos (oriundos dos organismos ou seus subprodutos). Além, da ciclagem de nutrientes e dinâmica da decomposição da matéria orgânica, inclusive sequestro de carbono, troca de gases entre o solo e a atmosfera (incluindo a emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE), pedogênese, conservação da biodiversidade (por alteração do solo como hábitat para outros organismos). Contribui ainda, no controle de erosão e enchentes (por mudanças na estrutura física do solo e de regime hídricos edáficos), polinização (principalmente por insetos), dispersão de sementes, tratamento de resíduos (por decomposição de resíduos ou degradação de pesticidas), recreação (para coleções de lazer ou uso como isca para pescar) e educação ambiental (LAVELLE et al., 2006; BLOUIN et al., 2013; DECAËNS et al., 2008).

Os organismos presentes no solo são um fator determinante, pois os níveis de decomposição da serapilheira aceleram os níveis de ciclagem de nutrientes indicando qualidade do solo (KNOEPP et al., 2000). Dessa forma, a biota do solo merece um tratamento diferenciado, sendo atualmente um dos pilares na busca de uma agricultura mais ecológica, visando a sustentabilidade, por isso, ela deve ser uma aliada do sistema produtivo (BROWN et al., 2015). Nesse sentido, o cultivo agrícola rotacionado tem contribuído para a recuperação do teor de matéria orgânica do solo, característica que é considerada como uma das mais importantes para a sustentabilidade, saúde e funcionalidade do solo.

A palhada que é depositada na superfície do solo, desempenha um papel fundamental na sustentação da biodiversidade do solo, servindo como fonte primária de carbono (energia), protegendo o solo da radiação solar direta, regulando a temperatura e a umidade do solo e fornecendo abrigo e habitat para a fauna do solo (MENANDRO et al., 2019). Práticas conservacionistas, como o uso de adubos verdes, plantio direto, e sistemas agroflorestais, por exemplo, podem afetar positivamente as populações da fauna do solo. Em geral, as populações de minhocas e colêmbolos aumentam no sistema de plantio direto, com a ausência de preparo do solo e a presença de cobertura verde, matéria orgânica em

decomposição e sistema radicular densamente distribuído (BROWN et al., 2003). Blouin et al. (2005) e Loranger-Merciris et al. (2012) observaram como as minhocas podiam diminuir os impactos negativos dos nematoides sobre o milho, arroz e a banana, respectivamente. Pensando no aumento da atividade da fauna em áreas agrícolas exploradas pelo homem, é preciso que se conserve o máximo possível o solo do ponto de vista de aumento de palhada e resíduos culturais, se reduza mobilização no solo e se aumente a rotação de culturas com espécies de alto aporte de massa seca sob a superfície do solo após seus ciclos (VIANA et al., 2022).

As minhocas fazem parte do cotidiano dos agricultores, que relatam a presença desses organismos em solos com maior produtividade (LIMA & BRUSSAARD, 2010). Segundo Pulleman et al. (2005), essa percepção é sustentada por resultados científicos, pois as minhocas têm a capacidade de atuar nos processos biológicos, físicos e químicos do solo. Juntamente com formigas, besouros e cupins, as minhocas promovem uma intensa movimentação no solo, sendo por isso, denominados de “engenheiros do ecossistema” (BROWN & DOMÍNGUEZ, 2010).

Viana et al. (2022), avaliaram pelo método Provid a diversidade da fauna edáfica em solos com diferentes sistemas de manejo no município de Inhacorá - RS, em quatro áreas de cultivo em sistema de semeadura direta: Integração lavoura-pecuária, pastagem anual, frutíferas e lavoura de grãos. A fauna edáfica mostrou-se influenciada pelos distintos manejos e pelas diferentes épocas de coletas. O sistema de manejo do solo com integração lavoura-pecuária apresentou maior número de colêmbolos na primeira época de semeadura.

Góes et al. (2021), caracterizaram a distribuição da fauna edáfica em diferentes usos do solo e em diferentes épocas do ano no município de São Gabriel – RS. Foram realizadas avaliações da fauna do solo em três áreas de diferentes usos do solo localizadas no Bioma Pampa: Mata Nativa, Campo Nativo Pastejado e Lavoura Azevém/Soja, em duas épocas distintas (inverno e verão). A área com maior diversidade e maior uniformidade foi a Mata Nativa, enquanto a Lavoura Azevém/Soja foi a menos diversa e menos uniforme. As áreas mais similares foram a Mata Nativa e o Campo Nativo Pastejado, durante as avaliações de inverno. As maiores quantidades de biomassa vegetal sobre o solo foram encontradas na Mata Nativa na forma de serapilheira, nas duas épocas de coleta. A área de Lavoura Azevém/Soja apresentou baixa uniformidade e diversidade biológica, indicando que usos do solo com monocultivos e baixa adição de biomassa vegetal são desfavoráveis à preservação da biodiversidade do solo.

Santos et al. (2022), avaliaram os efeitos de diferentes sistemas do uso da terra na qualidade do solo no Campo Experimental Confiança - Embrapa - RR. Foram avaliados oito usos da terra; floresta, capoeira, capoeira manejada, agrofloresta sem insumos, agrofloresta com insumos, pastagem alterada, pastagem manejada e um sistema de produção de pupunha/palmito. Em cada uso do solo foram realizadas coletas de solo/serapilheira. A mesofauna foi obtida utilizando-se o funil de Berlese-Tullgren. Os ambientes apresentaram elevada diversificação de ordens de mesofauna, com as maiores frequências em ambientes com maior cobertura do solo. Houve destaque no uso do solo pupunheira/palmito, com alta diversidade de ordem e indivíduos, equivalentes aos ambientes de maior cobertura do solo.

Inúmeras pesquisas, como as citadas anteriormente, nos permitem avaliar a qualidade do solo e de todo o meio ambiente, e ainda, ajudam a perceber quão grande são as consequências das intervenções humanas na vida contida no solo. Assim, a importância dos indicadores ambientais está associada à sua utilização como instrumentos para a sociedade avaliar a própria evolução.

Bioindicadores de qualidade do solo na gestão e sustentabilidade ambiental

Na literatura, a menção científica mais antiga e que definiu a qualidade do solo foi a proposta por Mausel (1971), o qual se referiu à qualidade do solo como “a capacidade do mesmo em produzir trigo, soja e milho sob condições de manejo do solo”, considerando apenas as culturas que dominavam a economia na época. No entanto, Doran e Parkin (1994) observaram que esta definição não contemplava a capacidade do solo de funcionar de forma sustentável e, então, incluíram a contribuição ambiental e promoção da saúde das plantas nela.

A produção sustentável de alimentos é essencial para o futuro da humanidade e da natureza, sendo assim, o solo e a biodiversidade do solo são a base da agricultura sustentável, por isso, ações agrícolas sustentáveis focadas na biologia do solo são necessárias em todas as culturas e contextos agrícolas (BACH et al., 2020).

O uso da fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo é um fenômeno recente, tendo sido adotado no monitoramento da qualidade do solo em vários países Europeus apenas a partir do início do século XXI (PULLEMAN et al., 2012). Várias características de alguns grupos da fauna favorecem seu uso como indicadores, destacando-se: diversidade conveniente (número de espécies manejável e não alto demais), ciclo de vida curto, “sedentarismo” (não migratório), distribuição ampla do grupo (em muitos habitats) mas com fidelidade de habitat para táxons, resposta à perturbação, abundante no solo ou serapilheira, facilidade na amostragem, triagem e identificação, e relação entre as populações e as características ambientais e propriedades/processos físicos, químicos e biológicos do solo e, frequentemente, à produtividade (FREITAS et al., 2006).

Sendo assim, a abundância, biomassa, os grupos funcionais e a diversidade de invertebrados edáficos podem ser usadas como indicadores para monitorar mudanças quantitativas e qualitativas nos ambientes afetados pelo uso do solo (LAVELLE et al., 1994). Conforme Pessotto et al. (2020), a abundância, riqueza e diversidade da fauna edáfica podem ser estimadas, ainda que ocorra variação do uso do solo, tipo de manejo ou espécie cultivada. Tais parâmetros podem auxiliar na avaliação de impactos e subsidiar estratégias para correção do manejo, tendo no monitoramento de bioindicadores, como a fauna edáfica, um aliado nas estratégias de práticas sustentáveis.

O manejo impróprio e intensivo do solo pode provocar gradativamente sua degradação, processo que em alguns casos pode ser irreversível (SILVA et al., 2021), visto que, manter o nível desejável de qualidade do solo, não é uma tarefa fácil, devido aos inúmeros fatores que lhe influenciam, desde o clima até o manejo utilizado pelo homem e as interações entre esses (LIMA et al., 2013). Para tanto, a gestão e a escolha de culturas agrícolas a serem implantadas e rotacionadas no solo em um determinado período de produção, influenciarão diretamente na renovação, manutenção ou degradação da fauna daquele solo.

A composição da comunidade macro e mesofauna de invertebrados é variável conforme o tipo e a qualidade da cobertura vegetal existente, o que reflete em condições favoráveis, como a temperatura, umidade e oferta de alimentos (GÓES et al., 2021), pois o conteúdo de matéria orgânica na superfície do solo contribui com a maior diversidade e abundância de invertebrados do solo (PESSOTO et al., 2020). Sendo assim, é de suma importância a utilização de práticas de manejo do solo que considerem sua complexidade e limitações, tais práticas devem favorecer o seu restabelecimento e promover condições de sua utilização por outras gerações, pois o solo pode ser um recurso findável, quando não manejado de forma adequada (SILVA et al., 2021). Para tanto, a população mundial possui um desafio, encontrar soluções que visem garantir o futuro de próximas gerações e a harmonia do ecossistema na atualidade.

Dessa forma, o uso racional do solo e a sua preservação, se tornam um compromisso constante para a busca do desenvolvimento ecologicamente sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo é um recurso natural vivo, para tanto, todos os organismos presentes nele participam ativamente de processos que asseguram condições de equilíbrio. No entanto, o uso desenfreado desse recurso acarreta grandes complicações a toda espécie de vida na terra. Técnicas empregadas no manejo e conservação do solo influenciam diretamente na constituição e transformação do solo ao longo do tempo, podendo toda a sua biota sofrer desequilíbrio, de maneira favorável ou não, por tais ações. A fauna edáfica mostra grande potencial para ser utilizada em avaliação da qualidade do solo, já que alguns grupos mostram ser sensíveis às mudanças de variáveis ambientais.

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 e se locomoverem. 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, pois influenciam no fornecimento de alimento para a fauna do solo. Além disso, o uso de algumas práticas ligadas ao preparo convencional do solo pode prejudicar de maneira drástica, a estabilidade da fauna do solo.

Sendo assim, é de suma importância a utilização de práticas de manejo do solo que considerem sua complexidade e limitações que podem afetar a fauna edáfica, visto que, os fatores ambientais associados à ação do homem determinam qual a flora e fauna que vão existir numa área. Tais práticas devem favorecer o seu restabelecimento e promover condições de manejo e utilização deste recurso por outras gerações, pois o solo pode ser um recurso findável, quando não manejado de forma adequada, sendo os organismos edáficos importantes bioindicadores de qualidade do solo e da sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLABY, M. **The concise Oxford Dictionary of Zoology**. Oxford University Press, 1992. 200 pp.
- ALVES, F. A. L. et al. Caracterização da macro e mesofauna edáfica sobre um fragmento remanescente de “mata atlântica” em AreiaPB. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 384-391, 2014.
- ALVES, M. A. B. et al. Espacialização da Respiração Basal de um Plintossolo sob pastagem/Spatialization of basal respiration of a Plintossol under pasture. **Braz. Jour. of Ani. and Environ. Res.**, v. 2, n. 4, p. 1423-1443, 2019.
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. **Recomendações para Coleta de Artrópodes Terrestres por Armadilhas de Queda (“Pitfall-Traps”)**. Circular Técnica 18, Agrobiologia Seropédica, RJ, 2006.
- ANDRÉA, M. M. **Bioindicadores ecotoxicológicos de agrotóxicos**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/Bioindicadores/index.htm>. Acesso em: 13 set 2022.
- ANTONIOLLI, Z. I. et al. Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 992-998, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15537**: Ecotoxicologia terrestre: ecotoxicidade aguda: método de ensaio com minhocas. Rio de Janeiro, 2014. 13 p.;
- BACH, E. M. et al. Soil biodiversity integrates solutions for a sustainable future. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 2662-2684, 2020.
- BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERGFILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. **Tópicos em Ciências do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 141-192, 2011.
- BARROS, Y. J. et al. Indicadores de qualidade de solos em área de mineração e metalurgia de chumbo: I-microrganismos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1397-1411, 2010.
- BEDANO, J. C. et al. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 100–109, 2016.
- BLOUIN, M. et al. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. **Ecology Letters**, Oxford, v. 8, p. 202-208, 2005.
- BLOUIN, M. et al. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 64, p. 161-182, 2013.
- BERUDE, M. et al. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.11, n.22, p.14-28, 2015.

BROWN, G. G. et al. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná State, Brazil. **Pedobiologia**, v. 47, p. 764-771, 2003.

BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas. **Acta Zoológica Mexicana**: Nueva Série, Xalapa, v. 26, p. 1-18, 2010. Anais do 3º Encontro Latino-Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, p. 121-154, 2015.

BROWN JUNIOR, K. S. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável de recursos naturais. In: MARTOS, H. L.; MAIA, N. B. (Ed.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: PUCC/Shell Brasil, 1997 p. 143-155.

BRUYN, L.A.L. de. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.74, p.425-441, 1999.

BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, p.35-78, 2003.

CULLINEY, T. W. Role of arthropods in maintaining soil fertility. **Agriculture**, v. 3, n. 4. 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/3/4/629/html>.

DAMÉ, P. R. V. et al. Efeitos da queimada seguida de pastoreio ou diferimento sobre o resíduo, temperatura do solo e mesofauna de uma pastagem natural. **Ciência Rural**, v. 26, n. 3, p. 391-396, 1996.

SILVA, R.M et al. Fauna do solo como bioindicadora da qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar: um referencial teórico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e239101018741-e239101018741, 2021.

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.**, v. 13, p 87-100, 1999.

DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. J. Priorities for conservation of soil animals. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, n. 14, p. 1-18, 2008.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America Special, 1994, p. 1-20. (Special Publication, 35).

SANTOS, A. M. G. et al. Diversidade de invertebrados em diferentes usos do solo na floresta da Amazônia. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 341-350, 2022.

- FREITAS, A. V. L. et al. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. In: ROCHA, C. F. et al. (Ed.). **Biologia da conservação: Essências**. São Carlos: Rima, p. 1-28, 2006.
- GÓES, Q. R. D. et al. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. *Ciência Florestal*, v. 31, p. 123-144, 2021.
- HALABURA, V. V.; HAIDUK, F. M. Avaliação da fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo, sob diferentes condições de cultivo, no Planalto Norte de Santa Catarina. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.
- LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 42, p. S3-S15, 2006.
- LAVELLE, P. et al. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester: John Wiley and Sons, p. 137-169, 1994.
- LAVELLE, P. et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, p. 159-193, 1997.
- LAVELLE, P. et al. Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions. **Soil Science**, v. 181, n. 3/4, p. 91-109, 2016.
- LI, W. et al. Soil fauna diversity at different stages of reed restoration in alakeshore wetland at Lake Taihu, China. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 6, n. 1, p. 2332-8878, 2016.
- LIMA, A. C. R. et al. functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Appl. Soil Ecol.**, v. 64, p. 194–200, 2013.
- LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L. Earthworms as soil quality indicators: local and scientific knowledge in rice management systems. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, número especial 2, p. 109-116, 2010.
- LORANGER-MERCIRIS, G. et al. How earthworm activities affect banana plant response to nematodes parasitism. **Applied Soil Ecology, Amsterdam**, v. 52, p. 1-8, 2012.
- LOUZADA, J. N. C.; ZANETTI, R. Bioindicadores. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, p. 79- 128, 2013.
- KROMP, B. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy cultivation impacts and enhancement. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.74, n.1-3, p.187-228, 1999.
- KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. de; BRAGA, R. F. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, p. 79-128.2013.

KNOEPP, J.D.; COLEMAN, D.C.; CROSSEY Jr., D.A.; CLARK, J.S. Biological, indices of Soil quality: an ecosystem case study of their use. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1, p. 357-368, 2000.

MAUSEL, P.W. Soil quality in Illinois: an example of a soils geography resource analysis. **The Professional Geographer**, v.23, p.127–136, 1971.

McGEOCH, M.A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biology Review**, v.73, p.181-201, 1998.

MELO, F. V. et al. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 38-43, 2009.

MENANDRO, L. M. S. et al. Soil Macrofauna Responses to Sugarcane Straw Removal for Bioenergy Production. **Bioenergy Research**, v. 12, n. 4, p. 944–957, 2016.

MOÇO, M. K. S. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 555-564, 2005.

ORGIAZZI A., R et al. (Eds). Global Soil Biodiversity Atlas. In: **European Commission**. Publications Office of the, European Union, Luxembourg: European Commission, 2016. p. 176.

PANT, M.; NEGI, G. C. S.; KUMAR, P. Macrofauna contributes to organic matter decomposition and soil quality in Himalayan agroecosystems, India. **Applied Soil Ecology**, v. 120, p. 20–29, 2016.

PAPENDICK, R.; PARR, J.F. Soil quality: The key to a sustainable agriculture. **Am. J. Alternative Agric.**, v. 7, p. 2-3, 1992

PEREIRA, J. M. et al. Soil macrofauna as a soil quality indicator in native and replanted Araucaria angustifolia forests. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–15, 2017.

PESSOTTO, M. D. F. et al. Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 397-402, 2020.

PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.

PULLEMAN, M. M. et al. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 1-15, 2005.

PULLEMAN, M. et al. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services: an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 529-538, 2012.

RAIESI, F.; KABIRI, V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. **Ecol. Indic.** v. 71, n. 3, p. 198-207, 2016.

RESENDE, A. S. et al. Artropodes do solo durante o processo de decomposição da matéria orgânica. **Agronomía Colombiana**, v. 31, n. 1, p. 89-94, 2013.

ROVEDDER, A. P. M. et al. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1061-1068, 2009.

ROY, S. et al. Soil Arthropods in Maintaining Soil Health: Thrust Areas for Sugarcane Production Systems. In *Sugar Tech* (Vol. 20, Issue 4, pp. 376–391). **Springer India**. <<https://doi.org/10.1007/s12355-018-0591-5>>.

SIQUEIRA, G. M. et al. Diversity of soil macrofauna under sugarcane monoculture and two different natural vegetation types. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 30, p. 2669-2677, jul. 2016.

SOUZA, M. H. et al. Macrofauna do solo. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

SOUZA, S. T. et al. Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–14, 2016.

STORK, N.E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, p.38-47, 1992.

TIEMANN, L. K. et al. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. **Ecol. Lett.**, v.18, p.761-771, 2015.

TRENTINI, C. P. et al. Effect of nitrogen addition and litter removal on understory vegetation, soil mesofauna, and litter decomposition in loblolly pine plantations in subtropical Argentina. **Forest Ecology and Management**, v. 429, p. 133–142, 2018.

VIANA, E. et al. Diversidade da fauna edáfica em solos com diferentes sistemas de manejos no norte do Rio Grande do Sul. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e42211528307-e42211528307, 2022.

VIEIRA, M. S. G.; FERREIRA, R. L.; OLIVATI, F. N. A utilização de bioindicadores como instrumento de perícia ambiental. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, 2014.

VELÁSQUEZ, E. et al. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, v. 56, p. 43–50, 2012.

WINK, C. et al. INSETOS EDÁFICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.