

MACROFAUNA EDÁFICA EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA DE GUARAPUAVA-PR

SOIL MACROFAUNA IN A MIXED OMBROPHILOUS FOREST FRAGMENT IN GUARAPUAVA-PR

MACROFAUNA EDÁFICA EN UN FRAGMENTO DE BOSQUE MIXTO OMBRÓFILO DE GUARAPUAVA-PR

Edileuza Mariana de Godoy¹
João Gustavo Simão²
Carla Garcia³
Marina Szczepanski⁴
Rafael Augusto Gregati⁵

RESUMO: Esse artigo buscou caracterizar a macrofauna edáfica no Parque Municipal das Araucárias, em Guarapuava-PR, avaliando o impacto da visitação pública sobre a qualidade do solo e a biodiversidade local. A metodologia envolveu coletas realizadas em duas etapas (abril e agosto de 2024), utilizando armadilhas do tipo pitfall instaladas na trilha e na mata. Foram também analisadas as propriedades físicas e químicas do solo, além de índices de diversidade, dominância, equidade e riqueza. Os resultados indicaram que o solo da trilha apresentou menor diversidade e equidade da macrofauna, além de maior compactação e alterações químicas, sugerindo impactos negativos da visitação. Em contraste, o ambiente de mata apresentou maior diversidade e condições mais favoráveis à macrofauna, associadas a um solo menos perturbado. Conclui-se que a visitação pública afeta negativamente a qualidade do solo e a biodiversidade da macrofauna edáfica, enfatizando a necessidade de práticas conservacionistas para mitigar os impactos antrópicos e preservar a integridade ecológica do parque. A macrofauna edáfica revelou-se uma ferramenta valiosa para o monitoramento da qualidade ambiental em unidades de conservação.

606

Palavras-chave: Unidade de Conservação. Parque Municipal das Araucárias. Engenheiros do Ecossistema.

¹ Discente em Ciências Biológicas-Licenciatura. Universidade Estadual do Centro-Oeste.

² Graduado em Medicina Veterinária, Discente de mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste.

³ Bióloga, mestre, doutora e pós doutora em produção vegetal e especialização em Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

⁴ Discente em Ciências Biológicas-Licenciatura. Universidade Estadual do Centro-Oeste.

⁵ Biólogo. Mestre. Doutor em Zoologia. Pós-doutorado. Professor associado nível a Universidade Estadual do Centro-Oeste.

ABSTRACT: This article aimed to characterize the soil macrofauna in the Araucárias Municipal Park, located in Guarapuava-PR, by evaluating the impact of public visitation on soil quality and local biodiversity. The methodology involved collections conducted in two stages (April and August 2024) using pitfall traps installed along the trail and within the forest. Physical and chemical properties of the soil were analyzed, as well as indices of diversity, dominance, evenness, and richness. The results indicated that the soil along the trail exhibited lower macrofauna diversity and evenness, greater compaction, and chemical alterations, suggesting negative impacts from visitation. In contrast, the forest environment showed higher diversity and more favorable conditions for macrofauna, associated with less disturbed soil. It was concluded that public visitation negatively affects soil quality and macrofauna biodiversity, underscoring the importance of conservation practices to mitigate anthropogenic impacts and preserve the park's ecological integrity. Soil macrofauna proved to be a valuable tool for monitoring environmental quality in conservation units.

Keywords: Conservation Unit. Araucárias Municipal Park. Ecosystem Engineers.

RESUMEN: Este artículo buscó caracterizar la macrofauna edáfica en el Parque Municipal de las Araucarias, en Guarapuava-PR, evaluando el impacto de la visita pública en la calidad del suelo y la biodiversidad local. La metodología incluyó muestreos realizados en dos etapas (abril y agosto de 2024), utilizando trampas tipo pitfall instaladas en el sendero y en el bosque. También se analizaron las propiedades físicas y químicas del suelo, además de los índices de diversidad, dominancia, equidad y riqueza. Los resultados indicaron que el suelo del sendero presentó menor diversidad y equidad de la macrofauna, además de una mayor compactación y alteraciones químicas, lo que sugiere impactos negativos de la visita pública. En contraste, el ambiente del bosque mostró mayor diversidad y condiciones más favorables para la macrofauna, asociadas a un suelo menos perturbado. Se concluye que la visita pública afecta negativamente la calidad del suelo y la biodiversidad de la macrofauna edáfica, destacando la necesidad de prácticas de conservación para mitigar los impactos antropogénicos y preservar la integridad ecológica del parque. La macrofauna edáfica se reveló como una herramienta valiosa para el monitoreo de la calidad ambiental en unidades de conservación.

607

Palabras clave: Unidad de Conservación. Parque Municipal de las Araucarias. Ingenieros del Ecosistema.

INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, um dos biomas mais ricos em biodiversidade e endemismo global, tem enfrentado, ao longo da história do Brasil, um processo significativo de intervenção humana, resultando na ameaça iminente de extinção de diversas espécies de fauna e flora e em virtude desses desafios, esse bioma é categorizado como um *hotspot* de biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000).

Como uma das medidas de proteção desse bioma, se encontram as Unidades de Conservação, que representam áreas demarcadas de importância natural que visam conservar a

biodiversidade e os ecossistemas nacionais, conforme estabelecido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Divididas em grupos de proteção integral de uso sustentável, essas unidades buscam a preservação e o uso consciente dos recursos naturais (JANSEN et al., 2022).

O Parque Municipal das Araucárias, localizado em Guarapuava, é uma unidade de conservação integral que abriga um remanescente de Floresta Ombrófila Mista no Paraná, com variedade de espécies animais e vegetais, destacando sua importância como um recurso essencial para a manutenção da vida e do ecossistema (CZERVINSKI et al., 2018). O substrato é vital na biodiversidade, atuando como ambiente propício para diversas espécies e abrigando microrganismos que desempenham funções ecológicas essenciais. O parque não apenas evidencia a interligação entre o substrato, a flora e a fauna, mas também proporciona um espaço significativo para iniciativas de conscientização ambiental e investigação científica, sublinhando a imperatividade de preservar áreas naturais para as próximas gerações (SALAS e PORTILLA, 2018).

O parque possui duas trilhas que podem funcionar como objetos de estudo da conservação e compreensão de sua biota. Enquanto os visitantes exploram essas trilhas, têm a oportunidade de observar os diversos componentes dos estratos florestais, que abrigam uma rica variedade de microhabitats e seres vivos. Porém, esse acesso também leva os visitantes a interferir na taxa de sobrevivência de membros da macrofauna do solo, como os invertebrados das ordens Isoptera, Coleoptera, Araneae, Blattaria, Orthoptera, Hymenoptera, entre outras (MELO et al., 2009). Essa macrofauna é passível de modificações pedoambientais (referem-se a alterações nos solos e no ambiente circundante, causadas por fatores naturais ou pela ação humana) pelo processo de deslocamento produzindo bioporos que afetam características físicas do solo, como taxa de infiltração e bioturbação, que atua no equilíbrio da reserva de carbono do solo e na emissão de gases de efeito estufa (FERREIRA et al., 2020).

608

A macrofauna edáfica é composta por organismos que ocupam a superfície do solo abrangendo mais de 20 grupos taxonômicos distintos. Esses animais estão agrupados em categorias funcionais, que incluem: engenheiros do ecossistema, saprófagos, predadores, fitófagos, onívoros, etc, podendo ser encontrados em quase todos os ecossistemas terrestres (SILVA et al., 2022). Alguns podem ser considerados como bioindicadores, como exemplo os insetos da ordem Isoptera (cupins), que são responsáveis pelo processo de aeração, os Dermaptera (tesourinhas), Araneae (aranhas), Hemiptera (percevejos) e Scorpiones

(escorpiões) fazem o controle populacional de insetos, Coleoptera (besouros), Diptera (moscas), Opilionida (opiliões), Lepidoptera (borboletas), Blattaria (baratas) e Orthoptera (gafanhotos), contribuem para o processamento de matéria orgânica (MO) (Sousa, 2023). Assim, podem fornecer informações importantes com relação ao equilíbrio dos ecossistemas (LIMA et al., 2021).

Quando não planejadas e gerenciadas adequadamente, as trilhas de visitação podem afetar o ambiente e, consequentemente, a vida desses animais e seus serviços ecossistêmicos como aeração, ciclagem de nutrientes, bioturbação, controle populacional, etc (NASCIMENTO; CANTOSILVA; TOPPA, 2021). A compreensão dos invertebrados do solo tem também o potencial de servir como alicerce para a gestão desse ecossistema, seja pela intervenção sobre os animais ou pela manutenção das condições ambientais. Além disso, os dados de levantamento e caracterização provenientes da macrofauna do solo podem contribuir significativamente para o monitoramento estratégico visando a restauração do solo ou redução dos efeitos negativos da compactação e outros processos físicos e químicos sobre o mesmo, demonstrando a importância de seu estudo na mitigação de impactos (SILVA et al., 2021).

MÉTODOS

609

A pesquisa foi realizada no Parque Municipal das Araucárias, em Guarapuava-PR sob as coordenadas $25^{\circ}20'44''$ e $25^{\circ}21'35''$ de latitude Sul e $51^{\circ}27'31''$ e $51^{\circ}28'16''$ de longitude Oeste. O local possui duas trilhas com largura de 2,40 m, uma de menor percurso com 1.076 m, e outra de maior percurso com 1.214 m, onde foi realizado o experimento. A mata tem uma área total de 23 ha e contém espécies típicas da Floresta Ombrófila Mista, com dominância de *Araucaria angustifolia*.

Para a coleta da macrofauna foram utilizadas armadilhas do tipo *pitfall*, consistindo em copos plásticos de 770 ml contendo solução de água e detergente na concentração de 2%. As armadilhas foram inseridas em aberturas de tamanho compatível escavadas no solo com auxílio de um trado, com o ápice do recipiente alinhado com a superfície do substrato. Acima de cada armadilha foi mantida uma cobertura confeccionada com pratos plásticos de 21 cm de diâmetro sustentados por palitos de madeira de 30 cm de comprimento inseridos no solo, protegendo do acúmulo de água em caso de precipitação sem impedir a entrada dos organismos na armadilha.

A fim de compreender a abundância da macrofauna, foram realizadas amostragens em duas etapas distintas, que compreenderam dois meses do ano, sendo uma em abril, que conteve

os menores números de visitação, e uma em agosto, mês com os maiores números de visitantes, para testar se houve impacto da visitação na fauna de solo. Os dados de fluxo de pessoas foram disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente de Guarapuava (SEMAP), que realiza o controle do agendamento de visitas escolares e caracterizou os meses referentes ao ano de 2023.

Para as coletas, os organismos foram retirados das armadilhas e inseridos em frascos contendo etanol 70% para conservação. Após as coletas, foram levados ao Laboratório de Entomologia Agrícola da Universidade Estadual do Centro-Oeste para a identificação ao nível de ordem utilizando microscópio estereoscópico e chaves entomológicas dicotômicas. Os grupos funcionais foram organizados em dez grupos funcionais os grupos funcionais foram organizados em dez categorias (SWIFT et al., 2010; BROWN et al., 2001), abrangendo tanto seus padrões alimentares quanto suas funções ecossistêmicas, sendo os grupos funcionais detritívoros, engenheiros do ecossistema, fitófagos, geófagos, onívoros, parasitas, pragas, predadores, rizófagos e transformadores de serrapilheira.

Para as análises químicas do solo foram coletadas duas amostras, cerca de dez centímetros distantes das armadilhas (dentro e fora da trilha) com auxílio de um trado. Para tanto, o trado foi introduzido até a profundidade de 20 cm, retirando-se o solo com o menor revolvimento possível. As amostras coletadas foram armazenadas em recipiente plástico com tampa para análises de teor de matéria orgânica e macro-componentes. Para as análises físicas foram coletadas dez amostras com o auxílio de anéis volumétricos de 10 cm, sendo cinco dessas amostras no ambiente de mata e cinco no ambiente de trilha, e em seguida foram submetidas às análises de densidade, umidade e porosidade. Os dados climáticos foram fornecidos pela Estação Meteorológica do *campus* CEDETEG: 25°23'05" de latitude Sul e 51°29'37" de longitude Oeste. Os dados referentes aos organismos coletados foram utilizados para calcular o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H'), índice de dominância de Simpson, índice de equabilidade de Pielou (e) e riqueza de Margalef, utilizando o programa PAST® (MORAES RCB et al., 2003).

610

RESULTADOS

As ordens de maior abundância foram Hymenoptera (1063 indivíduos), Diptera (875 indivíduos) e Thysanoptera (293 indivíduos). As ordens de menor abundância foram Neuroptera, Pulmonata e Spirobolida, todas com apenas um indivíduo capturado.

Tabela 1 –Classificação final das ordens coletadas no Parque Municipal das Araucárias em Guarapuava-PR, de acordo com seus grupos funcionais.

Ordem	Nomes comuns	Grupos funcionais	Total na Trilha	Total na Mata
Araneae	Aranha	8	33	73
Blattaria	Barata-do-mato	1;3;5;10	1	2
Coleoptera	Besouro	1;3;6;9;10	27	32
Dermoptera	Tesourinha	1;3;8;10	1	2
Diptera	Moscas; mosquitos	1;6;8;10	480	395
Hemiptera	Percevejos; cigarrinhas			
		1;3;7;9	4	4
Haplotaida	Minhoca	1;2;4;10	0	3
Hymenoptera	Formigas; vespas	1;2;3;5;9	618	445
Isopoda	Tatuzinho	1	42	51
Lepidoptera	Borboletas; mariposas			
		3;7	13	10
Neuroptera	Formiga-leão	8	1	0
Opiliones	Opilião	8	2	2
Orthoptera	Grilo	1;3;5;7;9	7	11
Pulmonata	Caracol	1;3;10	1	0
Scolopendromorpha	Centopéias; lacraias	1;7;8;10	3	2
Spirobolida	Piolho-de-cobra	1;7;10	0	1
Thysanoptera	Tripes	1;3;7;8	202	91
TOTAL	-	-	1435	1124
				611

Fonte: GODOY, et al., 2025

Grupos Funcionais (GF):

- (1) Detritívoros: alimentam-se de matéria orgânica em decomposição e tecidos vivos de plantas;
- (2) Engenheiros do ecossistema: forte impacto físico sobre o solo, transportando solo, construindo estruturas e formando bioporos;
- (3) Fitófagos: consumo de tecidos vivos de plantas;
- (4) Geófagos: consumo de terra e de húmus;
- (5) Onívoros: consomem matéria orgânica de origem animal e vegetal;
- (6) Parasitas: nutrição às custas de parasitismo em organismos hospedeiros.
- (7) Pragas: causam prejuízos econômicos devido ao ataque à plantações;

- (8) Predadores: consomem outros organismos vivos, tendo papel de regulador de populações;
- (9) Rizófagos: consomem e digerem tecidos das raízes de plantas;
- (10) Transformadores de serrapilheira: fragmentam detritos vegetais, facilitando acesso de microrganismos decompósitos, ou promovem o crescimento desses em suas fezes peletizadas.

Foi coletado um total de 2.559 indivíduos da macrofauna edáfica no Parque Municipal das Araucárias, de 17 ordens diferentes, sendo identificados em dez grupos funcionais (Tabela 1). Com base nas classificações de Swift *et al.* (p. 23-41, 2010) e de Brown *et al.* (p. 79-110, 2001), foram classificados em dez grupos funcionais, englobando tanto seus hábitos alimentares como seu papel ecossistêmico, numerados de 1 a 10. Dentre esses grupos os mais comuns foram: grupo 1 (detritívoros) ocorrendo em 13 de 17 ordens, grupo 3 (fitófagos) em 9 de 17 ordens, grupo 10 (transformadores de serrapilheira) ocorrendo em 8 de 17 ordens, e os grupos funcionais menos frequentes foram: grupo 2 (engenheiros do ecossistema) encontrados 2 de 17 ordens, grupo 4 (geófagos), encontrados 2 de 17 ordens e grupo 6 (parasitas) encontrados 1 de 17 (Figura 1).

Na primeira etapa de amostragens, no mês de abril, obteve-se um total de 1040 indivíduos na trilha e 652 indivíduos na mata, contabilizando um total de 1692 indivíduos coletados. Foram identificadas 16 ordens, das quais as mais abundantes foram Hymenoptera, com 469 representantes capturados no ambiente de trilha e 266 na mata, Diptera, com 296 representantes na trilha e 202 representantes na mata; e por fim a ordem Thysanoptera, com 199 representantes na trilha e 88 representantes na mata.

612

As ordens com menor aparição no ambiente de trilha foram Dermaptera, Neuroptera, Orthoptera e Pulmonata, todas com apenas um indivíduo coletado. No ambiente de mata as ordens de menor incidência foram Blattaria e Scolopendromorpha, com apenas uma ocorrência, e Dermaptera com dois indivíduos identificados. As ordens Blattaria e Haplotauxida só foram encontradas no ambiente de mata, e de maneira similar, as ordens Neuroptera, Opiliones e Pulmonata apenas foram encontradas no ambiente de trilha.

A temperatura média dos 11 dias do experimento de abril foi de 21.3º C, sendo o quinto dia a temperatura média mais elevada com 26.6º C, sendo sua máxima de 31.9º C e mínima de 18.3º C. Já a temperatura mais baixa se encontrou no oitavo dia, sendo sua média de 18.9º C com a mínima de 15º C e máxima de 20.5º C.

As análises químicas de solo demonstraram as diferenças entre os substratos de mata e trilha, sendo um exemplo de variação o teor de matéria orgânica, encontrado em números maiores no solo da mata, com 37,60 g/dm⁻³. Com relação ao pH, o solo da mata foi ligeiramente

mais ácido, com pH de 4,42 comparado ao pH da trilha, com o valor de 4,72. O teor de fósforo e cálcio foram encontrados em maiores valores no solo da trilha, nas concentrações de 10,66 mg/dm⁻³ e 1,53 cmol/dm⁻³ respectivamente. No solo de mata, o teor de potássio e alumínio foram encontrados em maior quantidade, com valores de 0,16 cmol/dm⁻³ e 3,51 cmol/dm⁻³ respectivamente (Tabela 2).

Quanto à capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%), ambas foram encontradas em maiores concentrações no solo da trilha, com valores de 4,51 cmol/dm⁻³ e 17% respectivamente. Os elementos ferro e cobre foram encontrados em maiores concentrações na trilha, com valores de 214,06 mg/dm⁻³ e 9,65 mg/dm⁻³ respectivamente. O composto amônia também foi encontrado no ambiente de trilha em maior concentração, nos valores de 21 g/dm⁻³, e 7 g/dm⁻³ no ambiente de mata. Manganês, zinco e enxofre foram mais abundantes na mata, com os valores de 63,56 mg/dm⁻³, 1,67 mg/dm⁻³ e 88,01 mg/dm⁻³ respectivamente, sendo o composto nitrato também superior neste solo, com valor de 25,66 g/dm⁻³. O nitrogênio total apresentou uma baixa diferença entre os pontos, sendo maior no solo da trilha com o valor de 32,67 g/dm⁻³ e menor no solo de mata com 32,66 g/dm⁻³.

Tabela 2 – Resultados das análises químicas do solo realizadas no experimento.

613

Amostra	MOS	PH	P	K	Ca ²⁺	Al	CTC efetiva	V%
Mata	37,6	4,42	8,89	0,16	0,82	3,51	4	6
Trilha	18,1	4,72	10,66	0,09	1,53	2,19	4,51	17
Amostra	Fe	Cu	Mn	Zn	S	NO ₃	NH ₄	N Total
Mata	115,87	2,32	63,56	1,67	88,01	25,66	7	32,66
Trilha	214,06	9,65	42,73	1,58	28,2	11,67	21	32,67

Fonte: GODOY, et al., 2025

O ponto de coleta com a maior densidade do solo foi o ponto 1 do ambiente de trilha, o qual apresentou o valor de 1,15 g/cm³. O ponto de coleta com maior porosidade foi o ponto 4 do ambiente de mata, com o valor de 0,73 (73%), sendo nesse ponto também encontrado o maior teor de umidade, no valor de 0,86 (86%) (Tabela 3).

A menor densidade foi encontrada no ponto de coleta 5 da mata, com o resultado de 0,77 g/cm³, e a menor porosidade no ponto de coleta 1, com 0,59 (59%) e também a menor umidade com 0,47 (47%). Das médias calculadas sobre os dados físicos do solo, a média de densidade da mata

foi 0,86 g/cm³ e da trilha 1,05 g/cm³. A média de porosidade da mata foi 0,71 (71%) e da trilha 0,63 (63%). Por fim, a umidade média da mata foi de 0,72 (72%) e da trilha 0,52 (52%).

Tabela 3 – Dados das análises físicas do solo realizadas no experimento.

Mata	Densidade g/cm ³	Porosidade (%)	Umidade (%)
Ponto 1	0,93	0,68	0,68
Ponto 2	0,89	0,72	0,75
Ponto 3	0,94	0,67	0,66
Ponto 4	0,76	0,73	0,86
Ponto 5	0,77	0,68	0,69
Média	0,86	0,71	0,72
Trilha	Densidade g/cm ³	Porosidade (%)	Umidade (%)
Ponto 1	1,15	0,59	0,47
Ponto 2	1,1	0,62	0,51
Ponto 3	1,13	0,63	0,50
Ponto 4	0,91	0,64	0,51
Ponto 5	0,94	0,66	0,64
Média	1,05	0,63	0,52

Fonte: GODOY, et al., 2025

Durante a segunda etapa do experimento, realizada em agosto, foram coletados um total de 395 indivíduos na trilha e 472 indivíduos na mata, totalizando 867 organismos amostrados. Houve um total de 13 ordens encontradas, as mais frequentes foram Hymenoptera, com 149 indivíduos na trilha e 179 indivíduos na mata; Diptera com 184 indivíduos na trilha e 193 indivíduos na mata; e Araneae com 12 indivíduos na trilha e 40 indivíduos na mata. As ordens menos frequentes na trilha foram Blattaria e Opiliones, ambas com apenas um indivíduo coletado, e Orthoptera e Scolopendromorpha com dois indivíduos cada. No ambiente de mata, a menor frequência foi dos grupos Blattaria, Hemiptera, Scolopendromorpha e Spirobolida, todos com apenas um indivíduo coletado. A ordem Spirobolida foi a única que foi coletada em somente um ambiente, sendo esse o ambiente de mata.

Os maiores índices de diversidade e equabilidade no solo do ambiente de mata, alcançaram valores de 1.532 e 0.5656 respectivamente. O valor do índice de dominância foi mais alto no solo do ambiente de trilha, com o valor de 0,319 (PAST®).

Tabela 4- Índices calculados no programa/software PAST®.

Índices	Trilha	Mata
Diversidade (H')	1.397	1.532
Dominância (D)	0.319	0.2941
Equabilidade (e)	0.516	0.5656
Riqueza (Mg)	1.926	1.993

Fonte: GODOY, et al., 2025

A temperatura média geral da segunda etapa do experimento em agosto foi de 14ºC. O oitavo dia teve a temperatura média mais elevada (16º C), com a temperatura máxima de 21ºC e temperatura mínima de 11º C. O terceiro, quarto e quinto dia tiveram a temperatura média mais amena de mesmo valor, em 13º C. A temperatura máxima foi de 18º C no terceiro e quarto dia, e de 19º C no quinto dia. Todos esses dias apresentaram temperatura mínima de 9º C.

DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar diferenças entre os ambientes de trilha e de mata. Durante a primeira fase do experimento, realizada em abril de 2024, foi possível observar a maior abundância de indivíduos coletados. Analisando o volume de visitação do ano anterior, onde o mês de abril recebeu menor visitação, era esperado que o número da macrofauna fosse mais elevado devido a menor perturbação antrópica, devido à compactação do solo alterar suas características físicas (ZHUKOV et al., 2023).

Os organismos de maior abundância no ambiente de trilha foram as ordens Hymenoptera e Diptera (Tabela 1) sugerindo que essas ordens são mais tolerantes a áreas com maior perturbação antrópica. As formigas, representantes da ordem Hymenoptera, apresentam funções ecológicas como a predação de outros organismos e ação detritívora ou herbívora conforme as espécies envolvidas, aptas a dominar ecossistemas terrestres e estabelecer colônias em ambientes de recursos escassos, sendo boas bioindicadoras de áreas de solo altamente degradado (MELO FV et al., 2009).

A maior ocorrência de Diptera no ambiente de trilha na primeira fase de experimentação foi inesperada, devido às características do solo indicarem fatores desfavoráveis para sua abundância comparado ao ambiente de mata Frouz J. (p. 167-186, 1999) cita como principais fatores reguladores da abundância de Diptera, sobretudo em estado larval, a umidade de solo e

o teor de matéria orgânica, sendo uma contradição com os resultados encontrados nas análises de solo.

As ordens de menor ocorrência, como Haplotaxida (minhocas) e Blattaria (baratas) foram encontradas somente no ambiente de mata. Isso sugere que essas ordens são associadas a ambientes menos afetados por distúrbios antrópicos, com características do solo mais preservadas, e sua ausência no ambiente de trilha é um possível indicador do impacto da visitação sobre o solo, causando efeitos deletérios nas suas populações (DIONÍSIO et al., 2016). Já a maior densidade de vegetação e acúmulo de material em decomposição na mata pode também fornecer melhores condições de abrigo e recursos alimentares para a ordem Blattaria, o que explica sua presença nesse local na primeira etapa do experimento, tornando-as relevantes como indicadores de preservação do solo (GRANDCOLAS, 1994).

Houve ordens, como por exemplo Thysanoptera, onde na primeira fase de experimento foi observada uma abundância de indivíduos, enquanto na segunda etapa houve uma redução significativa. De acordo com Silva AK, et al. (p. 74-77, 2010) em períodos sazonais há uma menor aparição das comunidades edáficas, devido a especificidades de certos grupos de invertebrados dependentes do tipo da vegetação e como esta se encontrará durante períodos de chuva e seca.

616

Dentre os grupos funcionais, os três mais frequentes foram os detritívoros, responsáveis por decompor materiais orgânicos tornando-os mais acessíveis na forma de nutrientes para outras plantas; fitófagos, que alimentam-se de diversas partes das plantas; e engenheiros do solo, que atuam na melhoria a estruturação do solo por vários processos mecânicos e químicos (MANHÃES, 2011). A prevalência desses grupos funcionais pode ser justificada pela vegetação do ambiente de mata, que fornece condições favoráveis ligadas aos teores de matéria orgânica encontrados para esses grupos funcionais.

Os grupos de engenheiros do ecossistema, parasitas e geófagos foram os grupos funcionais menos abundantes nos dois ambientes. Segundo Santos DP, et al. (p. 1466-1475, 2017), esses grupos não apresentam tendência de agrupamento entre si e com outros grupos funcionais, sendo por exemplo encontrados em áreas de campo ocupadas por poáceas como o capim-napier (*Pennisetum purpureum*, Schumach).

As ordens Neuroptera e Opiliones foram presentes apenas no ambiente de trilha, e somente durante a primeira etapa do experimento. Ambas as ordens pertencem ao grupo funcional dos predadores, com sua ocorrência correlata a substratos com textura argilo-siltosa

(SANTOS, et al., 2016), características compatíveis com o ambiente de trilha, que apresentou menor cobertura de vegetação e solo mais exposto.

Com relação aos dados climáticos, a temperatura média ideal está ligada ao desenvolvimento acelerado e produção de descendentes, gira em torno de 25º C, com a temperatura mínima de 15º C, enquanto 38 ºC é considerada o limite superior (RODRIGUES, 2004). Na primeira etapa obtiveram-se temperaturas médias mais próximas do ótimo para esses invertebrados, possivelmente correlato à quantidade superior de indivíduos amostrados em relação à segunda etapa, onde ocorreram temperaturas médias mais amenas.

Os resultados da análise química de solo apresentam uma provável relação com a macrofauna, nesse caso pelos índices de vários componentes dentro de um valor considerado bom no ambiente de trilha. Apesar do grande volume de visitantes nessa etapa e seu impacto consequente, a abundância de indivíduos da macrofauna permite que sua atuação pela fragmentação de matéria orgânica e movimentação/ingestão de detritos facilite a ação dos microrganismos responsáveis por ciclar esses nutrientes no solo (SWIFT et al., 2010).

Os resultados da análise física do solo da trilha possivelmente refletem em sua macrofauna edáfica, pois essa é influenciada por diversos fatores físicos como temperatura, umidade, estrutura do solo e porosidade. A textura do solo é um aspecto fundamental que afeta diretamente a oferta de nutrientes para os animais, correlacionando-se com a presença de grupos funcionais em maior ou menor abundância (MOÇO, 2006). O grupo funcional de engenheiros do ecossistema foi representado na trilha apenas pela ordem Hymenoptera, enquanto que no ambiente de mata, com solo menos compactado e fisicamente mais propício, foi encontrado também a ordem Haplotaixida representando esse grupo funcional, refletindo o impacto dessas características.

A ocorrência da ordem Araneae, principalmente no ambiente de mata, é considerável como um bioindicador de qualidade do solo e ambiente, pois além de representarem o grupo funcional de predadores, são espécies sensíveis à alterações de microclimas, muito comuns em caso de perturbações antrópicas, dependendo de como o solo foi utilizado ou afetado durante o processo (BARETTA et al., 2007).

Os índices de diversidade, equitabilidade e riqueza revelaram-se mais expressivos no ambiente de mata do que nos de trilha. O maior valor de diversidade se refere à entropia da distribuição, onde algumas espécies (neste trabalho, ordens) são consideradas símbolos e o tamanho de suas populações corresponde à probabilidade associada de sua ocorrência, levando

em conta tanto o número de espécies quanto a uniformidade de suas distribuições (SANTOS, 2009). O resultado mais expressivo no ambiente de mata demonstra a maior composição numérica desse indivíduos e sua variabilidade de grupos representados, reflexo desse ambiente menos perturbado antropicamente.

A equitabilidade, como indicador de diversidade, considera o nível de distribuição equilibrada entre a abundância de indivíduos (MAGURRAN, 2011). O valor mais alto desse índice no ambiente de mata demonstra a maior uniformidade de ordens que foram encontradas, sendo indicativo da preservação da comunidade de macrofauna edáfica nesse local.

A riqueza está diretamente ligada à complexidade estrutural do ambiente, onde locais com maior grau de perturbação tendem a apresentar uma redução no número de espécies (VASCONCELOS, 1998). Nesse caso, a perturbação realizada por visitantes ao solo do ambiente de trilha tem seu impacto refletido no nível de riqueza ter sido superior no ambiente de mata, onde o acesso de visitantes é proibido.

Ao contrário dos demais índices, no ambiente de trilha foi encontrado o maior valor do índice de dominância. Esse índice é representativo da predominância de certos táxons sobre outros e qual a chance de dois indivíduos escolhidos de forma aleatória serem pertencentes a um mesmo táxon. No caso deste trabalho, a predominância de índices e características que pendem a um panorama favorável ao ambiente de mata como o mais preservado é contrastada pelo maior valor de dominância no ambiente de trilha, explicado pela abundância de membros das ordens Hymenoptera e Diptera nesse ambiente em comparação às demais ordens.

618

CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados, foi possível inferir que a visitação tem impactos negativos sobre a macrofauna do solo da trilha do Parque Municipal das Araucárias, sendo esse principalmente indicado pela diminuição da abundância e diversidade de ordens encontradas nesse ambiente se comparado ao ambiente de mata, o que consequentemente influencia a qualidade física e química deste substrato, devido a redução dos papéis benéficos que estão associados aos grupos funcionais destes invertebrados.

Portanto, a importância do impacto antrópico sobre comunidades dentro de Unidades de Conservação é observável e relevante para o panorama geral do estado de conservação dos ecossistemas locais, com um bom bioindicador a caracterização de sua macrofauna.

REFERÊNCIAS

- BARETTA D, et al. Aranhas (arachnida: araneae) edáficas amostradas por armadilhas e monólitos de solo em florestas com Araucaria angustifolia. *Scientia Agricola*, v. 64, n. 4, p. 375-383, 2007.
- BROWN GG, et al. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*, 2001, n. 1, p. 79-110, 2001.
- CZERVINSKI T, et al. Levantamento de espécies da família Orchidaceae no Parque Municipal, Guarapuava. Universidade Estadual do Centro-Oeste/Departamento de Ciências Biológicas. Guarapuava, 2018.
- DIONÍSIO, J A, et al. Guia prático de biologia do solo. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual do Paraná, 152 p. 2016.
- FERREIRA HSR, et al. Composition and spatiotemporal distribution of benthic macrofauna in a macrotidal estuary on the Amazonian Coast of the State of Maranhão, Brazil. *Ocean and Coastal Research*. 2020.
- FROUZ J. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 74, n. 1-3, p. 167-186, 1999.
- GRANDCOLAS, P. La richesse spécifique des communautés de Blattes du sous-bois en forêt tropicale de Guyane Française. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)* v.49, p. 139-50, 1994
-
- JANSEN JS, et al. Monitoramento e gestão de impactos da visitação pública em unidades de conservação na Amazônia Oriental. *Conjecturas* 2022; 22: 658-667. Amazônia-2022.
- LIMA RWS, et al. Macrofauna do solo no Parque Municipal de Maceió, Alagoas. *Revista Caminhos de Geografia*, 2021; 22: 292-307.
- MAGURRAN AE. Medindo a diversidade biológica. Curitiba: Editora da UFPR, 2011. 261p.
- MANHÃES C. Caracterização da fauna edáfica de diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro, 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- MELO FV, et al. A importancia da Meso e Macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. *Biologia do Solo*, 2009; 34: 39-43, 2009.
- MOÇO M. K.DA S. Fauna do solo em diferentes agrossistemas de cacau no sul da Bahia. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes-RJ. 2006.
- MORAES RCB, et al. Software para análise faunística. In: 8º Simpósio de controle biológico. 2003, S. Pedro, SP. Anais do 8º Siconbiol, 2003; 1: 195.

MYERS N, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*; 403: 853-858.

NASCIMENTO C, et al. Visitação e visitantes da trilha interpretativa de uma unidade de conservação no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ecoturismo*, 2021; 14: 5.

RODRIGUES WC. Fatores que influenciam no desenvolvimento dos insetos. *Info Insetos*, v. 1, n. 4, p. 1-4, 2004.

SALAS JAO, PORTILLA TDCL. Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico, caso Cantón, Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 2018; 14.

SANTOS DP, et al. Macrofauna edáfica e suas funções ecológicas em áreas irrigadas no Sudoeste do Piauí. In: III SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DO TERRITÓRIO DO RECÔNCAVO BAIANO. 3^a Edição, 2017, Cruz das Almas-BA. Anais de evento, 2017.

SANTOS DP, et al. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no 39 Sudoeste do Piauí. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1466-1475, 2016.

SANTOS VK. Uma generalização da distribuição do índice de diversidade generalizada por Good com aplicação em ciências agrárias. 2009. 58 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, A. K. M.; QUEIROZ, R.N.M; OLIVEIRA, B.H.S.; ALBUQUERQUE, H.N. Relevância do estudo dos invertebrados edáficos no Complexo Aluízio Campos. *Revista Brasileira de Informações Científicas*, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 74-77, 2010.

620

SILVA, M. R. de A. C, et al. Levantamento da macrofauna edáfica em uma unidade de conservação do Cerrado no Leste Maranhense. *Companhia Brasileira De Produção Científica*, 2022; 14: 1.

SILVA RM, et al. Fauna do solo como bioindicadora da qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar: um referencial teórico. *Research, Society and Development*, 2021; 10: 10.

SOUZA, G. de F.; MOURA, D. C.; MARQUES, A. de L.; GOMES, A. S.; COSTA, C. R. G. da; BEIRIGO, R. M. M.; MACEDO, R. S. Macrofauna como bioindicador nos solos do Parque Estadual Pico do Jabre-PB. *Revista Valore*, [S. l.], v. 8, p. 184-195, Campina Grande-PB, 2023.

SWIFT, M. J.; BIGNELL, D.; MOREIRA, F. M. de S.; HUISING, J. O inventário da biodiversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: MOREIRA, F. M. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. II n.22; p. 2015 131 S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). *Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade*. Lavras: Editora da UFLA, p. 23-41.2010.

VASCONCELOS, H. L. Respostas das formigas à fragmentação florestal. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v. 12, p. 95-98, 1998.

ZHUKOV, O.; KUNAKH, O.; YORKINA, N.; TUTOVA, A. Response of soil macrofauna to urban park reconstruction. *Soil Ecology Letters*, v. 5, n. 2, p. 220156, 2023.