

DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DA CLASSE COLLEMBOLA EM AMBIENTE CONTAMINADO POR CHUMBO

L. COUSSEAU¹, D. TESSARO^{2*}, R. F. VARGAS³, K. L. KUBIAK⁴, L. F. W. ZARZYCKI⁵, J. C. da SILVA⁶

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6079-5269>

dtessaro@utfpr.edu.br

Submetido em 04/04/2020; Aceito em 28/09/2021

DOI: 10.15628/holos.2022.10330

RESUMO

O aumento na concentração de metais pesados no solo influencia não apenas a saúde humana, mas todo o ecossistema. Desta forma, o trabalho teve por objetivo caracterizar os morfotipos da classe Collembola presentes em solo contaminado por chumbo. O estudo foi realizado em uma recicladora de baterias desativada, subdividida em seis glebas com influência direta da contaminação e duas glebas localizadas fora do perímetro de contaminação. Os indivíduos foram coletados pelo uso de armadilhas *Pitfall-traps*, e posteriormente classificados em morfotipos, observando-se a presença ou ausência de determinadas características morfológicas e, para cada uma delas, atribuído um valor de índice ecomorfológico. Amostras de solo foram realizadas para a determinação do teor de

chumbo e pH em laboratório. As glebas com influência direta possuem valores de chumbo acima do permitido pela legislação e demonstram diferenciação na composição de morfotipos, com maior frequência de organismos pertencentes ao grupo epiedáfico. A maior abundância foi observada na área A6, com alta disponibilidade de alimento e umidade. O índice de riqueza foi maior em A2 indicando relação entre morfotipos específicos com tolerância ao chumbo. Observou-se menor índice de diversidade de Shannon devido a dominância de morfotipo edáfico em A6 o que gerou baixos índices de uniformidade. Portanto, apesar do elevado nível de chumbo no solo, a classe Collembola, principalmente os morfotipos epiedáficos mostraram-se tolerante a estas condições.

PALAVRAS-CHAVE: Fauna edáfica, bioindicadores, metais pesados.

MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF THE COLLEMBOLA CLASS IN A LEAD CONTAMINATED ENVIRONMENT

ABSTRACT

The increase in the concentration of heavy metals in the soil influences not only human health, but the entire ecosystem. Thus, the work aimed to characterize the Collembola class morphotypes present in lead contaminated soil. The study was carried out in a deactivated battery recycler, subdivided into six plots with direct influence of contamination and two plots located outside the contamination perimeter. The individuals were collected using Pitfall-traps, and later classified into morphotypes, observing the presence or absence of certain morphological characteristics and, for each one of them, an ecomorphological index value was assigned. Soil samples were taken to determine the lead content and pH in the laboratory. Lands with

direct influence have lead values above those allowed by legislation and demonstrate differentiation in the composition of morphotypes, with greater frequency of organisms belonging to the epiedaphic group. The greatest abundance was observed in the A6 area, with high availability of food and moisture. The richness index was higher in A2 indicating a relationship between specific morphotypes and lead tolerance. A lower Shannon diversity index was observed due to the dominance of the edaphic morphotype in A6, which generated low levels of uniformity. Therefore, despite the high level of lead in the soil, the Collembola class, especially the epiedaphic morphotypes, were tolerant to these conditions.

KEYWORDS: Edaphic fauna, bioindicators, heavy metals.

1 INTRODUÇÃO

O intenso crescimento no setor industrial, agrícola e urbano tem ampliado o risco de contaminação do solo por metais pesados (Jadia e Fulekar, 2009). Tais elementos encontram-se naturalmente no solo, resultantes do intemperismo do seu material de origem, entretanto, quantidades superiores ocorrem em diversas áreas resultantes da intervenção antrópica (Andrade et al., 2009). Essas concentrações elevadas constituem um fator de risco para a saúde humana e dos animais, afetando negativamente a produtividade, biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas (Melo et al., 2008).

Neste sentido, dentre os metais pesados, a contaminação por chumbo advém principalmente por atividades antrópicas, elevando gradativamente seus teores e sua presença no ecossistema, uma vez que inúmeros setores industriais depositam diariamente grandes proporções de chumbo no ambiente, principalmente indústrias de baterias, chumbeiras, siderúrgicas e sucatas automobilísticas (Andrade et al., 2009; Fernandes et al., 2011; Gonçalves et al., 2014, Meena et al., 2020). Dependendo da quantidade de chumbo encontrada nos solos, é possível que haja redução do crescimento e até extinção da vegetação, além de prejudicar os demais organismos vivos que dependem do meio contaminado para sobrevivência e se reprodução (Alves et al., 2008).

Desta forma, a contaminação do solo por chumbo também é responsável pela alteração da diversidade biológica dos organismos edáficos, estando estes diretamente ligados à qualidade e capacidade produtiva do solo, pois auxiliam na transformação e mineralização de resíduos orgânicos, auxiliando na disponibilização de nutrientes às plantas e até mesmo para outros organismos (Cousseau et al., 2020; Baretta et al., 2011; Brown et al., 2015). Contudo, nas avaliações dos impactos ocorridos no solo por ações antrópicas, a fauna edáfica mostra-se como um excelente bioindicador por apresentar-se sensível as mudanças no ambiente e responder ativamente às alterações impostas ao meio (Baretta et al., 2010), destacando-se estudos como de Bartz et al., (2014), Krolow et al., (2017), Rosa et al., (2019), Silva et al., (2019), Pereira et al., (2020), entre outros.

Considerando-se esta potencialidade da fauna edáfica, a classe Collembola vem sendo utilizada como bioindicador da qualidade do solo (Santos et al., 2018), pois são encontrados em diferentes profundidades, distribuindo-se verticalmente, dividindo-se em organismos epiedáficos, hemiedáficos e edáficos, sendo os epiedáficos geralmente encontrados em solos que contêm camadas de serrapilheira, enquanto os edáficos apresentam características opostas, sendo encontrados nas camadas profundas. Os organismos hemiedáficos são geralmente encontrados em camadas superficiais com distribuição vertical intermediária (Oliveira Filho et al., 2016). Além da distribuição no perfil, apresentam alta sensibilidade as mudanças nos atributos químicos, físicos e características naturais de micro-habitat após práticas agrícolas (Oliveira Filho et al., 2016), conforme relatado em estudos que demonstram sua importância como bioindicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso (Ferreira et al., 2018; Ortiz et al., 2019; Machado et al., 2019).

Tomando o exposto, fica evidente que esta sensibilidade pode fornecer informações que revelam os níveis de contaminação ou degradação do solo. Contudo, a diversidade de colêmbolos

e a sua relação com a qualidade do solo ainda é restrita frente a outros grupos edáficos, pois, pela falta de taxonomistas há limitação na identificação precisa dos exemplares (Santos et al., 2017). Diante disso, a classificação do grupo em morfotipos, a qual consiste na observação de algumas características morfológicas, que podem revelar a preferência de determinado organismo a aquele local (Parisi et al., 2005) ou seu nível de adaptação ao solo (Carvalho, 2012), vem sendo frequentemente utilizados.

No entanto, embora esta ferramenta permita obter resultados relevantes para a compreensão da qualidade do solo, poucos são os estudos com enfoque na diversidade morfológica de colêmbolos e as consequências da exposição desses organismos a ambientes contaminados com chumbo.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo a caracterização de morfotipos da Classe Collembola em solo contaminado por chumbo.

2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado na área de uma recicladora de baterias desativada em decorrência dos elevados níveis de chumbo encontrados no solo. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho (Santos et al., 2013), de clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa) de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

Para a amostragem da Classe Collembola a área foi subdividida em oito glebas, sendo seis delas de influência direta da contaminação (A1 a A6) e duas utilizadas para referência, fora do perímetro de contaminação (A7 e A8). Para tal, utilizou-se armadilha de queda (*Pitfall-traps*) composta por recipientes plásticos com volume de 250 mL, de dimensões 8 cm de diâmetro e 6 cm de altura, preenchidas em 1/3 do seu volume com solução fixadora de formol 4%. Para evitar a entrada de água da chuva e o comprometimento da qualidade das amostras, foram utilizadas coberturas confeccionadas com pratos descartáveis fixados ao solo por palitos de madeira.

Foram instaladas quatro armadilhas em cada uma das oito glebas, totalizando 32 amostras, dispostas aleatoriamente na área de coleta, distanciadas em 10 metros entre si. As armadilhas permaneceram na área experimental durante seis dias, sendo então encaminhadas ao laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, onde o conteúdo lavado em água corrente em peneira de malha fina e, os organismos acondicionados em solução de álcool 70%. Após a triagem inicial, os organismos pertencentes à Classe Collembola foram classificados individualmente em morfotipos com auxílio de lupa binocular com aumento de até 40 vezes, de acordo com a metodologia de Carvalho (2012), adaptada de Parisi et al., (2005), segundo as características descritas na Tabela 1.

De acordo com esta metodologia, a cada combinação diferente de características, é atribuído um morfotipo, com um valor final de índice ecomorfológico (EMI) correspondente à soma dos valores das cinco características analisadas. O cálculo do EMI para cada morfotipo pode variar entre 0 (combinação 00000) e 20 (combinação 44444), permitindo separar os mesmos em grupos. Os colêmbolos com EMI entre 2 e 8, são considerados epiedáficos e identificados como Ep1, Ep2, etc. Os organismos com EMI entre 10 e 12 são classificados como semi-edáficos (SemiEd1, SemiEd2, etc.) e os com EMI entre 14 e 20, considerados edáficos (Ed1, Ed2, etc.).

Tabela 1. Valores atribuídos a características morfológicas de colêmbolos para estabelecimento dos morfotipos

Característica morfológica		Valor
Ocelos	Presentes	0
	Ausentes	4
Tamanho das antenas	Comprimento da antena > comprimento do corpo	0
	Comprimento da antena > 0,5 x comprimento do corpo	2
	Comprimento da antena < 0,5 x comprimento do corpo	4
Furca	Presente	0
	Presente, mas reduzida	2
	Ausentes	4
Pelos/escamas	Presentes	0
	Ausentes	4
Pigmentação	Presente e com padrões	0
	Presente, sem padrões	2
	Ausente	4

Fonte: Carvalho (2012).

Para a determinação da contaminação de chumbo e do pH do solo, foram coletadas com auxílio de trado holandês quatro amostras de solo em cada gleba, na profundidade de 0-5 cm. De cada amostra coletada, retirou-se uma alíquota de solo, as quais em conjunto compuseram uma amostra de solo por gleba analisada, totalizando oito amostras de solo. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, seguido da determinação do teor de chumbo, segundo (Lutz, 2008), e pH em água, segundo Tedesco et al., (1995).

Os dados coletados para os diferentes morfotipos foram analisados, objetivando informações referentes à riqueza dos grupos e a densidade integral de indivíduos. A abundância dos morfotipos foi alterada para frequência relativa, o que demonstra a colaboração de cada grupo dentro dos distintos tratamentos e observando a soma de organismos presentes nas quatro amostras coletadas em cada tratamento, foram obtidos os índices de diversidade de Shannon (H) e uniformidade de Pielou (J) (Odum; Barret, 2007).

Adicionalmente, os resultados referentes aos morfotipos foram analisados segundo análise de componentes principais (ACP) utilizando o software CANOCO versão 4.5 (Ter Braak; Smilauer, 2002). Os dados foram ainda submetidos à Análise de Similaridade (ANOSIM), para observação das diferenças na composição dos morfotipos encontrados. As análises descritas acima foram realizadas utilizando o software Primer 5.2.6© (2001).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da quantificação do teor de chumbo total nas oito glebas amostradas (Tabela 2), verificou-se que todas as amostras de solo coletadas dentro da área embargada (A1 a A6) apresentaram elevados níveis do metal, extrapolando o limite de 900 mg.Pb.kg⁻¹ permitido pela

legislação vigente para o setor industrial, segundo a Resolução CONAMA n° 420/2009 (Brasil, 2009) e CONAMA n° 460/2013 (Brasil, 2013), enquanto as glebas A7 e A8, tomadas como áreas de referência, apresentaram valores inferiores ao limite permitido pela legislação.

Tabela 2. Quantificação de pH (H₂O), teor de chumbo (mg.Pb.kg⁻¹), frequência relativa de morfotipos de colêmbolos (%), abundância e riqueza total, índice de diversidade de Shannon (H') e uniformidade de Pielou (J') em áreas contaminadas por chumbo.

	Análise química do solo							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
pH (H ₂ O)	4,00	5,42	5,28	5,09	4,85	5,29	5,24	5,35
Teor de chumbo (mg.Pb.kg ⁻¹)	19.525,46	39.935,39	9.801,96	2.073,38	3.281,98	2.345,58	483,38	36,84
	Frequência relativa de morfotipos							
Ep1	2,39	0,97	0	0,4	0	0	2,41	2,99
Ep2	5,8	1,13	8,33	0,94	0	0,03	0	0,5
Ep3	3,41	0,49	0	0,81	0	0	3,61	8,96
Ep4	33,79	24,6	29,17	14,65	0,77	1,23	16,06	24,38
Ep5	0	1,13	0	0	0	0,05	5,22	2,49
Ep6	0	0	0	0	0	0	3,21	0
Ep7	2,73	0,32	0	0,13	0	0	0	0
Ep8	35,49	51,46	16,67	23,79	28,48	0,12	20,88	18,91
Ep9	0	0	0	27,28	3,83	0	1,61	0
Ep10	0	5,66	0	0	0	0	0	0
Ep11	0	3,4	0	13,84	1,53	0	34,94	1,99
Sub-Total	83,62	89,16	54,17	81,85	34,61	1,44	87,95	60,2
SemiEd1	2,73	0,65	4,17	0,67	0,15	2,85	0,8	29,35
Sub-Total	2,73	0,65	4,17	0,67	0,15	2,85	0,8	29,35
Ed1	6,14	7,61	33,33	1,21	0,15	94,01	3,21	3,98
Ed2	0	0,49	0	4,03	64,47	0	0	0
Ed3	7,51	2,1	8,33	12,23	0,61	1,7	8,03	6,47
Sub-Total	13,65	10,19	41,67	17,47	65,24	95,71	11,24	10,45
Abundância total	293	618	24	744	653	5780	249	201
Riqueza total	9	13	6	12	8	7	11	10
Shannon (H')	0,76	0,58	0,87	0,74	0,44	0,15	0,78	0,8
Pielou (J')	1,66	1,49	1,57	1,84	0,92	0,3	1,88	1,84

Fonte: Dados da pesquisa

Legenda: Ep: Epigeicos; SemiEd: Semi-edáficos; Ed: Edáficos

A classe Collembola foi observada nas oito glebas estudadas, sendo este um resultado esperado, pois são organismos bastante comuns e abundantes em todo o mundo (Oliveira Filho et al., 2016). Estudos avaliativos da influência de diferentes sistemas de usos de solo sobre a fauna

edáfica demonstram que a classe Collembola normalmente é uma das mais abundantes (Silva et al., 2016; Silva et al., 2015; Cousseau et al., 2020), além de responder muito bem aos efeitos da contaminação do solo por diferentes substâncias como defensivos agrícolas e fármacos veterinários (Zortéa et al., 2015).

Ao total foram coletados 8.560 colêmbolos classificados em 15 morfotipos, dos quais 24,1% são epiedáficos (2.056 indivíduos), 2,86%, semi-edáficos (245 indivíduos) e 73,01%, edáficos (6.250 indivíduos), verificando-se que mesmo nas glebas com elevado teor de chumbo como A1 (19.525,46 mg.Pb.kg⁻¹) e A2 (39.935,39 mg.Pb.kg⁻¹) sua abundância (A1: 293 organismos; A2: 618 organismos) foi superior aquela observada para as áreas controle (A7: 249 organismos e A8: 201 organismos). Observa-se ainda que para A2, onde há maior concentração de chumbo, houve também maior riqueza, totalizando 13 morfotipos, sobressaindo-se em relação às áreas controle (Tabela 2).

Este resultado sugere que algumas espécies da classe Collembola podem não ser suscetíveis à presença de metais pesados, ou apresentar menor sensibilidade ao chumbo, não sendo observados efeitos negativos sobre sua abundância. Ao contrário, podem demonstrar aumento considerável quando expostas a estas condições como relatado por Antonioli et al., (2013), dependendo do metal pesado presente no solo. Desta forma, pondera-se que haja possível tolerância ou adaptação à poluição por algumas espécies ou, neste caso, morfotipos. Este resultado corrobora com os obtidos por Santorufo et al., (2012) e Cousseau et al., (2020) em que a comunidade de colêmbolos foi pouco afetada pela contaminação por metais pesados.

A maior frequência de colêmbolos epiedáfico ocorreu nas glebas A2 (89,16%), A7 (87,95%) e A1 (83,62%), sendo o morfotipo Ep8 mais representativo em A2 (51,46%) e A1 (35,49), enquanto na gleba A7 (34,94%) o morfotipo com maior frequência foi o Ep11. Apesar dos ambientes A1 (19.525,46 mg.Pb.kg⁻¹) e A2 (39.935,39 mg.Pb.kg⁻¹) apresentarem elevados teores de chumbo, houve predominância de morfotipos epiedáficos assim como em A7 (483,38 mg.Pb.kg⁻¹). Os colêmbolos epiedáficos são aqueles que vivem na superfície do solo, possuem maior mobilidade e também maior atividade metabólica (Ngosong, 2011; Silva et al., 2016), o que pode esclarecer sua elevada frequência em A7, a qual apresenta cobertura vegetal densa, proporcionando ambiente favorável, já que estes são considerados decompositores e sua principal fonte de alimento são microrganismos e fungos, os quais estão associados à matéria orgânica do solo (Rafael et al., 2012).

Contudo, em termos de composição vegetal, A1 e A2 apresentam semelhanças entre si, pois possuem vegetação rasteira, constituída principalmente por gramíneas baixas, bem distribuídas e espaçadas entre si, além de apresentar solo com maior compactação. Logo, a matéria orgânica não parece ser o fator abiótico determinante para a maior abundância de colêmbolos epiedáficos, a qual pode ser explicada pelo pH do solo (Tabela 2). Para alguns autores, solos contaminados estão, frequentemente, relacionados à redução no pH (Bengtsson et al., 1986) e as condições ácidas criadas são favoráveis a vários morfotipos, principalmente os edáficos (Santos et al., 2018). Em seu estudo, Ponge (2000), relata a existência de colêmbolos que necessitam de pH inferior a 5 sendo tolerantes à acidez do solo. Neste sentido (Tabela 2), é possível que o pH do solo, criando uma condição ácida, favoreceu o estabelecimento dos diferentes morfotipos estudados refletindo positivamente sob sua abundância, mesmo quando estes encontram-se em áreas como A1 e A2 que possuem elevados níveis de chumbo.

A frequência de indivíduos pertencentes ao morfotipo semi-edáfico foi menor em comparação à frequência dos morfotipos epiedáficos e edáficos, estando nas glebas A8 (29,35%), e A3 (4,17%) as maiores frequências. Já os morfotipos edáficos, apresentaram maior frequência nas glebas A6 (95,71%), A5 (65,24%) e A3 (41,67%), sendo sua menor frequência em A2 (10,19%). Dentro desse grupo, o morfotipo Ed1 obteve maior frequência em A6 (94,01%) e A3 (33,33%), já na gleba A5 houve maior frequência do morfotipo Ed2 (64,47%).

Em linhas gerais, poucos morfotipos apresentam forte associação com as áreas controle, estando a grande maioria associado às glebas contaminadas, contrapondo-se aos resultados esperados. Neste sentido, os resultados encontrados podem ser justificados com base no apresentado por Mukhtorova et al. (2019). Em seu estudo desenvolvido na República Tcheca, em solos contaminados por arsênio, cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco devido à atividade de mineração e fundição por longo período, sugere que a elevada abundância de determinados grupos em áreas contaminadas pode estar associada à capacidade de adaptação dos organismos a essas concentrações. Segundo os autores, é possível que os organismos desenvolvam mecanismos para evitar a captação ou acúmulo destes elementos, limitando sua exposição em relação às espécies que vivem em áreas menos contaminadas, ou ainda que a comunidade edáfica seja modificada devido à contaminação ambiental de longo prazo e apenas grupos com capacidade limitada de absorver elementos de risco são capazes de tolerar o elevado teor do metal presente no solo. Neste mesmo contexto, Barros et al., (2010), indicam que em condições físicas e químicas de solo adequadas para o desenvolvimento da fauna, é possível que alguns organismos sejam menos sensíveis ao estresse por metais pesados ou estejam mais aptos a desenvolver mecanismos de resistência à toxidez por esses poluentes.

O índice de diversidade de Shannon e Uniformidade de Pielou (Tabela 2) apresentaram similaridade para a maioria das áreas, entretanto, os menores índices de Shannon são observados nas glebas A6 (0,15), A5 (0,44) e A2 (0,58). A gleba A6 apresentou dominância do morfotipo Ed1, contribuindo para a reduzida uniformidade e elevada dominância observada neste local conforme demonstrado pelo índice de Pielou (0,30). Em A5 a baixa diversidade (0,44) foi ocasionada pela alta frequência relativa de Ed2 e Ep8, enquanto na gleba A2, área com o maior teor de chumbo e composição vegetal escassa, houve alta frequência do morfotipo Ep8 que contribuiu para a redução dos índices de diversidade e uniformidade.

Quando comparado as glebas A6 (2.345,58 mg.Pb.kg⁻¹) e A5 (3.281,98 mg.Pb.kg⁻¹), ambas apresentam particularidades em relação a sua paisagem. A gleba A5 influencia na composição paisagística da gleba A6, apresentando gramíneas que se estendem de uma para a outra, além de possuírem árvores bem desenvolvidas, assemelhando-se a uma pequena região de mata. Ponge et al., (2003), destacam que a composição de colêmbolos pode ser afetada pela intensificação do uso do solo e outros autores (Baretta et al., 2008; Paul et al., 2011) demonstram que locais de áreas florestais apresentam maior densidade e diversidade de colêmbolos.

Desta forma, acredita-se que os morfotipos não sofreram influência sobre sua população perante a concentração do chumbo nestes locais, devido principalmente a estes ambientes proporcionarem microclima favorável com maior umidade e disponibilidade de alimento, apresentando na maior parte dos casos cobertura do solo e menor oscilação de temperatura (Oliveira Filho; Baretta, 2016). Porém, observa-se, que, apesar de serem as áreas que se

assemelham a áreas florestadas, A5 e A6 apresentam baixa diversidade de colêmbolos, apesar da abundância destes.

A análise de componentes principais (ACP) (Figura 1), explicou 32,2% da variabilidade dos dados através da CP1 e 23,4% através da CP2, não ocorrendo separação clara dos grupos morfológicos conforme as glebas amostradas.

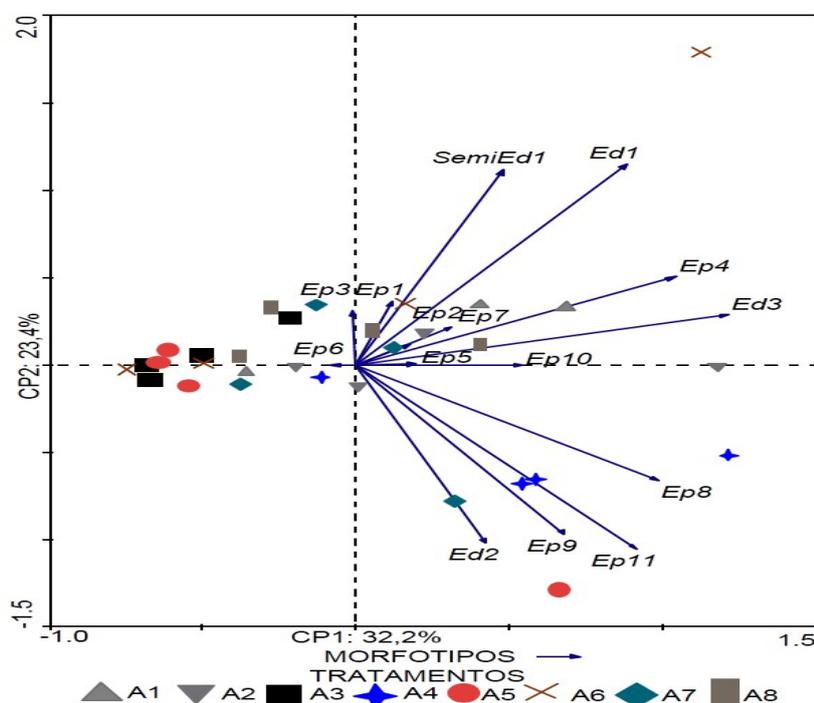


Figura 1. Relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), discriminando as amostras de colêmbolos, classificados em morfotipos, coletados nas oito glebas de estudo.

Assim como a ACP, a ANOSIM ($R: 0,084$; $p: 14,1\%$) não apontou dissimilaridade significativa entre as comunidades das glebas. Os resultados obtidos pelo teste de similaridade são de grande importância em estudos da fauna edáfica, pois permitem estabelecer diferenças entre as diferentes condições analisadas com base na abundância de grupos e, compreender melhor a dinâmica da fauna (Marafeli, 2016). Contudo, para que resultados mais precisos sejam alcançados, é necessário que outros estudos, envolvendo classificações taxonômicas mais aprofundadas sejam realizados nestas condições.

4 CONCLUSÃO

Houve maior concentração de organismos pertencentes ao grupo epiedáfico, com ênfase no morfotipo Ep8, que apresentou maior frequência em relação aos demais. A maior abundância foi observada na área A6 devido à alta disponibilidade de alimento e umidade, características que geram o habitat ideal para o desenvolvimento da Classe Collembola.

O índice de riqueza foi maior em A2 indicando uma relação entre morfotipos específicos com a tolerância ao metal pesado chumbo. Observou-se ainda menor índice de diversidade de Shannon na A6 devido à dominância do morfotipo Ed1 o que gerou baixos índices de uniformidade. Portanto, apesar do elevado nível de concentração no solo de chumbo a Classe Collembola, principalmente os morfotipos epiedáficos, mostra-se tolerante a estas condições.

5 AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro autor para condução desta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solo. Brasília- DF: Embrapa, 353p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ALVES, J. do C.; SOUZA, A. P. de.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JÚNIOR, U. A.; SILVA, G. B. da.; ARAÚJO, R. da C.; SANTOS D. (2008). Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(3): 1329-1336. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300040>.
- ANDRADE, M. G. de.; MELO, V. de F.; SOUZA, L. C. de P.; GABARDO, J.; REISSMANN, C. B. (2009). Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II-Formas e disponibilidade para plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33(6): 1889-1898. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600038>.
- ANTONIOLLI, Z. I.; REDIN, M.; SOUZA, E. D.; POCOJESKI E. (2013). Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. Ciência Rural, 43(6): 992-998. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000056>.
- BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. (2010). Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. Acta Zoologica Mexicana, Número Especial (2): 135-150.
- BARETTA, D.; FERREIRA, C. S.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. (2008). Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2693-2699. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700012>.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, C. J.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I. de.; ALVES, M. V. (2011). Fauna edáfica e qualidade de solo. IN: FILHO, O. K.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. Tópicos em Ciência do Solo (Cap. 7, p.119-170). Viçosa: Embrapa.
- BARROS, Y. J.; MELO, V. de F.; SAUTTER, K. D.; BYSCHLE, B.; OLIVEIRA, E. B. DE.; AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, L. C de P.; KUMMER, L. (2010). Indicadores de qualidade de solos de área de



- mineração e metalurgia de chumbo. II – Mesofauna e plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(4), 1413-1426. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400037>.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ORSO, R.; MAFRA, Á. L.; BARETTA D. (2014). A influência do Sistema de manejo do solo sobre a fauna edáfica e epígea na região oeste catarinense. Revista Ciência Agrônômica. 2014; 45(5): 880-887. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500003>.
- BENGTSSON, G.; GUNNARSSON, T.; RUNDGREN, S. (1986). Effects of metal pollution on the earthworm *Dendrobaena rubida* (Sav.) in acidified soils. Water Air Soil Pollution, 28:361-383.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009. Disponível <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 460, de 30 de dezembro de 2013. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>>.
- BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E. da.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. (2015). 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. (Eds.), Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. (Cap. 10, pp. 122-154).
- CARVALHO, F. C. (2012). Efeito de diferentes tipos de gestão em olivais nos microartrópodes de solo usando uma abordagem funcional. Dissertação (mestrado) - Universidade de Coimbra, Coimbra, PT, 68p.
- COUSSEAU, L.; TESSARO, D.; VARGAS, R. F.; SILVA, J. C. D. A.; KUBIAK, K. L.; ZARZYCKI, L. F. W. (2020). Levantamento de invertebrados epiedáficos em ambiente contaminado por chumbo. Research Society and Development, 9(3):1-21. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2738>.
- FERNANDES, J. D.; DANTAS, E. R. B.; BARBOSA, J. N.; BARBOSA, E. A. (2011). Estudo de impactos ambientais em solos: o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas, tipo chumbo-ácido. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 7(1):231-255.
- FERREIRA, A. S.; ROCHA, I. M. dos S.; BELLINI, B. C.; VASCONCELLOS, A. (2018). Effects of habitat heterogeneity on epiedaphic Collembola (Arthropoda: Hexapoda) in a semiarid ecosystem in Northeast Brazil. Zoologia. 35: e136553, <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e13653>.
- GONÇALVES JUNIOR, A. C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F. (2014). Heavy Metal Contamination in Brazilian Agricultural Soils due to Application of Fertilizers. IN: HERNADEZ-SORIANO, M. C. (Ed.). Environmental Risk Assessment of Soil Contamination (Cap. 4, p.105-135), Croacia: Intech Open. <http://dx.doi.org/10.5772/57268>.
- JADIA, C. D.; FULEKAR, M. H. (2009). Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. African Journal of Biotechnoloy, 8(6):921-928.

- KROLOW, D. da R.; KROLOW, I. R. C.; SANTOS, D. R. dos.; MORSELLI, T. B. G. A.; CALEGARI, A. (2017). Alteration in soil fauna due to soil management and crop rotation in a long-term experiment. *Revista Scientia Agrária*, 18(1): 50-63. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i1.49868>.
- LUTZ A. (2008). *Métodos Físico-químicos* 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020p.
- MACHADO, J. da S.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SANTOS, J. C. P.; PAULINO, A. T.; BARETTA, D. (2019). Morphological diversity of springtails (Hexapoda: Collembola) as soil quality bioindicators in land use systems. *Biota Neotropica*, 19(1): e20180618. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0618>.
- MARAFELI, P. P. (2016). Efeito do manejo da vegetação espontânea em cafezal sobre ácaros da mesofauna edáfica. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 102f.
- MEENA. V.; DOTANIYA. M. L.; SAHA, J. K.; HIRANMOY, D.; PATRA, A. K. (2020). Lead in Plants and the Environment, Radionuclides and Heavy Metals in the Environment. IN: GUPTA, D. K.; CHATTERJEE, S.; WALTHER, C. Impact of Lead Contamination on Agroecosystem of Human Health, (Cap. 4, p.67-82), Springer Nature Switzerland. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-21638-2_4.
- MELO, É. E. C. de.; NASCIMENTO, C. W. A. do.; ACCIOLY A. M. de A.; Santos, A. C. Q. (2008). Phytoextraction and fractionation of heavy metals in soil after multiple applications of natural chelants. *Scientia Agrícola*, 65(1): 61-68. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000100009>.
- MUKHTOROVA, D., HLAVA, J., SZÁKOVÁ, J., KUBÍK, S., VRABEC, V., TLUSTOŠ, P. (2019). Risk element accumulation in Coleoptera and Hymenoptera (Formicidae) living in an extremely contaminated area - a preliminary study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 1-12.
- NGOSONG, C.; RUESS, L., RICHNOW H. (2011). Tracking Collembola feeding strategies by the natural signal of fatty acids in an arable soil with different fertilizer regimes. *PedoBiologia*, 54(4):225–233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.02.004>.
- ODUM, E. P.; BARRET, G. W. (2007). *Fundamentos de ecologia*. São Paulo: Thomson Learning, 632p.
- OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D. (2016). Por que devemos nos importar com os colêmbolos edáficos?. *Revista Scientia Agraria*, 17(2):21-40.
- ORTIZ, D. C.; SANTOS, M. A. B.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; POMPEO, P. N.; NIEMEYER, J. C.; KLAUBERG FILHO, O.; BARETTA, C. R. D. M.; SAMPIETRO, J. A.; BARETTA, D. (2019). Diversity of springtails (Collembola) in agricultural and forest systems in Southern Santa Catarina. *Biota Neotropica*, 19(3): 1-9. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0720>.
- PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C.; MOZZANICA, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 105(1-2): 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>.

- PAUL, D.; NONGMEITHEM, A.; JHA, L. K. (2011). Collembolan density and diversity in a forest and an agroecosystem. *Open Journal of Soil Science*. 1(2):64-60, <https://doi.org/10.4236/ojss.2011.12008>.
- PEREIRA, J. de M.; BARETTA, D.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. (2020). Fauna edáfica e suas relações com atributos químicos, físicos e microbiológicos em Floresta de Araucária. *Ciência Florestal*, 30(1): 242-257. <https://doi.org/10.5902/1980509831377>.
- PONGE, J. F. (2000). Acidophilic Collembola: living fossils? *Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University*, 29(2):65-74.
- PONGE, J. F.; GILLET, S.; DUB, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J. P.; LAVELLE, P. (2003). Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6):813-826. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00108-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00108-1).
- Primer-e LTD (2001). Primer 5 for Windows. Version 5.2.6. Copyright©.
- RAFAEL, J. A.; MELO, G. A.; CARVALHO, C. J.; CASARI, A. S.; CONSTANTINO, R. (2012). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos, 810 p.
- ROSA, M. G. da.; BRESCOVIT, A. D.; BARETTA, C. R. D. M.; SANTOS, J. C. P.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA D. (2019). Diversity of soil spiders in land use and management systems in Santa Catarina, Brazil. *Biota Neotropica*, 19(2): 1-10. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0619>.
- SANTORUFO, L.; VAN GESTEL, C. A. M.; ROCCO, A.; MAISTO, G. (2012). Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution*, 161, 57-63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.09.042>.
- SANTOS, M. A. B. dos S. (2017). *Diversidade morfológica de Collembola em sistemas de uso do solo no leste de Santa Catarina. Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC. 105p.*
- SANTOS, M. A. B.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; POMPEO, P. N.; ORTIZ, D. C.; MAFRA, Á. L.; KLAUBERG FILHO, O.; BARETTA, D. (2018). Morphological diversity of springtails in land use systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42: e0170277, <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170277>.
- SILVA, R. A.; AGUIAR, A. das C. F.; REBÊLO, J. M. M.; SILVA, Ê. F. de F.; SILVA, G. F. da.; SIQUEIRA, G. M. (2019). Diversidade da fauna edáfica em diferentes sistemas de ocupação do solo. *Revista Caatinga*, 32(3): 647-657. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n309rc>.
- SILVA, P. M. da.; BOLGER, T.; DIRILGEN, T. SOUS, J. P. (2016). Traits of collembolan life-form indicate land use types and soil properties across and European transect. *Applied Soil Ecology*, 97:69-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.018>
- SILVA, D. M.; JACQUES, R. J. S.; SILVA D. A. A.; SANTANA, N. A.; VOGELMANN, E.; ECKHARDT, D. P., ANTONIOLLI, Z. I. (2016). Effects of pig slurry application on the diversity and activity of soil biota in pasture areas. *Ciência Rural*, 46(10): 1756-1763. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141869>.



- SILVA, R. F da; SCHEID, D. L.; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G. M.; KUSS, C. C.; LAMEGO, F. P. (2012). Influência da aplicação de herbicidas pré-emergentes na fauna do solo em sistema convencional de plantio de cana-de-açúcar. *Biotemas*, 25(3): 227-238. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n3p227>.
- SILVA, D. A. A.; SILVA, D. M.; JACQUES, R. J. S.; ANTONIOLLI, Z. I. (2015). Bioindicadores de qualidade edáfica em diferentes usos do solo. *Enciclopédia Biosfera*, 11(22): 3728-3736. <https://doi.org/10.18677/Enciclopedia Biosfera 2015 260>.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. (1995). *Análises de Solo, Plantas e Outros Materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p.
- TER BRAAK, C. J.; SMILAUER, P. (2002). *CANOCO reference manual and user's guide to Cabici for Windows: software for canonical community ordination (version 4.5)*. New York: Microcomputer Power, 500 p.
- ZORTÉA, T.; BARETTA, D.; SEGAT, J. C.; MACCARI, A. P.; BARETTA, C. R. D. M.; SILVA, A. S. (2015). Comportamento de fuga de colêmbolos expostos a solos contaminados com cipermetrina. *Revista Scientia Agraria*, 4(16): 49-58. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v16i4.47842>.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Cousseau, L., Tessaro, D., Vargas, R. F., Kubiak, K. L., Zarzycki, L. F. W., & Silva, J. C. da. (2022). DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DA CLASSE COLLEMBOLA EM AMBIENTE CONTAMINADO POR CHUMBO. *HOLOS*, 3. Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/10330>

SOBRE OS AUTORES:

L.COUSSEAU

Bióloga. E-mail: lauracousseau@hotmail.com

ORCID-ID: <http://orcid.org/0000-0002-6079-5269>

D. TESSARO

Professora Adjunta - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Dois Vizinhos. E-mail: dtessaro@utfpr.edu.br

ORCID-ID: <http://orcid.org/0000-0002-5753-1334>

R.F.VARGAS

Engenheira Agrônoma - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Dois Vizinhos. E-mail: regianefranco@utfpr.edu.br

ORCID-ID: <http://orcid.org/0000-0001-8656-8825>

K.L.KUBIAK

Graduanda em Agronomia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Dois Vizinhos. E-mail: ketrin_kubiak@hotmail.com

ORCID-ID: <http://orcid.org/0000-0003-1421-0132>



L.F.W.ZARZYCKI

Graduando em Agronomia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Dois Vizinhos.

E-mail: felipewille5@gmail.com

ORCID-ID: <http://orcid.org/0000-0002-6561-2871>

J.C. SILVA

Mestre em Ciências Agrárias - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Dois Vizinhos.

E-mail: jessika.camile5@gmail.com

ORCID-ID: <http://orcid.org/0000-0001-7935-2305>

Editora responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento
Avaliadores Ad Hoc: Francisco José Carvalho Moreira e Juliana Roriz Aarestrup



Recebido: 4 de junho de 2020
Aceito: 29 de novembro de 2021
Publicado: 22 de abril de 2022