ATRIBUTOS QUÍMICOS E MACROFAUNA EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO

Lívia Massaro Frezarin Barboza[1], João Pedro Corrêa Britto Sebastião[2], Antonio José Radi[3], Alexandre Moraes Cardoso[3].

[1]IFSP - Barretos. livia.massaro@aluno.ifsp.edu.br.

[2]IFSP - Barretos. Estudante Agronomia.

[3]IFSP – Barretos. Docentes Agronomia.

Palavras-chave: Ecossistema, Fertilidade, Bioindicador, Qualidade do Solo.

Introdução

Os solos são fundamentais para a manutenção da vida, fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais, como a produção de alimentos e a regulação de nutrientes. Estima-se que cerca de 95% dos alimentos globais dependam diretamente do solo (Gomes *et al.*, 2019). Além disso, armazenam três vezes mais carbono do que a atmosfera e são importantes reservatórios de patógenos e genes de resistência a antibióticos (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2025).

Entretanto, trata-se de um recurso não renovável: a formação de apenas 1 cm de solo pode levar milhares de anos, especialmente em ecossistemas áridos ou frios (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2025). A FAO estima que 30% dos solos do mundo estão degradados, e perdas anuais de culturas por erosão podem chegar a 10% até 2050 (Dias, 2016).

No Brasil, o Cerrado concentra 70% da produção agrícola, mas sofre forte degradação, com 140 milhões de hectares de terras comprometidas (Santos, 2016). Essa deterioração afeta não apenas os aspectos químicos, mas também os físicos e biológicos do solo, como a fauna edáfica, importante na decomposição e ciclagem de nutrientes (Lavelle *et al.*, 1993).

A macrofauna do solo, composta por organismos de maior mobilidade como minhocas, térmitas e formigas, é reconhecida como bioindicadora da qualidade edáfica devido à sua sensibilidade ao manejo e às condições ambientais (Baretta; Brown; Cardoso, 2010). Alterações no uso da terra podem modificar a abundância e diversidade desses organismos (Rosa *et al.*, 2015).

Objetivos

Avaliar a abundância, riqueza e diversidade da macrofauna edáfica em diferentes ambientes de uso do solo.

Correlacionar índices de abundância, riqueza e diversidade da macrofauna edáfica com atributos químicos do solo.

Investigar a interação entre aspectos bióticos e abióticos do solo sob diferentes sistemas de uso.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no Instituto Federal de São Paulo – Campus Barretos, em cinco áreas representando distintos níveis de interferência antrópica. As áreas incluem: uma floresta secundária (MATA), três plantações de frutíferas que variam em seu manejo de adubação e controle de invasoras (FRUT1, FRUT2, FRUT3), e uma área de gramínea forrageira (FORR) manejada apenas por roçagem. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LV21), de textura média e baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 2018). Todas as áreas, com exceção da mata, receberam calagem em 2023 (3 t ha^{-1} de calcário magnesiano).

A coleta da macrofauna seguiu a metodologia TSBF (Anderson; Ingram, 1993), utilizando dois métodos: (i) armadilhas tipo pitfall, para captura de artrópodes móveis, e (ii) monólitos de solo (10 cm de largura x 20 cm de comprimento x 25 cm de profundidade), para organismos menos móveis. Ao todo, foram instalados 25 armadilhas e coletados 25 monólitos (5 por área), com posterior triagem em laboratório.

As amostras foram armazenadas em álcool 70% e identificadas por lupa estereoscópica, com base em chaves

taxonômicas (Fujihara *et al.*, 2011). Paralelamente, coletaram-se amostras de solo (0–20 cm) para análises químicas (pH, Al^{3+}, acidez potencial, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} e P).

O delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (áreas) e cinco repetições. Foram calculados índices de diversidade taxonômica, e os dados da macrofauna edáfica e das análises químicas do solo foram submetidos à Análise de Componentes Principais e à correlação de Spearman. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2025).

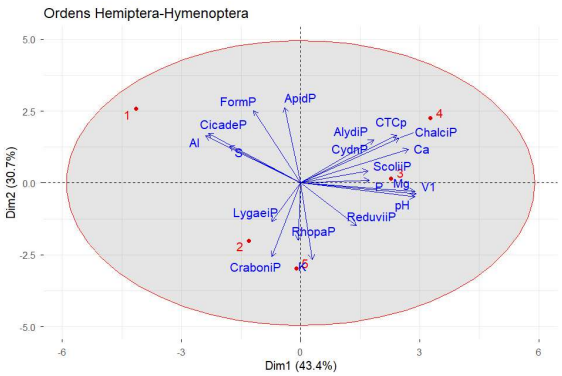
Resultados e Discussão

A análise integrada (PCA e matriz de correlação) da ordem Hemiptera (Figuras 1 e 2) demonstrou que a família Cicadellidae possui forte associação com o alumínio trocável (Al^{3+}) e o enxofre (S), além do ambiente de mata secundária. Essa relação corrobora o fato de que o grupo prospera em solos de baixa fertilidade, alta acidez e presença de alumínio tóxico, condições típicas de Latossolos distróficos sob vegetação natural, conforme observado por Brown *et al.* (2024), que destacam a alta plasticidade fisiológica dos Hemiptera. Essa tolerância à condições distróficas e baixo pH é também corroborada por Leite *et al.* (2016).

Em contraste, nos ambientes agrícolas, as variáveis de fertilidade (pH, Ca, Mg, CTC e P) apresentaram correlações positivas, refletindo a influência direta da calagem e adubação. Nesses locais, famílias como Alydidae, Cydnidae e Reduviidae associaram-se à maior fertilidade, sugerindo preferência por solos quimicamente corrigidos e biologicamente mais ativos, o que está ligado à redução do alumínio trocável e ao aumento da disponibilidade de nutrientes (Vasconcellos *et al.*, 2013).

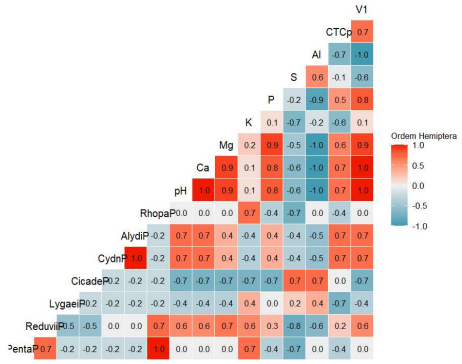
Contudo, o manejo intensivo nessas áreas reduz a heterogeneidade vegetal, limitando a diversidade da fauna (Embrapa, 2018). Assim, os Hemiptera destacam-se como indicadores de solos ácidos e menos férteis (Cicadellidae) e refletem o impacto do manejo (Alydidae, Cydnidae e Reduviidae), confirmando a plasticidade ecológica do grupo e seu potencial como bioindicador da qualidade edáfica (Vasconcellos *et al.*, 2013).

Figura 1 – Análise de Componentes Principais.



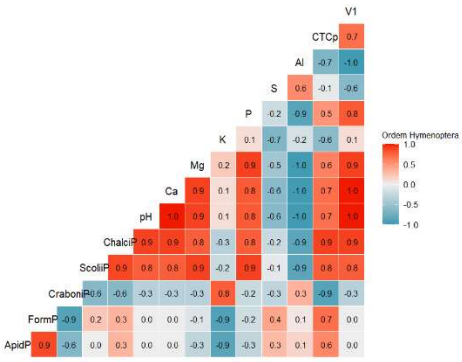
Fonte: Autora

Figura 2 – Matriz de Correlação Hemiptera.



Fonte: Autora

Figura 3 – Matriz de Correlação Hymenoptera.



Fonte: Autora

A análise integrada da ordem Hymenoptera (Figuras 1 e 3) em pomares de

banana e goiaba revelou forte associação entre famílias como Apidae, Chalcididae, Scoliidae e Crabronidae e atributos relacionados à fertilidade química do solo (pH, Ca, Mg, P e CTC). Esse agrupamento indica um efeito direto das práticas de manejo (calagem e adubação) sobre a macrofauna edáfica, em conformidade com estudos que demonstram uma relação positiva entre aumento da fertilidade e maior diversidade/biomassa em sistemas tropicais manejados (Brown *et al.*, 2024).

A correlação negativa com Al^{3+} e S reforça a sensibilidade dos Hymenoptera à acidez, uma vez que a elevação do pH pela calagem reduz a toxicidade do alumínio e favorece o estabelecimento de polinizadores e parasitoides (Almeida *et al.*, 2020; Batista *et al.*, 2023; Menta; Remelli, 2020). As famílias Chalcididae e Scoliidae (parasitoides) correlacionaram-se fortemente com P, CTC e pH, sustentando a hipótese de que ambientes mais férteis favorecem a abundância de hospedeiros (Nováková; Holuša; Horák, 2016).

Já as formigas foram registradas em todos os ambientes, evidenciando sua ampla distribuição e plasticidade ecológica e reforçando seu valor como bioindicadores (Rosa *et al.*, 2015). Formicidae está entre os grupos mais abundantes, exercendo papel ativo na modificação do solo e sendo sensível a gradientes químicos, como a acidez (Batista *et al.*, 2023; Almeida *et al.*, 2020). Em suma, o gradiente químico "fertilidade *versus* acidez" é um dos principais fatores na estruturação das comunidades de Hymenoptera, demonstrando que as práticas de manejo podem remodelar a fauna edáfica, favorecendo grupos funcionais que prestam serviços ecossistêmicos essenciais (Brown *et al.*, 2024; Almeida *et al.*, 2020).

Conclusões

Os resultados evidenciam que o gradiente químico entre "fertilidade versus acidez" é um dos principais fatores na estruturação das comunidades da macrofauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo.

As análises demonstraram que o grupo Hemiptera atua como bioindicador da qualidade edáfica, exibindo alta plasticidade fisiológica. A família Cicadellidae apresentou forte associação com o alumínio trocável (Al^{3+}) e o enxofre (S), e com o ambiente de mata secundária, corroborando sua prosperidade em solos de baixa fertilidade e alta acidez. Em contraste, em ambientes agrícolas, as famílias Alydidae, Cydnidae e Reduviidae associaram-se a variáveis de fertilidade (pH, Ca, Mg, CTC e P), sugerindo preferência por solos quimicamente corrigidos e biologicamente mais ativos.

De forma semelhante, a ordem Hymenoptera revelou forte associação entre famílias como Apidae, Chalcididae, Scoliidae e Crabronidae e atributos de fertilidade química do solo (pH, Ca, Mg, P e CTC) em pomares de banana e goiaba, indicando um efeito direto das práticas de manejo (calagem e adubação). A correlação negativa com e S reforça a sensibilidade desses grupos à acidez. As famílias Chalcididae e Scoliidae (parasitoides) correlacionaram-se com P, CTC e pH, sustentando a hipótese de que ambientes mais férteis favorecem a abundância de hospedeiros. As formigas (Formicidae) foram registradas em todos os ambientes, evidenciando sua ampla distribuição e valor como bioindicadores.

Em suma, as práticas de manejo do solo podem remodelar a fauna edáfica, favorecendo grupos funcionais que prestam serviços ecossistêmicos essenciais. Dessa forma, a macrofauna edáfica, particularmente os grupos Hemiptera e Hymenoptera, destaca-se como um indicador eficaz da qualidade do solo em resposta às alterações no uso e manejo da terra.

Agradecimentos

Agradeço ao PACTEC pelo apoio financeiro concedido ao projeto e ao IFSP-Barretos pela infraestrutura disponibilizada. Registro também minha gratidão a todos os meus familiares, amigos e professores que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, H. C. *et al*. **Propriedades químicas e fauna do solo influenciadas pela calagem em**

sistema de semeadura direta. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 50, n. 5, p. e20190854, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/sfb6X9dFDdrzy4SvPgMvfBd/?lang=pt. Acesso em: 9 out. 2025.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. ***Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods***. 2nd ed. CAB International, Wallingford, 1993. DOI: 10.2307/2261129.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. **Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia**. Acta Zoologica Mexicana, v. 26, p. 135-150, 2010. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372010000500010&script=sci_arttext. Acesso em: 01 set. 2025.

BATISTA, I. *et al*. **Soil macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 47, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/a/9s8LM57GX8N8wXt398GT3CH/. Acesso em: 9 out. 2025.

BROWN, G. G. *et al*. **Soil macrofauna communities in Brazilian land-use systems**. Scientific Data, London, v. 11, n. 72, 2024. DOI: https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e115000.

DELGADO-BAQUERIZO, M. *et al*. **Soil biodiversity and function under global change.** Nature Reviews Earth & Environment, v. 6, p. 1-17, 2025. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3003093.

DIAS, C. **Estudo revela que 30% dos solos do mundo estão degradados.** EMBRAPA, 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14343883/estudo-revela-que-30-dos-solos-do-mundo-estao-degradados. Acesso em: 30 jan. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Uso de herbicidas no manejo de adubos verdes reduz macrofauna do solo.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/39754133/uso-de-herbicidas-no-manejo-de-adubos-verdes-reduz-macrofauna-do-solo. Acesso em: 22 set. 2025.

FUJIHARA, R. T. *et al*. **Insetos de Importância Econômica: Guia Ilustrado para Identificação de Famílias**. Botucatu: FEPAF, 2016. 391 p. ISBN 978-85-98187-32-7.

GOMES, L. *et al*. **Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: Increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity**. Land, v. 8, n. 1, p. 12, 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/391598. Acesso em: 18 set. 2025.

LAVELLE, P. *et al*. **Hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics.** Biotropica, v. 25, p. 130-150, 1993. Disponível em: https://catalogue.univ-paris13.fr/discovery/fulldisplay?context=PC&vid=33USPC_BUP13:BUP13&tab=Everything&docid=cdi_proquest_miscellaneous_16647637. Acesso em: 26 set. 2025.

LEITE, G. L. D. *et a*l. **Diversity of Hemiptera (Arthropoda: Insecta) and Their Natural Enemies on Caryocar brasiliense (Malpighiales: Caryocarace ae) Trees in the Brazilian Cerrado**. Florida Entomologist, v.99, n.2, p.239–247, 2016. Disponível em: https://journals.flvc.org/flaent/article/view/84601. Acesso em: 05 out. 2025.

MENTA, C.; REMELLI, S. **Soil health and arthropods: from complex system to worthwhile investigation.** Insects, v. 11, n. 1, p. 54, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-4450/11/1/54. Acesso em: 08 out. 2025.

NOVÁKOVÁ, P.; HOLUŠA, J.; HORÁK, J. **The role of geography and host abundance in the distribution of parasitoids of an alien pest.** PeerJ, v. 4, p. e1592, 18 jan. 2016. Disponível em: https://peerj.com/articles/1592/. Acesso em: 22 set. 2025.

ROSA, M. G. *et al*. **Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 1544-1553, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150033.

SANTOS, E. **Programa fará mapeamento completo dos solos brasileiros.** EMBRAPA, 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17550684/programa-fara-mapeamento-completo-dos-solos-brasileiros. Acesso em: 30 jan. 2025.

VASCONCELLOS, R. L. F. *et al.* **Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages.** *European Journal of Soil Biology*, v. 58, p. 105-112, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.07.001.