

Impacto do manejo da cana-de-açúcar com controle químico e biológico sobre a fauna epígea

Impact of sugarcane management with chemical and biological control on epigeal fauna

Eliane Fialho Santos¹, Sandra Santana de Lima², Cyndi dos Santos Ferreira³, Marcelo Soares dos Santos⁴, Kellen Lagares Ferreira Silva⁵

RESUMO: A cana-de-açúcar é considerada uma das principais atividades que se destaca no Brasil, no segmento sucroenergético. Contudo, o cultivo da cana-de-açúcar também se destaca como consumidor de agrotóxicos, prática muito difundida para combater pragas, eliminar plantas daninhas e doenças identificadas na produção. Porém a utilização provoca desequilíbrio ambiental, por afetar os organismos não alvo solo que são importantes nos serviços ambientais no ecossistema solo. O estudo teve como objetivo avaliar a comunidade da fauna epígea como bioindicadora de qualidade do solo, em áreas com cultivo de cana-de-açúcar com controle químico e controle biológico e mata nativa. A pesquisa foi realizada na usina Pagrisa, localizada no município de Ulianópolis, PA. Foram selecionadas duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar com manejos distintos, controle biológico e controle químico, além de uma área de mata, como referência. Foram observados, que na primeira coleta referente ao período seco, as maiores frequências foram dos grupos: Formicidae, Opilionida, Coleoptera e Chilopoda. Na segunda coleta, período chuvoso, o grupo Formicidae foi o mais frequente, porém foram observados os grupos Coleoptera, larva Coleoptera, Opilionida e Orthoptera, em baixa frequência. Em ambos os períodos de coleta foram registrados maiores frequência do grupo Formicidae nas áreas de manejos de cana-de-açúcar com controles biológico e químico. A análise da fauna epígea nas áreas de cana-de-açúcar evidenciaram por meio da riqueza e índices ecológicos que o manejo com controle biológico, no período seco, forneceu boas condições para o desenvolvimento de grupos da fauna. O manejo com agrotóxicos promoveu acentuada diminuição dos grupos da fauna da epígea.

Palavras-chave: Agrotóxico; Fauna do solo; Formicidae; Monocultivo.

ABSTRACT: Sugarcane is considered to be one of the main activities in Brazil in the sugar-energy sector. However, sugarcane cultivation also stands out as a consumer of pesticides, a widespread practice to combat pests, eliminate weeds and diseases identified in production. However, their use causes environmental imbalance by affecting non-target soil organisms that are important for environmental services in the soil ecosystem. The aim of this study was to evaluate the community of epigeal fauna as a bioindicator of soil quality in areas where sugarcane is cultivated with chemical control and biological control and native forest. The research was carried out at the Pagrisa mill, located in the municipality of Ulianópolis, PA. Two areas of sugar cane cultivation were selected with different managements, biological control and chemical control, as well as an area of woodland as a reference. It was observed that in the first collection during the dry season, the highest frequencies were of the following groups: Formicidae, Opilionida, Coleoptera and Chilopoda. In the second collection, during the rainy season, the Formicidae group was the most frequent, but the Coleoptera, Coleoptera larvae, Opilionida and Orthoptera groups were observed in low frequency. In both collection periods, a higher frequency of the Formicidae group was recorded in the sugarcane management areas with biological and chemical controls. The analysis of the epigeal fauna in the sugarcane areas showed through richness and ecological indices that management with biological control, in the dry season, provided good conditions for the development of fauna groups. Management with agrochemicals led to a marked decrease in epigeal fauna groups.

Keywords: Pesticide; Soil fauna; Formicidae; Monoculture.

Autor correspondente: Eliane Fialho Santos

E-mail: elliane_fs@hotmail.com

Recebido em: 20/10/2023

Aceito em: 21/02/2024

¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente na Universidade Federal do Tocantins-UFT, Palmas (TO), Brasil.

² Doutora em Agronomia - Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- UFRRJ. Pesquisadora PNPd/CAPES no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (PPGACS) na UFRRJ, Seropédica (RJ), Brasil.

³ Mestranda no Programa Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (PPGACS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- UFRRJ, Seropédica (RJ), Brasil.

⁴ Doutor em Genética e Biologia Molecular pela UFPA. Docente do curso de licenciatura em Ciências Naturais/Biologia na Universidade Federal do Maranhão-UFMA, Imperatriz (MA), Brasil.

⁵ Doutora em Botânica pela UFV. Docente do curso de Ciências Biológicas na Universidade Federal do Tocantins-UFT, Porto Nacional (TO). Coordenadora da Pós-Graduação em Ciências do Ambiente na Universidade Federal do Tocantins (PPGCIamb) na UFT, Palmas (TO), Brasil.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar originária do sudeste da Ásia é cultivada desde épocas remotas com a colonização portuguesa, sendo que a exploração canavieira começou pela espécie *Saccharum officinarum* (SANTOS; SANTOS; HENKES, 2020). A cana-de-açúcar tem sido considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol, além disso está presente na produção alimentícia, como açúcar e rapadura. Neste contexto, a cultura tornou-se e mantém-se como uma das principais *commodities* do país em termos de participação no produto interno bruto (PIB) em que foi obtido o valor de R\$ 156 bilhões em 2017, o segundo maior PIB do agronegócio brasileiro (PEREIRA; CAVICHIOLI, 2021; CONAB, 2020; MANTOVANI; SHIKIDA; GOMES, 2022).

Em virtude do aumento da demanda por açúcar e etanol combustível, a área de plantio da cana-de-açúcar continua se expandindo no Brasil, com frequente aumento em que obteve na safra 2021/2022 com 1,6% (UDOP, 2022) e safra 2023/2024 com 7% de produtividade, respectivamente (UDOP, 2023). Atualmente, o Brasil se encontra com 9.081,800 hectares de área plantada (SIDRA/IBGE, 2023). Áreas as quais, são necessárias à manutenção com agrotóxicos das plantas daninhas, pragas e doenças, pois estes são os principais problemas responsáveis por grande perda agrícola.

“Os cultivos de soja, milho e cana-de-açúcar são os que convergem 72% de todo o agrotóxico comercializado” (BOMBARDI, 2017, p. 33). A autora destaca que as três culturas são as maiores consumidoras de agrotóxicos. O cultivo de cana se destaca por maiores quantidades de utilização de agrotóxicos em etapas do monocultivo que se inicia no plantio até o controle de pragas e plantas daninhas. À medida que o Brasil se expande no segmento sucroenergético na área de principais produtores e exportadores de produtos agrícolas, se sobressai em uso de agrotóxicos (CAMPOS et al., 2021; IPEA, 2019).

A metodologia empregada é efetuada pelo controle químico por meio de herbicidas, inseticidas e fungicidas. Contudo, há alternativas para combater pragas na obtenção de reduzir o uso de produtos químicos, tendo a utilização do método controle biológico, que pode permitir e associar ao controle químico conhecido como Manejo Integrado de pragas (MIP) (SANTOS; SANTOS; HENKES, 2020). Neste sentido, há outra possibilidade e de acordo com Amorim et al. (2019), que citam adoção do sistema de taxa variável para aplicação de corretivos de solo e reposição de macronutrientes em que se usa a quantidade necessária de nutrientes que a cultura necessita. A tecnologia aliada à agricultura de precisão, faz com que seja viável alcançar recordes de produção com a utilização racional de insumos.

O setor sucroenergético mantém-se por escala de produção, em que se mensura a produtividade por hectares, os fatores de tecnologia empregadas na mobilização do solo e plantio de cana-de-açúcar são essenciais e contribuem na competitividade da cadeia produtiva (AMORIM et al., 2020). A cana-de-açúcar pode ser avaliada mediante custo de lavoura do solo, área reformada, custo de plantio, produtividade (ton/ha) e dentre outras que agreguem uma medição na busca de demonstrar resultado de competitividade perante o mercado.

Comumente, o controle biológico na cana tem sido realizado com a utilização de parasitoide encontrado no meio ambiente, como *Trichogramma galloi*, em que há liberação desse parasitoide de ovos conforme as áreas identificadas por infestação da praga presente no cultivo da cana, a *Diatraea saccharalis* (broca da cana) (SANTOS; SANTOS; HENKES, 2020). Embora o método de controle biológico seja eficiente, o controle químico é mais utilizado, e seus efeitos podem chegar a outros organismos não alvos, como alguns grupos da fauna do solo. A qualidade do solo pode ser mensurada com indicadores biológicos, como por exemplo, por meio da avaliação da fauna invertebrada do solo, que são importantes em processos essenciais para o biofuncionamento do solo e sustentação do bioma (LIMA et al., 2019). Indicador pode

ser definido como um índice ou uma medida final para avaliar a saúde de um sistema, seja ele econômico, físico ou biológico, que quantifica a magnitude do estresse, características do local, bem como a resposta ecológica a exposição (ANDRÉA, 2008; PRESTES & VINCENCI, 2019).

Assim, os bioindicadores, são componentes bióticos de um ecossistema utilizados como indicador da qualidade do ambiente. A fauna do solo é considerada por diversos autores como um bioindicador por sua sensibilidade, pode sinalizar antecipadamente a degradação ou a reabilitação do solo, variando de acordo com o manejo e uso do solo (BARETTA et al., 2011; GOÉS et al., 2021; LIMA et al., 2021). Os bioindicadores fornecem informações complementares, essenciais para a avaliação e análise dos riscos ecológicos nos ecossistemas (PRESTES & VINCENCI, 2019). Para corroborar em relação a importância dos organismos do solo e sua classificação de funcionalidade no solo, a biodiversidade do solo possibilita assegurar os fluxos de energia e resiliência dos sistemas, demonstrando os efeitos benéficos da preservação da diversidade biológica dos solos (VALÉRIO et al., 2022). Entre os organismos que compõem a fauna do solo, os artrópodes correspondem a 75% dos animais sobre a terra, sendo que destes 89% são insetos (SOUZA et al., 2018, p. 23), dos quais alguns grupos vivem na superfície do solo (serapilheira) sendo, portanto, denominados epígeos, termo comumente utilizado para designar os invertebrados da serapilheira. Dentre os grupos de organismos da fauna invertebrada, o grupo Formicidae está entre os mais importantes da fauna do solo, pois é responsável por funções ecológicas, como dispersão de sementes, estruturação física e química do solo, predação, decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, e podem ser relacionados com a combinação das condições ambientais favoráveis, recursos alimentares, microclima e abrigo (GUIMARÃES et al., 2021; LIMA et al., 2019). Para esses autores sua frequência pode contribuir na obtenção de respostas que estejam relacionadas às alterações ambientais, tendo o uso como sistema de bioindicador.

Diante da importância dos grupos que formam a comunidade da fauna epígea, pela contribuição em serviços do ecossistema, bem como por ser um bioindicador da qualidade ambiental, a caracterização desses organismos se faz relevante para indicar sobre a manutenção e equilíbrio ecológico do solo, assim como o impacto do manejo do solo adotado. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a comunidade da fauna epígea como bioindicadora de qualidade do solo em áreas com cultivo de cana-de-açúcar com controle químico e biológico na sucroenergética no município de Ulianópolis, PA.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Usina Pagrisa, localizada no município de Ulianópolis, Pará, a 3°41'58"S e 47°46'35"O e 129 m de altitude. A região é caracterizada pelo clima tropical Aw de acordo com Köppen, com temperatura média de 30° C, podendo haver variações de 22 até 38° C (LIMA; LIMA, 2019).

Foram selecionadas três áreas com diferentes usos do solo, que correspondem a mata nativa (área de referência, setor E), cana-de-açúcar com controle químico (setor F2, talhão 11) e cana-de-açúcar com controle biológico (setor I4, talhão). Foram realizadas duas coletas, sendo a primeira coleta no mês julho de 2022 (período seco) e a segunda em maio de 2023 (período chuvoso).

A fauna epígea foi coletada por armadilhas do tipo "Pitfall traps" de acordo com Aquino et al. (2006). Foram instaladas cinco armadilhas em cada área de estudo, e entre os pontos foi considerada a distância de 10 m. Para conservação dos organismos, foi adicionado aos recipientes uma solução de formaldeído a 4% (200 mL) para evitar perecimento dos organismos. Após a instalação, as armadilhas permaneceram nas áreas de estudo por sete dias. Posteriormente, foram retiradas e transportadas para o laboratório, sendo o conteúdo de cada recipiente submetido a um processo de lavagem, em que foi retirado excessos de resíduos, e o

material (organismos) acondicionado em frascos de plástico devidamente identificados contendo solução de álcool a 70%. Para a identificação e quantificação dos organismos foi utilizada uma lupa binocular, sendo a identificação realizada ao nível de grandes grupos taxonômicos de acordo com Pereira et al. (2018).

Para a análise de dados foi realizado cálculo de número de indivíduos armadilha ao dia (Ind. arm⁻¹. dia⁻¹), seguido pelo erro padrão. Foram calculados ainda Riqueza total, e os índices ecológicos de diversidade de Shannon ($H = -\sum p_i \cdot \log p_i$; em que $p_i = n_i/N$; n_i = densidade de cada grupo, $N = \sum$ da densidade de todos os grupos) e equitabilidade de Pielou: $e = H/\log R$; em que: R = riqueza total.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas áreas em que foram realizadas as coletas ocorreram alterações expressivas referente ao total de organismos capturados na primeira coleta, amostrados na estação seca, no mês de julho de 2022. Sendo registrada baixa abundância de indivíduos, assim como de grupos taxonômicos, especialmente nas duas áreas de cana-de-açúcar (Figura 1). Esse resultado, possivelmente está relacionado ao período de amostragem, bem como o fato de que a monocultura promove a simplificação do ambiente e consequente diminuição da diversidade de invertebrados do solo.

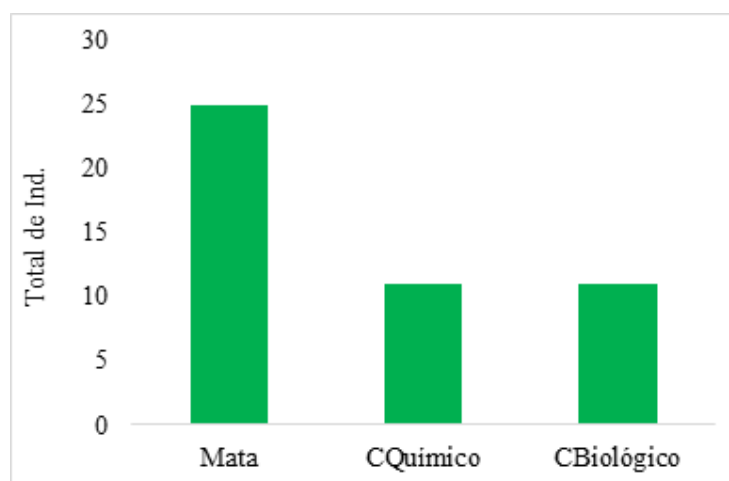


Figura 1. Número total de indivíduo capturados por armadilhas, referente a primeira coleta, realizada em julho de 2022 – Período seco

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: CQuímico- Controle Químico, CBiológico - Controle Biológico

No que se refere a frequência relativa dos invertebrados da fauna epígea nas áreas estudadas, a área de mata se destaca por apresentar maior quantidade de grupos taxonômicos, sendo as maiores frequências verificadas nos grupos Formicidae, Opilionida, Coleoptera e Chilopoda (Figura 2).

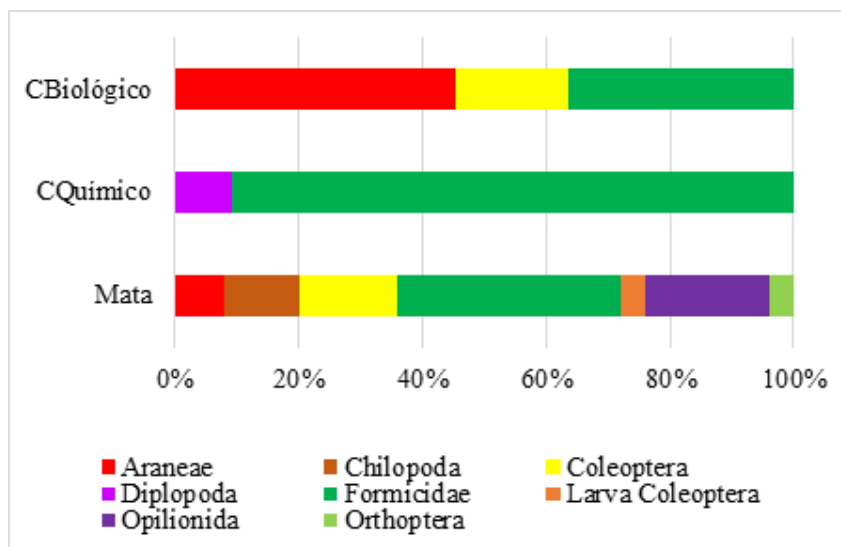


Figura 2. Frequência relativa da fauna do solo nas áreas de estudo no mês de julho de 2022 – Período seco

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: CQuímico- Controle Químico, CBIológico - Controle Biológico

A área de vegetação nativa comumente pode ser diversa por estar associado a presença da cobertura vegetal, uma vez que favorece o aumento da disponibilidade de energia no ambiente, além disso, promove a criação de novos habitats, sendo estes favoráveis a comunidade da fauna do solo (LIMA et al., 2017). Neste sentido, é importante incluir nas pesquisas áreas de vegetação nativa como referência de estado de equilíbrio, contudo vale ressaltar que, a área de referência pode apresentar valores menores, dependendo do bioma e época de coleta.

Foi observada a ocorrência do grupo Formicidae nas áreas de mata, controle biológico e controle químico (Figura 2). Esses invertebrados atuam no transporte de nutrientes, na dinâmica da matéria orgânica e são responsáveis por diversas funções ecológicas como, por exemplo, a dispersão de sementes de espécies de plantas (LIMA et al., 2019, p. 332), comumente são verificados em maior frequência, em detrimento a outros grupos da fauna epigea. Contudo, na área de mata, a frequência do grupo Formicidae, pode estar relacionada a disponibilidade de alimentos e condições do ambiente, visto que a quantidade de organismos seguiu um padrão de equilíbrio com os demais grupos observados na área de mata.

O grupo Formicidae pertencente à classe Insecta e é reconhecida como engenheiros do solo, que corresponde a bioturbação definido como modificações nas estruturas físicas do solo pela ocorrência de formação de estruturas biogênicas (túneis, poros, agregados e ninhos) (SILVA et al., 2021, p. 6). A alta abundância da ordem Formicidae, pode ser considerada de fundamental importância para a manutenção da qualidade do solo, sendo úteis como bioindicadores dessas condições (GÓES et al., 2021, p. 131).

Na área de cana-de-açúcar manejada com controle biológico foram observados os grupos Araneae, Formicidae e Coleoptera numa ordem decrescente. Espécies, famílias ou grupos são úteis na bioindicação de mudanças ambientais, tendo como exemplos de indicadores o grupo Formicidae e Coleoptera (BROWN et al., 2015; LIMA et al., 2019, p. 329). Ao estudarem áreas com cultivo de cana-de-açúcar, no município de Dianópolis, TO, Araújo et al. (2018, p. 402) verificaram a dominância do grupo Formicidae, seguidos das ordens Coleoptera, Diptera, Orthoptera, Isoptera e Araneae.

A maior frequência do grupo Araneae, pode ser considerado positivo, em virtude de ser um bom indicador no que se refere aos fatores físicos do ambiente, como mudanças no microclima, por apresentarem sensibilidade em áreas antrópica, tendo sua população reduzida com a intensidade do uso do solo e efeitos degradantes (GÓES et al., 2021, p. 132). Esses invertebrados que vivem no solo, são afetados por práticas

agrícolas (SAAD et al., 2017). De acordo Abreu et al. (2014) os indivíduos do grupo Araneae utilizam a serapilheira como abrigo e alimentos para o grupo e suas presas.

Na área de controle biológico do grupo Coleoptera foi também observado, porém em menor frequência. Os indivíduos que compõem esse grupo encontram-se distribuídos por todo o mundo nos mais diferentes ambientes, no ecossistema solo, em relação aos hábitos alimentares podem ser divididos em predadores, fitófagos e saprófagos (BARETTA et al., 2011). De acordo com Brown et al. (2015) Coleoptera é a maior ordem de insetos, e em virtude disso, utilizam uma variedade de fontes alimentares (carcaças, frutos em decomposição, fungos e serapilheira) características que os tornam importantes incorporadores de matéria orgânica ao solo, escavadores de galerias e dispersores de sementes. De acordo com esses autores, existem outras espécies de coleópteros que são predadoras de minhocas, diplópodes e formigas, foréticas de caramujos e generalistas.

Em relação a área de cana-de-açúcar manejada com controle químico, verificou-se a menor diversidade da fauna entre as áreas estudadas e foi observado uma expressiva frequência do grupo Formicidae, seguido do grupo Diplopoda, em menor frequência. Neste cenário, vale ressaltar que o grupo Formicidae é muito resistente e comumente pioneiro em colonizar áreas em condições para sua sobrevivência, sendo considerado como indicador de estresse (KITAMURA et al., 2008). Guimarães et al. (2021) estudaram vários cultivos e cana-de-açúcar, com controle químico, os quais foram aplicados o ingrediente ativo Fipronil, esses autores observaram a maior frequência do grupo Formicidae em relação às outras áreas de cultivo. Outros estudos realizados em áreas com cana-de-açúcar, também observaram grande quantidade de indivíduos desse grupo (ABREU et al., 2014; PASQUALIN et al., 2012; LIMA et al., 2020), porém sem informação do uso de agrotóxico.

No que se refere a ocorrência do grupo Diplopoda na área com controle químico (Figura 2), Baretta et al. (2011) descrevem os representantes deste grupo como lentos, alongados, com corpo em forma de cilíndrico ou achatado, segmentado, com dois pares de pernas por segmento ao longo do corpo, características que resultam na denominação Diplopoda. Ocorrem em todos os estratos do solo, desde estruturas superficiais (pedras e troncos de árvores caídas) até em camadas mais profundas da serrapilheira (INIESTA; BOUZAN; SOUZA, 2022, p.266). Os diplópodes são capazes de ingerir serapilheira parcialmente decomposta, transformando-a em matéria orgânica que enriquece o solo, podendo se alimentar desde resíduos pobres em nutrientes, porém podem ter preferências alimentares por resíduos que contenham menor relação entre o carbono com os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio (ANTUNES et al., 2019). Além disso, pode ser utilizada como um bioindicador por ser considerada como um organismo sensível a mudanças no ambiente (SAAD et al., 2017). Logo a presença desse grupo, indica que o manejo com controle químico, não afetou totalmente a população, entretanto vale considerar a baixa frequência em relação ao grupo Formicidae.

Na segunda coleta realizada no período chuvoso, foi observado um acréscimo da quantidade de indivíduos da fauna epígea, em relação a coleta realizada no período seco (Figura 3). Vale ressaltar que as variedades de canas pertencem a RB92-579 setor I4 foram plantados em 2015 encontra-se no oitavo corte e RB85-5536 setor F2 plantado em 2020 e encontra-se no terceiro corte, estes cortes referem-se às quantidades de colheitas realizadas e além de identificar a idade do cultivar.

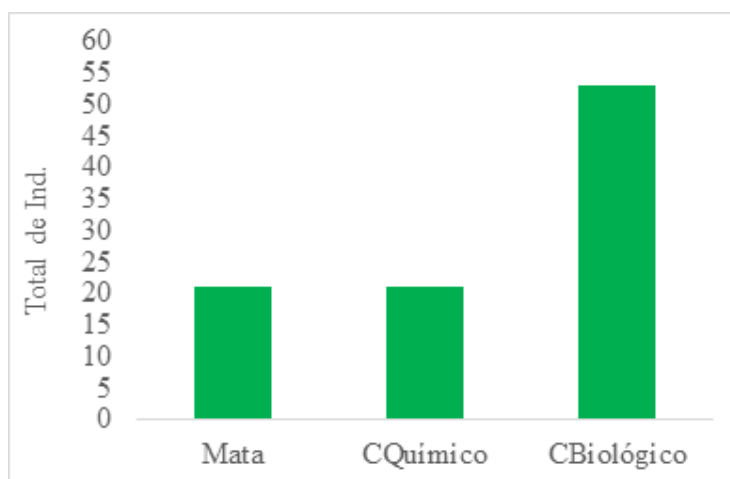


Figura 3. Total de indivíduos por armadilha referente a segunda coleta, realizada em maio de 2023 – Período chuvoso

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: CQuímico- Controle Químico, CBiológico - Controle Biológico

A área de controle biológico se destacou com a maior abundância, considerando a área de controle químico e ainda a área de mata, as quais foram verificados praticamente a metade dos indivíduos coletados na área de Controle biológico (Figura 3). No entanto é de extrema importância ressaltar, que em todas as áreas estudadas ocorreu expressiva frequência do grupo Formicidae em detrimento aos outros grupos (Figura 4).

A predominância do grupo Formicidae no período chuvoso, em todas as áreas, está possivelmente relacionada ao fato de possuírem maior mobilidade, adaptação às condições climáticas, além de se favorecem da manutenção da cobertura, abrigo e alimento (ABREU et al., 2014), considerando que o grupo também foi dominante no período seco, o aumento da população no período chuvoso corrobora a todos os autores anteriormente citados confirmando a resistência e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (ABREU et al., 2014; PASQUALIN et al., 2012).

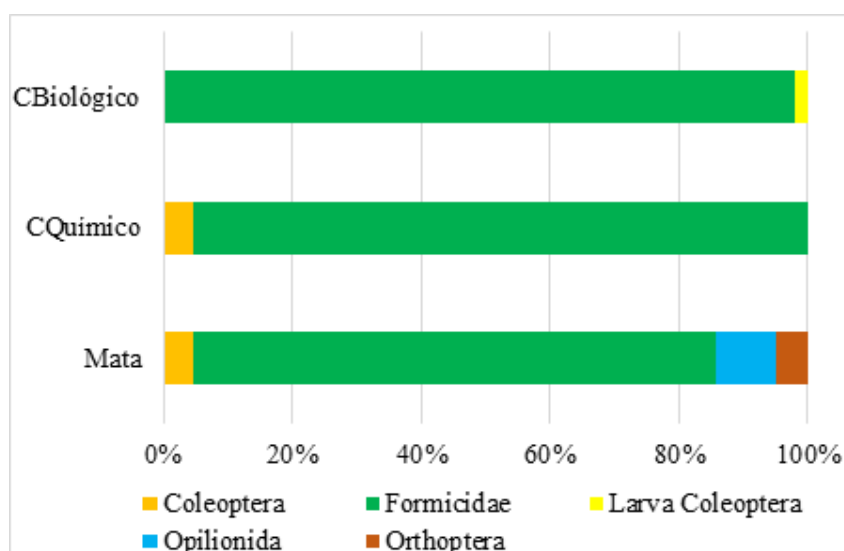


Figura 4. Frequência relativa da fauna do solo nas áreas de estudo realizada em maio de 2023 – Período chuvoso

Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda: CQuímico- Controle Químico, CBiológico - Controle Biológico

Nos resultados observados nas duas coletas, período seco e chuvoso, o grupo Formicidae teve maior frequência em quase todas as áreas amostradas (Figura 4). A presença de formigas está comumente associada a alterações no manejo do solo, especialmente quando é comparado área de mata com cana-de-açúcar (PASQUALIN et al., 2012, DINIZ et al., 2021; GUIMARÃES et al., 2021). Vale ressaltar, que as coletas foram realizadas no clímax de cada período, sobre o período de seca e posteriormente, no período de fortes chuvas no Estado. Logo a maior frequência do grupo Formicidae pode ser considerado um bioindicador de stress do ambiente, especialmente associado ao monocultivo de cana-de-açúcar.

No período chuvoso o grupo Coleoptera foi novamente na área de mata e ainda na área de controle químico, em ambas as áreas com baixa frequência. Na cultura da cana-de-açúcar o gênero *Migdolus* (Coleoptera: Cerambycidae) é considerado como importante praga que ataca os canaviais (BERNARDO; LIMA; SANTANA, 2022) o qual possui dez espécies, entretanto todas são consideradas raras, exceto *Migdolus fryanus* (CONCEIÇÃO; SILVA, 2011). Este inseto destrói o sistema radicular das plantas, particularmente durante o início do ciclo biológico (BERNARDO; LIMA; SANTANA, 2022). em que as formas larvais, aparecem após 20 a 22 dias da postura até dois anos, atacam a cana-de-açúcar no sistema radicular superficial e em profundidade, essas formas larvais também atacam os rizomas afetando com isso o desenvolvimento da planta (CONCEIÇÃO; SILVA, 2011).

Em ambos os períodos de coletas, os valores de indivíduos por armadilha ao dia, assim como os valores de riqueza média e total foram muito baixos especialmente nas áreas de cana-de-açúcar (Tabela 1). Na área de mata os maiores valores foram observados no período seco. Os resultados nas áreas de estudo mostram uma acentuada redução dos grupos taxonômicos, em relação ao período seco, resultados que diferem da literatura. Outros estudos que registraram maior frequência da fauna do solo no período chuvoso, seja em culturas agrícolas, como em áreas de mata em diferentes biomas (ABREU et al., 2014; BENAZZI et al., 2013; LIMA et al., 2020).

Tabela 1. Número de indivíduos por armadilha ao dia, riquezas e índices ecológicos de Shannon e Pielou nas áreas de mata, controle químico e controle biológico, nos dois períodos de coleta

Tratamentos	Período Seco						
	Ind.arm.dia	Erro Pa-drão	Riqueza Média	Riqueza Total	Shannon	Pielou	
Mata	0,71	0,20	1,88	7	2,45	0,87	
Controle Químico	0,31	0,16	0,50	2	0,44	0,44	
Controle Biológico	0,31	0,15	0,63	3	1,49	0,94	
	Período Chuvoso						
	Mata	0,60	0,45	0,75	4	0,99	0,49
	Controle Químico	0,38	0,21	0,75	2	0,28	0,28
Controle Biológico	0,95	0,72	0,50	2	0,07	0,07	

Fonte: Elaborado pelo autor

No que se refere ao índice de diversidade de Shannon referente ao período seco, a área de controle biológico foi observada o melhor valor entre as áreas de cultivo de cana-de-açúcar, com 1,49 de índice de Shannon. Lima et al. (2020), observaram valor inferior ao presente estudo, sendo 0,99 o valor desse índice, no manejo com cana crua no estado do Rio de Janeiro. Quanto à área com controle químico, o valor do índice de Shannon observado foi de 0,44 e este foi próximo ao encontrado por Benazzi et al. (2013), de 0,49 em cana. Esse valor baixo no presente estudo, seguramente está relacionado a dominância da Formicidae.

Os valores do índice de equitabilidade de Pielou, no período seco, foram de 0,44 e 0,94 nas áreas de cultivos (Tabela 1). Esses resultados superam os obtidos por Abreu et al. (2014), que observaram valores entre 0,34 e 0,55, no período seco realizados na cana-de-açúcar sem queima e quantidades consideráveis de tratamentos com palhada de cana-de-açúcar. No período chuvoso, do presente estudo, os valores de Pielou foram de 0,28 e 0,07, no entanto, esses foram menores que os observados no estudo de Abreu et al. (2014), que registraram valores de 0,66 e 0,78, no período chuvoso. Os valores baixos encontrados de equitabilidade de Pielou contribuem sobre a dominância da Formicidae, considerando sua maior mobilidade (BENZAZZI et al., 2013).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da fauna epígea nas áreas de cana-de-açúcar evidenciaram, por meio da riqueza e índices ecológicos, que o manejo com controle biológico, no período seco, forneceu boas condições para o desenvolvimento de grupos da fauna epígea.

O período chuvoso, em ambas as áreas de cana-de-açúcar, favoreceu o aumento da frequência do grupo Formicidae.

O manejo com agrotóxicos promoveu acentuada diminuição dos grupos da fauna da epígea.

São escassos trabalhos com fauna do solo em cultivo de cana-de-açúcar, especialmente, com duas avaliações, que possibilita o conhecimento da densidade e diversidade dos organismos da fauna em função da sazonalidade, o que dificultou a comparação.

É de grande relevância o monitoramento e o conhecimento dos danos resultantes do manejo com agrotóxicos na monocultura da cana-de-açúcar, assim como em outras culturas, para que sejam adotadas outras formas de manejo, considerando a importância dos organismos do solo para a manutenção da sua saúde.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. R. L.; LIMA, S. S.; OLIVEIRA, N. C. R.; LEITE, L. F. C. Fauna edáfica sob diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 409-416, 2014.

AMORIM, F. R. de.; PATINO, M. T. O.; ABREU, P. H. C. de.; SANTOS, D. F. L. Avaliação econômica e de risco dos sistemas de aplicação de fertilizantes na cultura de cana-de-açúcar: taxa fixa por média e taxa variável. *Custos e Agronegócio online*, v. 15, n. 2, 2019.

AMORIM, F. R. de.; PATINO, M. T. O.; ANDRADE, A. G. de. A Competitiveness Index of Soil Tillage and Planting Among Sugarcane Mills and Suppliers: The Benefits of Cost Reduction and High Production Strategies. *Sciedu Press, International Journal of Business Administration* v. 13, n. 2, 2022.

ANDRÉA, M. M. de. Bioindicadores ecotoxicológicos de agrotóxicos. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/Bioindicadores/index.htm. Acesso em: 29.03.2022.

ANTUNES, L. F. DE S.; SCORIZA, R. N.; SILVA, D. G.; CORREIA, M. E. F. Consumo de resíduos agrícolas e urbanos pelo diplópode *Trigoniulus corallinus*. *Nativa*, v.7, n. 2, 162-168. 2029 <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6192>

AQUINO, A. M. de; MENEZES, E. L. A. A.; QUEIROZ, J. M. Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (“pitfall-traps”). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006.

ARAÚJO, P. H. H.; MANHAES, C. M. C.; AZEVEDO, G. S.; MILHOMEN, A. E. N.; ALVES, T. S. Diversidade da macrofauna edáfica em diferentes cultivos agrícolas na região sudeste do Tocantins. *Nucleus*, v.15, n.1, 2018. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1990>

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos em ciência do solo*, v.7, p. 119-170, 2011.

BENAZZI, E. dos S.; BIANCHI, M. de O.; CORREIA, M. E. F.; LIMA, E.; ZONTA, E. Impactos dos métodos de colheita da cana-de-açúcar sobre a macrofauna do solo em área de produção no Espírito Santo- Brasil. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3425-3442, 2013.

BERNARDO, V. B.; LIMA, M. R. F.; SANTANA, A. E. G. Synthesis of N-(2 S)-methylbutanoyl-2-methylbutylamide (Frianol), sex pheromone of sugarcane rhizome borer *Migdolus fryanus*, from renewable sources. *Results in Chemistry*, v.4, 2022, 100368. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100368>

BOMBARDI, Larissa Mies. Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia. São Paulo: FFLCH - USP, 2017. 296 p.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 121-154.

CAMPOS, A. L.; IGNÁCIO, A. R. A.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; LÁZARO, W. L. O avanço do agrotóxico no Brasil e seus impactos na saúde e no ambiente. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n1e007934>

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana, v. 7 - Safra 2019/20, n. 3 - Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-62, 2020.

CONCEIÇÃO, L. L.; SILVA, C. M. O controle biológico e suas aplicações na cultura de cana-de-açúcar. *Campo Digital, Campo Mourão*, v.6, n.1, p.14-25, 2011.

DINIZ, M. A.; PEREIRA, J.; ULHÔA, J. L. R.; OLIVEIRA, A.; BORGES, M. V. Avaliação da entomofauna do solo em cana-de-açúcar convencional em diferentes cortes. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v.4, n.4, p. 5903-5920. 2021.

GÓES, Q. R.de.; FREITAS, L. da R.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B.; WEBER, M. A. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509832130>

GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; SILVA, V. R.; FONTANETTI, A.; FUJIHARA, R. T.; CARVALHO, E. M. Fauna do solo associada a diferentes sistemas de cultivo. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, e54610212787, 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>. Acesso em: 15.12.2023.

- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Brasília- DF. Texto para discussão, setembro, 2019.
- INIESTA, L. F. M.; BOUZAN, R. S.; SOUZA, C. A. R. Diplopoda In: ZAMPAULO, R.A.; PROUS, X. eds. Fauna cavernícola do Brasil. Belo Horizonte: Editora Rupestre, p 265-284, 2022.
- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 405-416, 2008.
- LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; SILVA, R. M.; MATOS, P. S.; PEREIRA, M. G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.45, 2021.
- LIMA, M. M.; SILVA, A. C.; FERREIRA, P. H. B. Análise comparativa da artropofauna de solo em áreas de cultivo agroecológico, convencional e fragmento de floresta no município de Valença –BA. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 9, n. 19, 2020.
- LIMA, S. S.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; ZONTA, E. Funcionalidade da fauna edáfica em áreas com diferentes manejos de cana-de-açúcar. OLIVEIRA, R. J. Agricultura em foco: tópicos em manejo, fertilidade do solo e impactos ambientais. Guarujá, SP: Científica Digital, 2020. <https://doi.org/10.37885/200901216>
- LIMA, F. G. F.; DUARTE, C. F.; DANTAS, C. T.; SOUZA, C. C. Riqueza e abundância da macrofauna edáfica em solos com diferentes tipos de manejo. *Anais eletrônico [...]. CONIDIS II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido*. Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/33844>. Acesso em: 28.03.2023.
- LIMA, S. S.; BENAZZI, E. dos S.; OLIVEIRA, N. C. R.; LEITE, L. F. C. Diversidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no semiárido. *Revista Agrarian*. v.12, n.45, p. 328-337, Dourados, 2019.
- MANTOVANI, G. G.; SHIKIDA, P. F. A.; GOMES, M. R. Diferenças salariais e o impacto da segmentação regional: um estudo para os trabalhadores na cultura de cana-de-açúcar no período de 2012 e 2019. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 60(1): e241167, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.241167>
- PASQUALIN, L. A.; DIONÍSIO, J. A.; ZAWADNEAK, M. A. C.; MARÇAL, C. T. Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná – Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 1, p. 7-18, 2012.
- PEREIRA, D. N.; CAVICHIOLI, F. A. A importância da qualidade no processo do plantio da cultura da cana-de-açúcar. *Interface Tecnológica* - v. 18 n. 2, 2021.
- PEREIRA, M. G.; CABREIRA, W. V.; LIMA, S. S.; ROCHA, J. E.; SANTOS, R. N.; SILVA, R. G. Manual de coleta e identificação da fauna edáfica. Agência Brasileira do ISBN. Seropédica, 2018. 44p.
- PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental/Bioindicators as environmental impact assessment. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.
- SAAD, L. P.; IWASAKI, M. T.; SILVA, N. S.; CAMPANA, D. R. S.; BUENO, O. C.; MORINI, M. S. C. Capítulo 7: Diversidade da fauna edáfica em cultivos de cana-de-açúcar. FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. *Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica*. Bauru, SP: Canal 6, 2017.

SANTOS, E. F.; SANTOS, M. S.; HENKES, J. A. Estudo de caso: *Trichogramma galloi* no manejo de *Diatraea saccharalis* na cultura de *Saccharum officinarum* em Ulianópolis-PA. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 1, p. 617-634, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e12020617-634>

SILVA, R. M. da.; SILVA, R. M. da.; SOUZA, J. R. M. de.; GEDGESKI, T. P.; LIMA, S. S. de.; LIMA, E. 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, e239101018741, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18741>

SOUZA, M. S. de.; SALMAN, A. K. D.; ANJOS, M. R. dos.; SAUSEN, D.; PEDERSOLI, M. A.; PEDERSOLI, N. R. N. B. Serviços ecológicos de insetos e outros artrópodes em sistemas agroflorestais. *Revista EducAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente*, Ano 10, v. XX, n. 1, 2018, p. 22 -35.

UDOP. União Nacional da Bioenergia. Dados e mercado. Boletins. Conab, Análise mensal do mercado da cana-de-açúcar - Conab, agosto a setembro de 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/boletins>. Acesso em: 15.12.2023.

UDOP. União Nacional da Bioenergia. Dados e mercado. Boletins. Conab, Análise mensal do mercado da cana-de-açúcar - Conab, setembro de 2023. Disponível em: <https://www.udop.com.br/boletins>. Acesso em: 15.12.2023.

VALÉRIO, E.; GODINHO, M.; COELHO, R. S.; NUNES, A. P.; FIGUEIREDO, E. Diversidade de artrópodes bioindicadores em dois sistemas culturais do Ribatejo: Monocultura/sucessão cultural. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 45, n. 4, p. 247-251, 2022.