

Diversidade de formigas epígeas em cultivo orgânico e convencional de *Citrus sinensis* na região noroeste do Paraná, Brasil

Diversity of epigeal ants in organic and conventional cultivation of *Citrus sinensis* in southern Brazil

Fábio de Azevedo¹, Daiane dos Santos de Freitas², Wingly Santos Beltrame³, Rodrigo dos Santos Machado Feitosa⁴

¹Docente da Universidade Estadual do Paraná. Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Maringá. Paranavaí, PR, Brasil. Orcid: 0000-0001-8257-7011. azevedofabiode@gmail.com

²Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Paraná. Paranavaí, PR, Brasil. Orcid: 0009-0009-4624-0484. ninaehaji@hotmail.com

³Mestre em Biotecnologia Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR, Brasil, Orcid: 0000-0002-0196-0623. winglysantosbeltrame@gmail.com

⁴Docente no Programa Institucional de Internacionalização CAPES-PRInt/UFPR, da Universidade Federal do Paraná. Doutorado em Entomologia pela Universidade Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Curitiba, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0001-9042-0129. rsmfeitosa@gmail.com

Recebido em 29 set 2023. Aceito em 29 nov 2023

RESUMO

As formigas são um grupo chave na fisiologia dos pomares cítricos, pois podem beneficiá-los atacando herbívoros, ou prejudicá-los, protegendo os sugadores de seiva. Assim, objetivou-se comparar a estrutura das assembleias de formigas de dois pomares cítricos (convencional e orgânico), através da abundância, riqueza, diversidade e composição de espécies, amostradas, por armadilhas de queda, em Paranavaí/PR. O cultivo orgânico comportou três vezes mais espécies exclusivas, e o dobro de espécies caçadoras especialistas, que o convencional. Deduz-se que os pesticidas agem tornando indisponíveis as presas das caçadoras especialistas, de modo que a composição de espécies pode ser mais importante para a compreensão da estrutura dos pomares cítricos do que a diversidade, a riqueza e a abundância, em estudos com pesticidas, em ambientes tropicais. Infere-se que as culturas orgânicas têm maior capacidade de manter a diversidade local do que as culturas convencionais.

Palavras-chave: Ecologia, Estrutura, Abundância, Riqueza.

ABSTRACT

Ants are a key group in the physiology of citrus groves, as they can benefit them by attacking herbivores, or harm them, by protecting sap-suckers. Thus, the objective was to compare the structure of ant assemblages from two citrus orchards (conventional and organic), through abundance, richness, diversity and composition of species, sampled by pitfall traps, in Paranavaí/PR. Organic cultivation contained three times more exclusive species and twice as many specialist hunting species than conventional cultivation. It is deduced that pesticides act by making the prey of specialist hunters unavailable, so that species composition may be more important for understanding the structure of citrus groves than diversity, richness and abundance in studies with pesticides in tropical environments. It is inferred that organic crops have a greater capacity to maintain local diversity than conventional crops.

Keywords: Ecology, Structure, Abundance, Richness.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado como um dos maiores produtores mundiais de frutas cítricas, com produção de 46 milhões de toneladas de laranja, 31,9 milhões de tangerinas e 8,3 milhões de limão e lima na safra 2019/20 (Vidal, 2021). Este mercado tem se tornado cada vez mais exigente quanto à qualidade dos frutos, sendo que um importante requisito de

qualidade é a presença mínima de resíduos de pesticidas (Raza *et al.*, 2017). Ressalta-se ainda, que o uso de agrotóxicos, a curto prazo, causa problemas ambientais e à saúde humana e, a longo prazo, causa a resistência de organismos praga e o aumento da probabilidade de ocorrência de ressurgimento, potencializado pela morte dos seus controladores naturais (Hardin *et al.*, 1995; Kumar e Kumar, 2019).

O controle comportamental, biológico e os diferentes tipos de manejo das culturas, como o cultivo orgânico, têm surgido como alternativas ao uso de pesticidas (Parra, 2014; Raza *et al.*, 2017). Nesse sentido, tem havido um esforço para se avaliar o papel da biodiversidade na regulação das funções dos agrossistemas em diferentes cultivos, em especial a diversidade de formigas (Santos *et al.*, 2017; Estrada, *et al.*, 2019; Cota e Bento, 2023).

As formigas evidenciam-se como um dos principais componentes da fauna de pomares de citros por seu elevado número de indivíduos e de espécies presentes nestes ambientes (Fowler *et al.*, 1991). Além disso, as formigas podem beneficiar as plantas de citros atacando herbívoros, ou prejudicá-las, protegendo os sugadores de seiva (Dao *et al.*, 2014; Diamé *et al.*, 2018).

Pesquisas ecológicas com formigas apresentam vantagens pela ampla distribuição geográfica que apresentam e pela elevada abundância e riqueza de espécies, uma vez que são relativamente fáceis de identificar, possuem baixa mobilidade da colônia e relativa facilidade de coleta (Schultheiss *et al.*, 2002; Wilson e Hölldobler, 2005). Assim, são adequadas para estudos sobre padrões estruturais e temporais e processos dentro das comunidades.

Nesta pesquisa objetivou-se avaliar e comparar a diversidade, a riqueza, a abundância e a composição de espécies de formigas entre as assembleias de dois diferentes cultivos de citros (*Citrus sinensis* L. Osbeck), um convencional e outro orgânico, na área de proteção ambiental do Ribeirão Araras, em Paranavaí, noroeste do Estado do Paraná.

Com base nos supostos efeitos negativos para a manutenção da biodiversidade em áreas expostas a pesticidas, sugere-se que haja menor riqueza, diversidade e abundância de formigas no cultivo convencional que no orgânico, sendo que neste, deveria haver maior

proporção de espécies caçadoras especialistas. Ainda, admitindo que poucas espécies se sobressaíam no cultivo convencional, supomos que haja nele, maior dominância que no orgânico.

METODOLOGIA

Mensalmente, de novembro de 2013 a outubro de 2014, foram instaladas armadilhas de queda, sem iscas, em duas áreas de cultivo de citros (*C. sinensis*), uma orgânica (23°1'15.708"S, 52°30'52.452"W) e outra convencional (23°1'25.212"S, 52°30'56.340"W) afastadas uma da outra em cerca de 20 metros e separadas por um quebra vento de grevileas (*Grevillea* sp.), na área de proteção ambiental (APA) do Ribeirão Araras, em Paranavaí/PR (**Figura 1**).

Segundo os agricultores, no cultivo orgânico (Org) não eram utilizados herbicidas nem fertilizantes químicos. O controle de pragas era realizado somente por calda sulfocáustica e óleo mineral, a fertilização era feita com Biofertilizante foliar Microgeo® e minerais (pó de rocha, zinco, manganês e boro), uma a duas vezes ao ano (verão e inverno) e o desbaste herbáceo era realizado por roçadeira.

No cultivo convencional (Conv) eram empregados fertilizantes e pesticidas químicos: Malationa (inseticida contra formigas, moscas da fruta e outros), com aplicação de maio a dezembro; Talstar®: Bifentrina (acaricida e inseticida, contra lagartas percevejos, *etc.*), com aplicação durante o ano, conforme incidência no pomar, constatada pelo inspetor de pragas; Abamectina (acaricida, inseticida e nematicida), aplicação durante o ano, conforme inspeção; Envidor®: espiroclifeno (acaricida), com aplicação uma vez, no início do ano; herbicida Roundup®: Glifosato, com aplicação conforme necessidade. A altura da vegetação era controlada por roçadeira.

O estrato herbáceo do Org foi representado por poucas espécies vegetais: *Urochloa eminii* (braquiária), *Panicum maximum* (colonião) e *Paspalum notatum* (grama mato-grosso), esparsamente distribuídas, com predomínio de grama e braquiária. Em alguns quadrantes, o aspecto do solo era mais seco que no Conv.

A vegetação herbácea do Conv apresentou-se mais densamente distribuída que no Org e representada por um maior número de espécies vegetais: *Urochloa eminii* (braquiária), *Panicum maximum* (colonião), *Paspalum notatum* (grama mato-grosso), *Bidens pilosa* (picão-preto), *Cynodon dactylon* (capim corda), *Solanum viarum* (joá-bravo), *Sida* sp., *Richardia brasiliensis* e *Setaria* sp. (Capim-rabo-de-raposa). Além disso, havia um pequeno remanescente florestal (190 x 110m) a cerca de 10 a 20 m de distância dos últimos quadrantes amostrais do Conv.

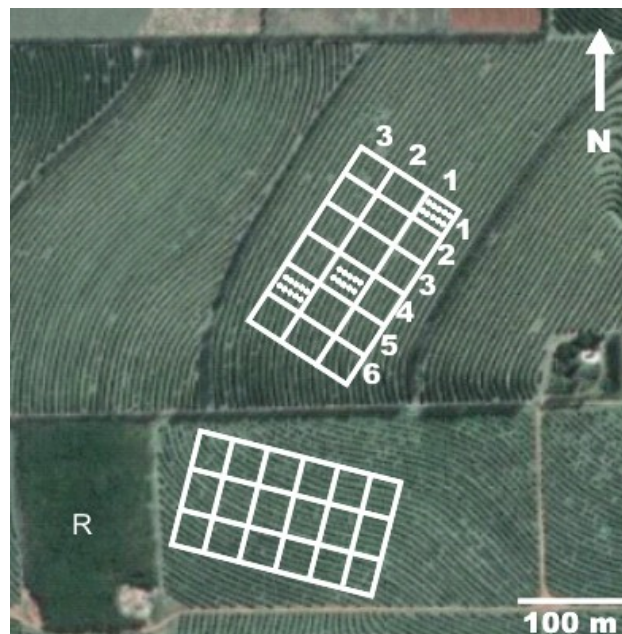


Figura 1. Áreas de cultivo de citros dentro da APA do Ribeirão Araras, Paranaíba/PR. Os retângulos brancos delimitam as áreas amostrais em cada ambiente (cultivo orgânico: superior e convencional: inferior). A sequência 3, 2 e 1 representa as linhas dos quadrantes de 1 a 6 (retângulos internos). Os pontos dentro dos retângulos internos representam locais hipotéticos de instalação das armadilhas de queda (não mostrado no retângulo inferior). “R” = remanescente florestal (Fonte: modificado do *Google Maps*, 2013).

A área amostral de cada ambiente foi dividida em três parcelas lineares, cada uma subdividida em seis quadrantes, com 1800 m² cada e total de 3,6 ha aproximados. A cada mês, sortearam-se três quadrantes, um em cada parcela de cada área amostral (orgânico e convencional), sendo instaladas 10 armadilhas de queda por quadrante de cada parcela, totalizando 60 amostras/mês nos dois ambientes.

As armadilhas consistiram de um pote plástico (500 ml), com abertura de 7 cm de diâmetro, enterrados de forma que a sua borda superior estivesse ao nível do solo, preenchidos com cerca de 150 ml de água e com cinco a oito gotas de detergente, para quebrar tensão superficial da água, fazendo as formigas submergirem, impedindo sua fuga (Bestelmeyer *et al.*, 2000). Elas foram instaladas entre às 08h e às 12h e tiveram funcionalidade de 30h.

As formigas foram identificadas, até gênero, utilizando-se uma chave de identificação (Baccaro *et al.*, 2015) e, na sequência, foram separadas em morfoespécies. As identificações foram confirmadas e as espécies nomeadas com base em comparações com exemplares identificados do acervo de formigas da Coleção Entomológica Padre Jesus Santiago Moure (DZUP), no Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas da Universidade Federal do Paraná – Feitosa Lab. O material testemunho (indivíduos usados nas identificações específicas) foi depositado na DZUP e no Laboratório de Biologia da Unespar de Paranavaí.

As 10 amostras de cada quadrante foram integralizadas e analisadas como uma amostra individual, perfazendo 36 amostras por ambiente, a partir das quais foram avaliadas composição, abundância, riqueza e diversidade de espécies. A riqueza de espécies também foi estimada pelo *Bootstrap*, através do programa *EstimateS* (Colwell, 2006).

A composição de espécies e de abundância entre os dois ambientes foi representada através do índice de Sorensen e Sorensen quantitativo (C_N). O programa *Past* (Hammer *et al.*, 2001) foi usado para calcular o teste t para a riqueza de espécies e para calcular os índices de Margalef, Simpson (1-D); Uniformidade: $E_{1/D} = (1/D)/S$ (Magurran, 2013), Shannon-Wiener (H').

A constância das espécies foi calculada por meio da fórmula $C = 100P/N$ (Bodenheimer, 1955) e representada por $c =$ constante, quando presente em mais do que 50% das coletas; $s =$ acessória, quando presente entre 25 a 50%; e $a =$ acidental, quando presente em menos que 25% das coletas.

Os testes t e de Wilcoxon avaliaram, respectivamente, os valores de abundância mês a mês e par a par de formigas entre os diferentes tipos de cultivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Totalizou-se 31.072 indivíduos, identificados em 54 espécies/morfoespécies de formigas no cultivo de citros da APA do Ribeirão Araras, em Paranavaí/PR. No cultivo orgânico (Org) foram identificados 21.106 indivíduos de 48 espécies, pertencentes a seis subfamílias: 34 espécies/morfoespécies de Myrmicinae com 19 gêneros, cinco de Formicinae com três gêneros, quatro Dolichoderinae com três gêneros, duas Ponerinae com dois gêneros, duas Ectatomminae com um gênero e uma Amblyoponinae. No cultivo convencional (Conv) registraram-se 9.966 indivíduos de 39 espécies, pertencentes a quatro subfamílias: 27 Myrmicinae com 14 gêneros, cinco Formicinae com três gêneros, quatro Dolichoderinae com três gêneros, duas Ponerinae com dois gêneros e uma Ectatomminae (**Tabela 1**).

Tabela 1. Abundância (Abund: número de indivíduos), frequência (Freq: %) e constância (Cons) de formigas capturadas por armadilhas de queda, em áreas de cultivo orgânico e convencional de citros, na APA do Ribeirão Araras, Paranavaí/PR, entre novembro de 2013 a outubro de 2014.

Espécie/Morfoespécie	Orgânico			Convencional		
	Abund	Freq	Cons	Abund	Freq	Cons
<i>Acromyrmex rugosus</i> (Smith, F., 1858)	69	3,89	a			
† <i>Anochetus altisquamis</i> Mayr, 1887				1	0,28	a
<i>Apterostigma</i> gr. <i>pilosum</i> (Mayr, 1865)	91	15,83	a	1	0,28	a
<i>Atta sexdens</i> Linnaeus, 1758	671	21,39	a	14	1,67	a
<i>Brachymyrmex</i> cf. <i>patagonicus</i> Mayr, 1868	1879	68,89	c	721	50,28	c
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1				69	3,33	a
<i>Brachymyrmex</i> sp. 2	1380	20,00	a	19	2,50	a
<i>Camponotus crassus</i> Mayr, 1862	40	6,11	a			
<i>C. melanoticus</i> Emery, 1894	5	0,83	a	7	0,56	a
* <i>Cardiocondyla emeryi</i> Forel, 1881	249	22,50	a	33	3,61	a
<i>Cephalotes pusillus</i> (Klug, 1824)	69	4,44	a			
<i>Crematogaster evallans</i> Forel, 1907	238	12,78	a	8	0,56	a
<i>Crematogaster</i> pr. <i>obscurata</i> Emery, 1895	2	0,56	a	2	0,56	a
<i>Cyatta abscondita</i> Sosa-Calvo <i>et al.</i> , 2013	3	0,83	a	3	0,83	a
<i>Cyphomyrmex</i> cf. <i>transversus</i> Emery, 1894	240	31,11	s	2	0,28	a
<i>Dorymyrmex brunneus</i> Forel, 1908	734	23,61	a	1398	39,17	s
<i>D. pyramicus</i> (Roger, 1863)	565	22,78	a	68	2,22	a
† <i>Ectatomma brunneum</i> Smith, F., 1858				135	24,17	a
<i>Forelius brasiliensis</i> (Forel, 1908)	482	20,00	a	17	0,56	s
† <i>Gnamptogenys regularis</i> Mayr, 1870	2	0,28	a			
† <i>G. sulcata</i> (Smith, F., 1858)	6	1,11	a			
† <i>Hypoponera</i> sp.	2	0,56	a			
<i>Linepithema micans</i> (Forel, 1908)	2803	87,50	c	545	48,61	s

Espécie/Morfoespécie	Orgânico			Convencional		
	Abund	Freq	Cons	Abund	Freq	Cons
* <i>Monomorium floricola</i> Jerdon, 1851				2	0,56	a
<i>Mycetarotes parallelus</i> (Emery, 1906)	2	0,56	a			
<i>Mycetophylax olitor</i> (Forel, 1893)	29	3,06	a	1	0,28	a
<i>Mycocepurus goeldii</i> (Forel, 1893)	5	1,11	a			
<i>M. smithii</i> (Forel, 1893)				2	0,56	a
<i>Myrmicocrypta</i> sp.	1	0,28	a			
<i>Nylanderia</i> sp.	311	13,06	a	5	0,83	a
† <i>Octostruma balzani</i> (Emery, 1894)	1	0,28	a	1	0,28	a
† <i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905	1	0,28	a			
† <i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)				1	0,28	a
<i>Pheidole ambigua</i> Wilson, 2003	74	0,83	a	3	0,28	a
<i>P. gertrudae</i> Forel, 1886	5	0,56	a	13	0,28	a
<i>P. gigaflavens</i> Wilson, 2003	548	15,83	a	48	3,89	a
<i>P. oxyops</i> Forel, 1908	4664	89,44	c	2023	66,67	c
<i>P. pr. vafra</i> Santschi, 1923	1037	46,11	s	88	7,22	a
<i>P. radoszkowskii</i> Mayr, 1884	2888	72,50	c	2824	78,33	c
<i>Pheidole</i> sp. 1	2	0,28	a	13	1,39	a
<i>Pheidole</i> sp. 2	14	2,50	a	69	7,22	a
<i>P. triconstricta</i> Forel, 1886	74	2,78	a	42	2,50	a
<i>P. vallifica</i> Forel, 1901	7	1,94	a	569	38,61	s
<i>Pogonomyrmex naegelii</i> Forel, 1878	6	1,11	a	15	1,94	a
† <i>Prionopelta punctulata</i> Mayr, 1866	6	0,83	a			
<i>Solenopsis invicta</i> Buren, 1972	1	0,28	a	67	4,72	a
<i>Solenopsis</i> sp. 1	138	26,11	s	228	28,89	s
<i>Solenopsis</i> sp. 2	92	6,67	a	87	3,61	a
<i>Solenopsis</i> sp. 3	173	11,11	a	821	33,06	s
† <i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890	4	1,11	a			
† <i>S. louisianae</i> Roger, 1863	2	0,56	a			
† <i>S. pr. lygatrix</i> (Bolton, 2000)	1	0,28	a			
<i>Mycetomoellerius iheringi</i> (Emery, 1888)	134	8,06	a	1	0,28	a
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger 1863)	1356	38,61	s			

c = constante, presente em mais do que 50% das coletas; s = acessória, presente entre 25 a 50%; e a = acidental, presente em menos que 25%.

*Espécies exóticas; †Espécies caçadoras/especialistas (Silvestre *et al.*, 2003).

A composição de espécies apresentou uma diferença expressiva entre os diferentes cultivos (Sorensen: 0,61), com 39% das espécies em mudança, em algum momento. No Org ocorreram nove espécies de formigas especialistas caçadoras (18% do total), quase o dobro do observado no Conv, 10% do total.

Pheidole foi o gênero mais especioso (10 espécies), seguido de *Solenopsis* (quatro espécies), tanto no cômputo geral, como no Org ou no Conv, separadamente. Entre as

espécies classificadas como exóticas, registraram-se *Cardiocondyla emeryi* no Org e no Conv, e *Monomorium floricola* no Conv.

A ocorrência de Myrmicinae e *Pheidole* como subfamília e gênero mais especiosos pode ser uma consequência do teorema do limite central (Zar, 1999), uma vez que as assembleias se caracterizaram pelo modelo lognormal. Uma assembleia descrita por esse modelo reflete uma tendência de ser governada por um grande número de fatores ecológicos independentes, determinados ao acaso (Ludwig e Reynolds, 1988; Krebs, 1989). Assim, espera-se que haja maior participação de Myrmicinae e *Pheidole* nessas assembleias por serem as mais especiosas dentre as subfamílias e gêneros de formigas, tanto em termos regionais como globais (Wilson e Hölldobler, 2005).

Nesse sentido, também deveria se esperar que ocorresse um grande número de espécies de *Camponotus*, outro gênero hiperdiverso de formiga e que, frequentemente, é representado por muitas espécies em trabalhos ecológicos com formigas, bem como nos citros (Wilson, 2003; Rodrigues e Cassino, 2011; Feitosa *et al.*, 2022). Supostamente, em pomares de citros, *Pheidole* interfere na riqueza e na abundância de *Camponotus*, tida como grupo comportamentalmente submisso de formiga (Andersen, 2000). Isso pode ser evidenciado por trabalhos que observaram a supressão de *Camponotus* quando *Pheidole* é dominante e pela relação negativa que há entre *Pheidole* e Formicinae (Fowler, 1993; Cerdá, 2009). Outra evidência é a coocorrência dessas espécies quando *Pheidole* não é dominante (Rodrigues e Cassino, 2011; Golias *et al.*, 2018).

O valor de riqueza estimado pelo *Bootstrap* (Org: 51,97 e Conv: 43,19) indica que a riqueza de espécies observada se aproxima da esperada em 92,36% e 90,29%, respectivamente. Em ambas as curvas há uma tendência de estabilização no incremento de novas espécies a serem amostradas (**Figura 2**).

A riqueza de espécies de formigas foi alta quando comparada à encontrada em outros trabalhos que avaliaram cultivos de citros, ou outros agrossistemas, em diferentes regiões do mundo (Cerdá *et al.*, 2009; Rahim e Ohkawara, 2019). No noroeste do Paraná, em um cultivo e região semelhantes aos deste trabalho, Golias *et al.* (2018) registraram riqueza de espécies 49% menor que a aqui registrada.

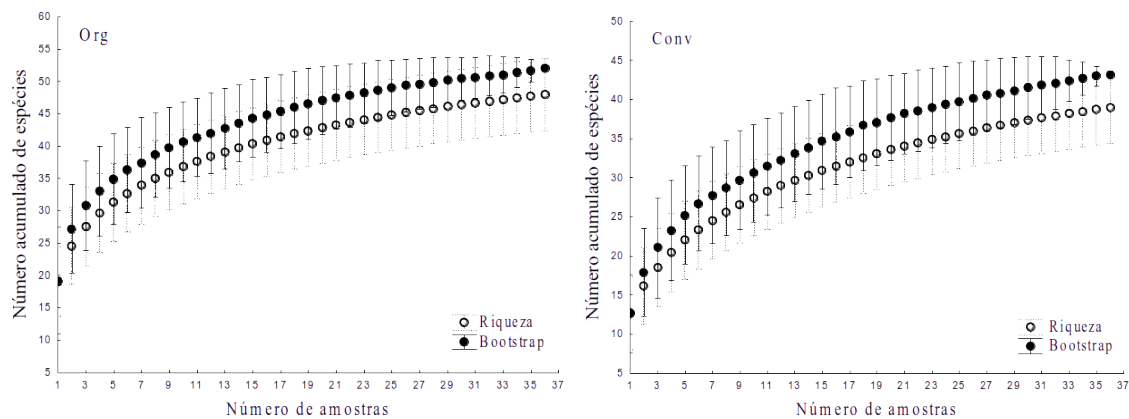


Figura 2. Curva de acumulação de espécies e estimador *Bootstrap* com intervalo de confiança de 95% (barras, calculado do erro padrão) para as formigas coletadas nos cultivos orgânico e convencional da APA do Ribeirão Araras, em Paranavaí/PR.

A diferença média da riqueza entre os diferentes cultivos foi significativa ($t = 5,53$, $p = 0,00$), bem como, quando comparada mês a mês ($t = 5,92$, $p = 0,00$). Os valores dos índices de diversidade foram, para o cultivo Org e Conv, respectivamente: Margalef = 4,72 e 4,12; $H' = 2,59$ e 2,2; $1-D = 0,89$ e 0,84 e $E_{1/D} = 0,19$ e 0,16, representando rica mirmecofauna, mas uma pequena diferença entre os índices dos dois ambientes.

A maioria das espécies coletadas foi considerada acidental, respectivamente, em Org e Conv: 40 (83,33 %) e 31 (79,48%), seguidas das acessórias (quatro e cinco) e constantes (quatro e três). Apareceram como constantes, as espécies *Brachymyrmex cf. patagonicus*, *Pheidole oxyops* e *Pheidole radoszkowskii* em ambos os ambientes, e *Linepithema micans* apenas no cultivo Org.

A diferença da abundância de formigas entre os cultivos Org e Conv foi significativa quando comparada mês a mês ($U = 24$, $p = 0,003$), bem como quando comparada espécie por espécie ($z = 2,80$, $p = 0,00$), porém, na média não houve diferença significativa. A dissimilaridade de abundância das espécies foi de 49%, sendo o padrão de distribuição de abundância parecido em ambos os ambientes, como também visualmente semelhante ao lognormal (**Figura 3**).

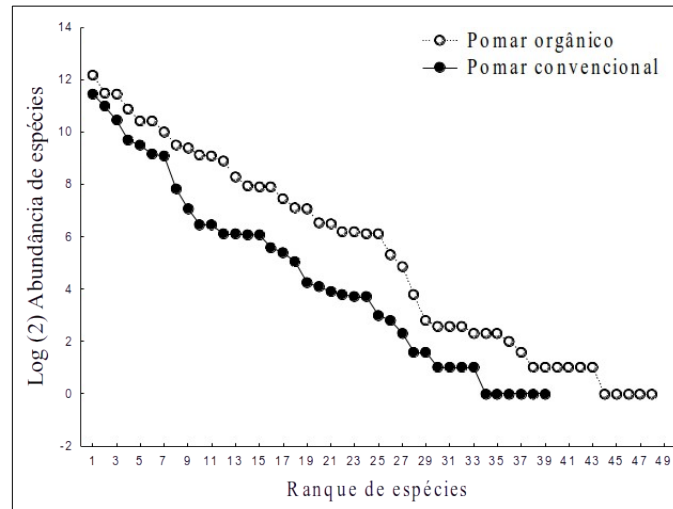


Figura 3. Gráfico de ajuste de ranque/abundância de formigas coletadas nos cultivos orgânico e convencional da APA do Ribeirão Araras, em Paranavai/PR.

Semelhantemente à frequência, *Pheidole oxyops* e *Pheidole radoszkowskii* destacaram-se quanto a abundância. *Pheidole oxyops* foi a espécie mais abundante (22,1%) no Org e *Pheidole radoszkowskii* a mais abundante no Conv (28,34%). As espécies *P. radoszkowskii* e *P. oxyops* perfazem 48,64% da abundância total no Conv, corroborando com a menor uniformidade obtida pelo índice recíproco de Simpson ($E_{1/D} = 0,16$) neste cultivo. Apenas a espécie *P. radoszkowskii* apresentou abundâncias semelhantes em ambos os cultivos.

O gênero *Pheidole* também foi registrado como dominante em outros tipos de pomares e ambientes degradados (Fowler, 1993; Peixoto *et al.*, 2010). Este gênero é considerado generalista, hiperdiverso, amplamente distribuído e conhecido por seu sistema de recrutamento em massa, o qual o permite dominar os recursos alimentares de forma eficiente e excluir concorrentes formicídeos (Fowler, 1993). Especialmente *P. oxyops* e *P. radoszkowskii* são espécies numéricas e comportamentalmente dominantes na América do Sul e em ambientes tropicais antropizados (Perfecto, 1994; Gomes *et al.*, 2021).

As hipóteses propostas de que os maiores valores de riqueza, diversidade e abundância e de que os menores valores de dominância seriam obtidos no cultivo orgânico comprovaram-se. Outros trabalhos comparativos entre cultivos Org e Conv também confirmam os resultados obtidos (Masoni *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017).

Considerou-se que os formicídeos e suas presas, expostos a agrotóxicos, fossem eliminados, enfraquecendo a colônia por perda de indivíduos e por diminuição de alimento disponível, como preconizado por Fowler *et al.* (1991) e Pereira *et al.* (2010). Os pesticidas poderiam atuar, também, como uma forma de perturbação, conduzindo a comunidade a estágios anteriores de sucessão ecológica, quando pode ser observada maior dominância de algumas espécies e menor diversidade total (Magurran, 2013). Porém, esperava-se que as diferenças dos atributos ecológicos mensurados (riqueza, diversidade e abundância) entre os diferentes cultivos fossem maiores do que os obtidos.

É possível que os efeitos do uso de pesticidas no Conv tenham sido parcialmente ocultados, pela interferência da sua estrutura vegetal mais complexa, com maior número de espécies herbáceas, maior abundância do estrato herbáceo e maior densidade das copas dos citros. O favorecimento da manutenção da riqueza de espécies e da abundância das assembleias de formigas pela estruturação vegetacional também foi constatada por Roth *et al.* (1994), Altieri *et al.* (2003) e Cerdá *et al.* (2009).

Estrada *et al.* (2019) destacam que, geralmente, os cultivos orgânicos possuem maior diversidade vegetal, maior quantidade de serrapilheira, solo mais bem preservado e maior constância de temperatura e umidade que proporcionariam um maior número de nichos alimentares e de nidificação, menor estresse e melhores condições de existência, capazes de manter uma maior diversidade de espécies de formigas. Porém, essas características ambientais não foram observadas no Org.

Além disso, um pequeno remanescente florestal (190 x 110 m) a cerca de 10 a 20 m de distância dos últimos quadrantes amostrais pode ter contribuído para o incremento de espécies de formigas do Conv, uma vez que as principais espécies não generalistas (*Anochetus altisquamis*, *Apterostigma* gr. *pilosum*, *Cyatta abscondita*, *Mycetophylax olitor* e *Octostruma balzani*) desse cultivo, foram amostradas nestes últimos quadrantes.

Assim, a abundância, a riqueza e a diversidade de espécies não evidenciaram marcadamente a diferença entre os pomares. Por outro lado, podemos observar no Org., a ocorrência das espécies dominantes *P. oxyops* e *P. radoszkowskii* com três vezes mais espécies exclusivas que no Conv. e com o dobro de espécies especialistas predadoras.

Ainda, algumas dessas espécies especialistas são bioindicadoras de ambientes mais bem preservados (*Strumigenys*, *Hypoponera* e *Odontomachus meinerti*). Portanto, sugere-se que a composição de espécies seja o fator mais importante para avaliar a diferença entre os pomares, nos ambientes considerados.

Provavelmente, os pesticidas sejam o diferencial entre os cultivos, pois, formigas poneroides e outras caçadoras especialistas estão relacionadas à abundância de outros invertebrados e, geralmente, ocorrem em ambientes menos impactados (Feitosa e Ribeiro, 2005; Sanabria-Blandón e Ulloa, 2011). Uma vez que a maior parte da população de formigas está abrigada em seus ninhos sob o solo, a intensidade do efeito dos pesticidas sobre elas estaria sendo vista indiretamente, pela falta de alimentos às caçadoras. Porém, isso seria menos evidente às dominantes ou outras espécies generalistas que possuem outras fontes alimentares.

CONCLUSÕES

Os resultados observados no cultivo orgânico, em especial a distinta composição de espécies, sugerem que esses cultivos apresentam uma fisiologia ecossistêmica diferenciada, com maior capacidade de regular e manter serviços ecológicos como o controle de pragas. Nessa perspectiva, cultivos orgânicos são mais recomendados que os convencionais.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Antônio Plácido Vendramin pela cessão do local de pesquisa. À Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica. À bibliotecária Sra. Maria S. R. Arita da biblioteca setorial do Nupélia (UEM), pela recuperação da literatura utilizada no desenvolvimento do artigo. Aos Profs. Drs. José Lopes e Halison Golias pela leitura prévia do manuscrito. Ao Laboratório de Biologia da Unespar *campus* Paranavaí pela estrutura e equipamentos. RMF agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida (processo 301495/2019-0).

Copyright (©) 2024 Fábio de Azevedo, Daiane dos Santos de Freitas, Wingly Santos Beltrame, Rodrigo dos Santos Machado Feitosa

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, Miguel A. *et al.* **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 226p.
- ANDERSEN, Alan N. Global ecology of rainforest ants functional groups in relation to environmental stress and disturbance. *In: AGOSTI, Donat et al. (Org.). Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington: Smithsonian Institution, 2000. p. 25-34.
- BACCARO, Fabrício B. *et al.* **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Manaus: Editora INPA, 2015. 386p.
- BESTELMEYER, Brandon T. *et al.* Field techniques for the study of ground-living ants: an overview, description, and evaluation. *In: AGOSTI, Donat et al. (Org.). Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington: Smithsonian Institution, 2000. p. 122-144.
- BODENHEIMER, Friedrich S. **Problems of animal ecology**. Oxford: Oxford University Press, 1955.
- CERDÁ, Xim; PALACIOS, Rafael; RETANA, Javier. Ant Community Structure in Citrus Orchards in the Mediterranean Basin: Impoverishment as a Consequence of Habitat Homogeneity. **Environmental Entomology**, v. 38, n. 2, p. 317-324, 2009.
- COLWELL, Robert K. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples, version 8.0. <http://purl.oclc.org/estimates>, 2006.
- COTA, Maria E.; BENTO, Albino. Efeito de gestão do solo na biodiversidade de artrópodes associados ao amendoal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, n. 2, p. 161-168, 2023.
- DAO, Hang T. *et al.* Ant-coccid mutualism in citrus canopies and its effect on natural enemies of red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae). **Bulletin of entomological research**, v. 104, n. 2, p. 137-142, 2014.
- DIAMÉ, Lamine *et al.* Ants: Major functional elements in fruit agro-ecosystems and biological control agents. **Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 23, 2017.
- ESTRADA, Milene A. *et al.* Diversidade, riqueza e abundância da mirmecofauna em áreas sob cultivo orgânico e convencional. **Acta Biológica Catarinense**, v. 6, n. 2, p. 87-103, 2019.
- FEITOSA, Rodrigo S.M.; RIBEIRO, André S. Mirmecofauna (Hymenoptera, Formicidae) de serapilheira de uma área de Floresta Atlântica no Parque Estadual da Cantareira – São Paulo, Brasil. **Biotemas**, v. 18, n. 2, p. 51-71, 2005.
- FEITOSA, Rodrigo M. *et al.* Ants of Brazil: an overview based on 50 years of diversity studies. **Systematics and Biodiversity**, v. 20, n. 1, p. 1-27, 2022.
- FOWLER, Harold G. *et al.* Ecologia Nutricional de formigas. *In: PANIZZZI, Antônio R.; PARRA, José R.P. (Org.). Ecologia nutricional de Insetos e suas Implicações no Manejo de Pragas*. São Paulo: Manole/Brasília: CNPq, 1991.
- FOWLER, Harold G. Relative representation of *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae) in local ground ant assemblages of the Americas. **Anales de Biología Animal**, v. 8, p. 29-37, 1993.
- GOLIAS, Halison C. *et al.* Diversity of ants in citrus orchards and in a forest fragment in Southern Brazil. **Entomobrasilis**, v. 11, p. 01-08, 2018.
- GOMES, Inácio J.M.T.; CAMPOS, Ricardo I.; VASCONCELOS, Heraldo L. Ecology of *Pheidole oxyops* Forel, 1908, a dominant ant in neotropical savannas. **Insectes Sociaux**, v. 68, n. 1, p. 69-75, 2021.

- HAMMER, Øyvind; HARPER David A.T.; RYAN, Paul D. PAST – Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 41, n. 1, p. 1-9, 2001.
- HARDIN, Mark R. *et al.* Arthropod pest resurgence: an overview of potential mechanisms. **Crop Protection**, v. 14, n. 1, p. 3-18, 1995.
- KREBS, Charles I. **Ecological methodology**. New York: Harper 81 Row. 1989. 644p.
- KUMAR, Vinod; KUMAR, Pankja. Pesticides in agriculture and environment: Impacts on human health. In: KUMAR, Vinod *et al.* (Org.). **Contaminants in agriculture and environment: health risks and remediation**. India, Haridwar: Agro Environ Media, v. 1, 2019. p. 76-95.
- LUDWIG, John A.; REYNOLDS, James F. **Statistical ecology: a primer in methods and computing**. John Wiley & Sons, 1988. 337p.
- MAGURRAN, Anne E. **Medindo a diversidade biológica**. Curitiba: Editora UFPR, 2013. 261p.
- MASONI, Alberto *et al.* Management matters: A comparison of ant assemblages in organic and conventional vineyards. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 246, p. 175-183, 2017.
- PARRA, José R.P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 420-429, 2014.
- PEIXOTO, Tatiana S. *et al.* Composição e riqueza de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em savana e ambientes associados de Roraima. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2010.
- PEREIRA, Jardel L. *et al.* Ants as environmental impact bioindicators from insecticide application on corn. **Sociobiology**, v. 55, n. 1B, p. 153-164, 2010.
- PERFECTO, Ivette. Foraging behavior as a determinant of asymmetric competitive interaction between two ant species in a tropical agroecosystem. **Oecologia**, v. 98, p. 184-192, 1994.
- RAHIM, Abdul; OHKAWARA, Kyohsuke. Invasive ants affect spatial distribution pattern and diversity of arboreal ant communities in fruit plantations, in Tarakan Island, Borneo. **Sociobiology**, v. 66, n. 4, p. 527-535, 2019.
- RAZA, Muhammad F. *et al.* Citrus insect pests and their non chemical control in China. **Citrus Research & Technology**, v. 38, n. 1, p. 122-138, 2017.
- RODRIGUES, William C.; CASSINO, Paulo C.R. Interação entre Formigas e Aleirodídeos (Sternorrhyncha, Aleyrodidae) em Cultivo Orgânico de Tangerina cv. Poncã (*Citrus reticulata* Blanco). **EntomoBrasilis**, v. 4, n. 3, p. 119-124, 2011.
- ROTH, Dana S.; PERFECTO, Ivette; RATHCKE, Beverly. The effects of management systems on ground-foraging ant diversity in Costa Rica. **Ecological Applications**, v. 4, n. 3, p. 423-436, 1994.
- SANABRIA-BLANDÓN, María C.; ULLOA, Patricia C. Hormigas cazadoras en sistemas productivos del piedemonte amazónico colombiano: diversidad y especies indicadoras. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 4, p. 503-512, 2011.
- SANTOS, Luan A.O.; NARANJO-GUEVARA, Natalia; FERNANDES, Odair A. Diversity and abundance of edaphic arthropods associated with conventional and organic sugarcane crops in Brazil. **Florida Entomologist**, v. 100, n. 1, p. 134-144, 2017.
- SCHULTHEISS, Patrick *et al.* The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 40, p. e2201550119, 2022.
- SILVESTRE, Rogério; BRANDÃO, Carlos R.F.; SILVA, Rogério R. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. In: FERNÁNDEZ, Fernando (Org.). **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. Bogotá: Instituto Humboldt. 2003. p. 113-148.
- WILSON, Edward O. La hiperdiversidad como fenómeno real: el caso de *Pheidole*. In: FERNÁNDEZ, Fernando (Org.). **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. Bogotá, Instituto Humboldt, 2003. p. 363-370.
- WILSON, Edward O.; HÖLLDOBLER, Bert. Eusociality: origin and consequences. **Proceedings of the National Association of Science**, v. 102, n. 38, p. 13367-13371, 2005.

VIDAL, Maria F. Produção de laranja na área de atuação do BNB. Fortaleza: **Banco do Nordeste do Brasil**, ano 6, n. 198, p. 1-14, 2021. (Caderno Setorial Etene).

ZAR, Jerrold H. **Biostatistical analysis**. Índia: Pearson Education, 1999. 663p.