



Parâmetros Ecológicos e Dinâmica Populacional da Entomofauna de Serapilheira em Áreas em Processo de Restauração Ecológica

Taise Cristina Plattau Arenhardt¹, Guilherme Alan Klunk¹ e Marcelo Diniz Vitorino¹

Recebido em 21/03/2022 – Aceito em 11/01/2023

¹ Laboratório de Monitoramento e Proteção Florestal/LAMPF, Departamento de Engenharia Florestal/DEF, Fundação Universidade Regional de Blumenau/FURB, Blumenau/SC, Brasil. <taise.arenhardt@gmail.com, guilhermeklunk@hotmail.com, dinizvitorino@gmail.com>.

RESUMO – A entomofauna de serapilheira destaca-se pela sua elevada abundância, diversidade, importância ecológica e sensibilidade a alterações ambientais. Dessa forma, apresentam grande potencial como bioindicadores da restauração ecológica. O objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica populacional e a composição da entomofauna da serapilheira (Classe Insecta) em áreas com diferentes técnicas de restauração ecológica no Parque Nacional da Serra do Itajaí. Foram determinadas quatro áreas amostrais, sendo: floresta nativa (área referência), regeneração natural, transposição de galharia e rugosidades no solo. As coletas foram realizadas no período de agosto/2014 até agosto/2015, bimestralmente, a partir da instalação de armadilha pitfall e funil de Berlese-Tüllgren. Foram analisados parâmetros de abundância, número de famílias, similaridade, composição, dinâmica populacional das famílias mais abundantes e correlação com fatores ambientais. Foi coletado um total de 16.062 indivíduos, distribuídos em 15 ordens e 104 famílias. Não foram observadas diferenças significativas na abundância e no número de famílias entre as áreas amostrais. A área de regeneração natural apresentou o maior percentual de similaridade com a área de floresta nativa. A temperatura foi único fator ambiental que influenciou significativamente na abundância das famílias Staphylinidae, Ptiliidae, Curculionidae (Coleoptera), Cercopidae, Aphididae (Hemiptera) e Gryllidae (Orthoptera). A composição de famílias variou significativamente entre as áreas amostrais. Conclui-se que famílias da entomofauna da serapilheira apresentam potencial para uso como bioindicadores no monitoramento da restauração ecológica. A temperatura é uma variável que deve ser considerada na definição e implantação das estratégias de restauração de modo a favorecer o restabelecimento da entomofauna de serapilheira.

Palavras-chave: Bioindicadores; fauna edáfica; Mata Atlântica; Floresta Ombrófila Densa.

Ecological Parameters and Population Dynamics of Leaf Litter Insect Fauna in Areas in Process of Ecological Restoration

ABSTRACT – Leaf litter insect fauna stands out for its high abundance, diversity, ecological importance and sensitivity to environmental changes. Thus, they have great potential as bioindicators of ecological restoration. The aim of this study was to evaluate the population dynamics, and composition of the leaf litter insect fauna (Class Insecta) in areas with different ecological restoration techniques in the Serra do Itajaí National Park. Four sample areas were determined, being: native forest (reference area), natural regeneration, brushwood transposition and soil roughness. Collections were carried out from August/2014 to August/2015, bimonthly, from the installation of a pitfall trap and Berlese-Tüllgren funnel. The abundance, number of families, similarity, composition, population dynamics of the most abundant families and correlation with environmental factors were analyzed. A total of 16,062 individuals were collected, distributed in 15 orders and 104 families. No significant differences were observed in the abundance and number of families between the sample areas. The area of natural regeneration showed the highest percentage of similarity with the area of native forest. Temperature was the only environmental factor that significantly influenced the abundance of Staphylinidae, Ptiliidae, Curculionidae (Coleoptera), Cercopidae, Aphididae (Hemiptera) and Gryllidae (Orthoptera) families. The composition of families varied significantly between the sample areas. It is concluded that

litter entomofauna families have potential for use as bioindicators in monitoring ecological restoration. Temperature is a variable that must be considered in the definition and implementation of restoration strategies in order to favor the restoration of the leaf litter insect fauna.

Keywords: Bioindicators; edaphic fauna; Atlantic rain forest; Ombrophilous dense forest.

Parâmetros Ecológicos y Dinámica Poblacional de la Entomofauna de Hojarasca en Áreas en Proceso de Restauración Ecológica

RESUMEN –La entomofauna de la hojarasca se destaca por su alta abundancia, diversidad, importancia ecológica y sensibilidad a los cambios ambientales. Por lo tanto, tienen un gran potencial como bioindicadores de restauración ecológica. El objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica poblacional y la composición de la entomofauna de la hojarasca (Clase Insecta) en áreas con diferentes técnicas de restauración ecológica en el Parque Nacional Serra do Itajaí. Se determinaron cuatro áreas de muestreo, a saber: bosque nativo (área de referencia), regeneración natural, transposición de matorral y rugosidad del suelo. Las colectas se realizaron de agosto/2014 a agosto/2015, bimensualmente, a partir de la instalación de trampa pitfall y embudo Berlese-Tüllgren. Se analizó abundancia, número de familias, similitud, composición, dinámica poblacional de las familias más abundantes y correlación con factores ambientales. Se recogieron un total de 16.062 individuos, distribuidos en 15 órdenes y 104 familias. No se observaron diferencias significativas en la abundancia y número de familias entre las áreas de muestreo. El área de regeneración natural presentó el mayor porcentaje de similitud con el área de bosque nativo. La temperatura fue el único factor ambiental que influyó significativamente en la abundancia de las familias Staphylinidae, Ptiliidae, Curculionidae (Coleoptera), Cercopidae, Aphididae (Hemiptera) y Gryllidae (Orthoptera). La composición de las familias varió significativamente entre las áreas de muestra. Se concluye que las familias de entomofauna de hojarasca tienen potencial para su uso como bioindicadores en el seguimiento de la restauración ecológica. La temperatura es una variable que debe ser considerada en la definición e implementación de estrategias de restauración para favorecer la restauración de la entomofauna de la hojarasca.

Palabras clave: Bioindicadores; fauna edáfica; Bosque Atlántico; Bosque Ombrófilo Denso.

Introdução

A Mata Atlântica constitui um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade, porém, está submetida a atividades de uso e ocupação antrópica, resultando em extensas áreas degradadas (Ribeiro et al., 2009), sendo considerado um dos *hotspots* de biodiversidade mundial (Mittermeier et al., 2004). Das diversas atividades, a conversão da vegetação nativa em pastagens destaca-se por ocasionar a redução da biodiversidade da flora e da fauna e dos processos ecológicos (Lázaro et al., 2016; Maçaneiro et al., 2017). Nesse contexto, iniciativas de conservação e restauração devem ser tomadas com o objetivo de minimizar o efeito da degradação bem como o retorno da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Ribeiro et al., 2009). A importância da restauração é evidenciada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em considerar o período 2021-2030 como a Década da Restauração de Ecossistemas, como forma de reduzir a degradação ambiental e incentivar iniciativas de restauração dos ecossistemas (ONU, 2019). No

Brasil, há iniciativas no âmbito nacional, regional e local. Como o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), que possui como objetivo incentivar a recuperação de 12 milhões de hectares de vegetação nativa até o ano de 2030 (Brasil, 2017).

A utilização de indicadores ecológicos para o monitoramento das iniciativas de restauração é uma etapa essencial do processo, de modo a garantir resultados satisfatórios (Brançalion e Holl, 2015). A maioria dos trabalhos de restauração em florestas tropicais baseiam-se em parâmetros da estrutura e composição da comunidade vegetal como indicadores da restauração do ecossistema (Suganuma e Durigan, 2015). Porém, além de buscar o restabelecimento da cobertura vegetal nativa, as iniciativas de restauração devem buscar também o retorno de organismos essenciais para a manutenção dos processos ecológicos como, por exemplo, a entomofauna.

Os insetos (Hexapoda: Insecta) da serapi-lheira podem ser bons indicadores da restauração ecológica, devido à sua representatividade,

diversidade, importância e sensibilidade a alterações ambientais (Lavelle, 1996). A literatura científica indica o potencial da comunidade de artrópodes de serapilheira como bioindicadores (ver Borges et al., 2021; Cole et al., 2016; Vanolli et al., 2021) e também em grupos específicos como a ordem Coleoptera (Salomão et al., 2018) e família Formicidae (Insecta: Hymenoptera) (Vanolli et al., 2021) entre outros. No entanto, no Brasil esses organismos ainda são negligenciados em programas de restauração de áreas degradadas, em que o foco normalmente é voltado para a cobertura vegetal.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros ecológicos, a dinâmica populacional e a correlação com fatores ambientais de grupos da entomofauna de serapilheira em áreas de pastagem submetidas a diferentes técnicas de restauração ecológica no Parque Nacional da Serra do Itajaí (PNSI), Santa Catarina, Brasil.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no PNSI (localizado entre 27°00' e 27°17' S e 49°01' e 49,21' O), uma unidade de conservação de proteção integral, em área denominada Faxinal do Bepe, localizada no município de Indaial, Santa Catarina, Brasil (ICMBio, 2009). O clima da área de estudo é classificado, de acordo com Köppen, como Cfa (subtropical mesotérmico úmido com verão quente) (Alvares et al., 2013). A temperatura anual média varia entre 16-18°C, umidade relativa do ar média anual varia em torno de 82-84% e precipitação total média anual com variação anual entre 1.500 e 1.600 mm, com chuvas distribuídas ao longo do ano e sem período seco (Pandolfo et al., 2002).

O Faxinal do Bepe está inserido no Bioma Mata Atlântica, fitofisionomia Floresta Ombrófila Densa Montana (IBGE, 2012), com altitudes que variam entre 400 e 800 metros. A partir da década de 50, as áreas sofreram intenso processo de ocupação na qual grande parte dos remanescentes florestais sofreram supressão para a implantação de pastagem e agricultura (ICMBIO, 2009).

As áreas amostrais selecionadas para este experimento consistem em área de floresta nativa (área referência), regeneração natural e duas

áreas de pastagem com técnicas nucleadoras. Desse modo, foram determinadas quatro áreas amostrais, sendo elas:

- **Floresta nativa (área referência):** área com vegetação em avançado estágio de sucessão, com presença de elevada riqueza de espécies arbustivas e arbóreas.
- **Regeneração natural:** área com vegetação em estágio intermediário de sucessão, com predomínio de gramíneas no estrato herbáceo e de espécies pioneiras no estrato arbóreo (Adenesky-Filho et al., 2017).
- **Transposição de galharia:** técnica de nucleação instalada em área de pastagem (gramíneas exóticas). A técnica consiste na formação de aglomerados de resíduos florestais ao longo da área a ser restaurada, servindo como abrigo, nidificação e alimentação para diferentes espécies da fauna e formação de ambientes favoráveis para insetos decompositores (Reis et al., 2003).
- **Rugosidades no solo:** técnica de nucleação instalada em área de pastagem (gramíneas exóticas). A técnica consiste na criação de aberturas no solo, alternando superfícies côncavas e convexas, aumentando a variabilidade de microhabitat, retenção da água das chuvas por mais tempo e possibilidade de colonização de maior número de espécies (Aumond, 2007). Cada rugosidade possui 0,4 metros de profundidade, 2,0 metros de comprimento e 0,3 metros de largura, distanciados quatro metros entre si, totalizando 625 rugosidades por hectare.

A amostragem dos insetos foi realizada no período de agosto/2014 a agosto/2015, bimestralmente, a partir da instalação de armadilhas *pitfall* e funil de Berlese-Tüllgren. Em cada área amostral foi instalado um transecto de 80 metros contendo cinco armadilhas *pitfall* dispostas a cada 20 metros, permanecendo em campo por um período de três noites. Os *pitfalls* foram preenchidos com água, álcool 70% e detergente biodegradável. Na área de cada transecto foi coletado duas amostras aleatórias de serapilheira (0,5 m² cada amostra) que foram depositados em funis de Berlese-Tüllgren para extração dos insetos, totalizando 1,0 m²/transecto/bimestre. As amostras permaneceram nos funis

por um período de 14 dias com lâmpadas de 60 watts acesas 24 horas/dia.

Todos os insetos coletados a partir das armadilhas foram triados, contados, identificados ao nível de ordem e família, etiquetados, montados e/ou acondicionados em recipientes com álcool 70%. A identificação foi realizada ao nível de ordem e família a partir de chaves dicotômicas disponíveis em Triplehorn e Johnson (2011) e Rafael et al. (2012). Após esse processo, os artrópodes foram incorporados à coleção entomológica do Laboratório de Monitoramento e Proteção Florestal (LAMPF) da Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, Brasil.

Foram obtidos dados de temperatura máxima, mínima e média mensal e umidade relativa do ar média mensal. Os dados foram disponibilizados pelo Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Rio Itajaí (CEOPS). Dados de precipitação (mm) foram obtidos a partir de pluviômetro instalado em área do PNSI.

Para a análise dados, foram calculados os parâmetros de número de famílias e abundância. Para verificar possíveis diferenças significativas, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, posteriormente, ao teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) e *post-hoc* de Mann-Whitney para dados não-paramétricos e teste de Tukey ($p < 0,05$) para dados paramétricos.

A similaridade entre as áreas amostrais foi avaliada a partir do índice quantitativo de Bray-Curtis (Magurran, 2011) e análise da distribuição dos grupos a partir de uma Análise de Agrupamento pelo método UPGMA (*Unweighted pair-group method with arithmetic mean*). Para verificar possíveis diferenças na composição de

famílias da entomofauna entre as áreas amostrais foi aplicada uma ANOSIM ($p < 0,05$) (Clarke e Green, 1988).

Para a análise da dinâmica populacional e correlação com as variáveis meteorológicas, foram selecionados os grupos mais abundantes (frequência relativa $> 1\%$) e, posteriormente, os dados de abundância de cada grupo foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e correlação de Spearman ($p < 0,05$) com as variáveis meteorológicas de temperatura máxima, mínima e média ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa média do ar (%) e precipitação (mm).

A análise ANOSIM foi realizada a partir do software R (R Development Core Team 2009) utilizando o pacote *vegan* (Oksanen et al., 2022). As demais análises foram realizadas a partir da utilização do software Paleontological Statistics (PAST) (Hammer et al., 2001).

Resultados

Foram amostrados 16.062 insetos, distribuídos em 15 ordens e 104 famílias. Do total de indivíduos, 58,76% foram coletados a partir das armadilhas *pitfall* e 41,24% coletados a partir das amostras de serapilheira depositadas nos funis de Berlese-Tüllgren. Por área amostral, o maior número de indivíduos foi registrado na área de floresta nativa ($n = 4.753$) e o menor na área com rugosidades no solo ($n = 3.475$), entretanto, não foram observadas diferenças significativas ($F = 1,004$; $p = 0,408$) (Tabela 1). O número de famílias foi semelhante entre as áreas amostrais, variando entre 59 e 65 famílias, não apresentado diferenças significativas ($F = 0,429$; $p = 0,733$) (Tabela 1).

Tabela 1 – Abundância total e número de famílias por área amostral. Sendo: FLO: floresta nativa; REG: regeneração natural; GAL: transposição de galharia; RUGO: rugosidades no solo.

Variável	FLO	REG	GAL	RUGO
Abundância total	4753	4134	3700	3475
Número de famílias	63	65	64	59

O índice de similaridade (Bray-Curtis) indica uma maior similaridade da área de floresta nativa com a regeneração natural (78,70%). Entretanto, a regeneração natural apresentou maior similaridade com as áreas com as técnicas de restauração (81,84% - 82,67%). As áreas com

as técnicas de restauração apresentaram maior similaridade entre si (85,11%) (Fig. 1). Ao analisar a composição a partir da ANOSIM, observaram-se diferenças significativas entre a floresta nativa e as áreas com as técnicas de restauração ($R = 0,142$; $p = 0,0076$) (Tabela 2).

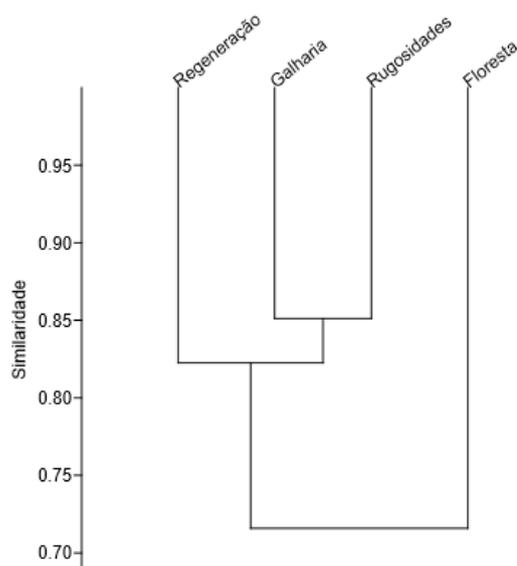


Figura 1 – Análise de agrupamento a partir do índice de similaridade quantitativo de Bray-Curtis.

Tabela 2 – Resultado da ANOSIM comparando a composição de famílias entre as diferentes áreas amostrais. Sendo: *: $p < 0,05$; NS: não significativo.

	Transposição de galharia	Regeneração natural	Rugosidades no Solo
Floresta nativa	0,0139*	0,0563 NS	0,0025*
Transposição de galharia	-	0,6649 NS	0,645 NS
Regeneração natural	-	-	0,219 NS

Durando o período de amostragem, a temperatura média observada foi de 22,64 °C e

maior pluviosidade registrada em fevereiro/2015 (272,4 mm) (Fig. 2).

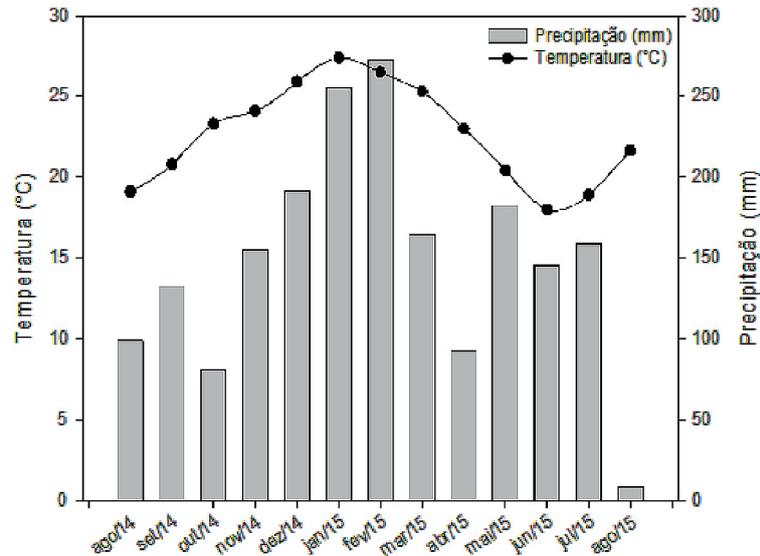


Figura 2 – Temperatura média mensal (°C) e precipitação pluviométrica para o período de agosto/2014 a agosto/2015.

As famílias mais abundantes (frequência > 1%) foram Hymenoptera: Formicidae (36,18%) e Chalcidoidea (1,84%), Coleoptera: Staphylinidae (9,35%), Ptiliidae (6,31%) e Curculionidae (5,39%), Hemiptera: Cicadellidae (4,33%), Cercopidae (3,28%) e Aphididae (1,52%), Orthoptera: Gryllidae (2,05%) (Anexo 1). Dessas, apenas as famílias Staphylinidae, Ptiliidae, Curculionidae, Gryllidae, Cercopidae e Aphididae apresentaram correlações significativas com as variáveis ambientais (Tabela 3; Fig. 3). Das variáveis ambientais, somente a temperatura apresentou correlações significativas (Tabela 3).

Das famílias da ordem Coleoptera, Staphylinidae apresentou correlação positiva significativa com a temperatura nas áreas de floresta nativa e regeneração natural. Os picos populacionais ocorreram em fevereiro/2015, com exceção da área de transposição de galharia, na qual foi observado em dezembro/2014 (Tabela 3; Fig. 3). A família Curculionidae apresentou correlação positiva significativa com a temperatura em todas as áreas amostrais. O pico populacional das áreas amostrais foi em outubro/2014, com exceção da área de rugosidades no solo, que apresentou pico populacional em fevereiro/2015 (Tabela 3; Fig. 3). Ptiliidae apresentou correlação positiva significativa com temperatura média e máxima na área com rugosidades no solo. Os picos

populacionais foram observados entre os meses de dezembro/2014 e abril de 2015 (Tabela 3; Fig. 3).

A família Gryllidae (Orthoptera) apresentou correlação positiva significativa com a temperatura na área de floresta nativa. Nas áreas de floresta nativa e rugosidades no solo, o pico populacional foi em fevereiro/2015, e nas áreas de transposição de galharia e regeneração natural, foi em outubro/2014 (Tabela 3; Fig. 4).

Aphididae (Hemiptera) apresentou correlação positiva significativa com a temperatura na área com transposição de galharia. Na área de floresta nativa, essa família foi praticamente ausente ($n = 1$). Na regeneração natural, a abundância variou pouco entre os períodos de coleta. Já nas áreas com as técnicas de restauração, foram observados picos populacionais em outubro/2014 na transposição de galharias e dezembro/2014 na área com rugosidades do solo (Tabela 3; Fig. 4).

A família Cercopidae (Hemiptera) apresentou correlação positiva significativa com temperatura média e máxima na área com rugosidades no solo. Na floresta nativa o pico populacional foi em junho/2015, em rugosidades no solo foi em fevereiro/2015 e nas áreas de transposição de galharia e regeneração natural foi em outubro/2014 (Tabela 3; Fig. 4).

Tabela 3 – Correlação Spearman das variáveis meteorológicas com a dinâmica populacional das famílias mais abundantes nas áreas amostrais. Sendo *: correlação significativa ($p < 0,05$).

Área Amostral	Temp. mínima (°C)	Temp. média (°C)	Temp. máxima (°C)	UR do ar média (%)	Precipitação (mm)
Família Staphylinidae (Coleoptera)					
Floresta	0,9285*	0,9642*	0,9642*	-0,6307	0,4857
Regeneração	0,8928*	0,8571*	0,8571*	-0,5766	0,4857
Galharia	0,6429	0,6786	0,6786	-0,5946	-0,0857
Rugosidades	0,6667	0,7568	0,7568	-0,4636	0,2571
Família Ptiliidae (Coleoptera)					
Floresta	0,7388	0,6667	0,6667	-0,2636	0,6571
Regeneração	0,0714	-0,0714	-0,0714	0,5946	-0,0857
Galharia	0,7159	0,5874	0,5874	-0,1389	0,2060
Rugosidades	0,7500	0,7857*	0,7857*	-0,4865	0,0857
Família Curculionidae (Coleoptera)					
Floresta	0,7388	0,8288*	0,8288*	-0,6818	-0,1160
Regeneração	0,7500	0,8571*	0,8571*	-0,7388	-0,0286
Galharia	0,6667	0,7748*	0,7748*	-0,7182	-0,0286
Rugosidades	0,8468*	0,8829*	0,8829*	-0,6091	0,4857
Família Cicadellidae (Hemiptera)					
Floresta	0,1622	0,0721	0,0721	0,2727	-0,2319
Regeneração	0,1429	0,2500	0,2500	-0,3604	-0,0857
Galharia	-0,1429	0,0000	0,0000	-0,4505	-0,6000
Rugosidades	0,2883	0,2162	0,2162	-0,0273	0,0286
Família Cercopidae (Hemiptera)					
Floresta	-0,2342	-0,1802	-0,1802	0,3364	0,5798
Regeneração	-0,4643	-0,3214	-0,3214	0,0000	-0,5429
Galharia	-0,0541	0,0901	0,0901	-0,6455	-0,6000
Rugosidades	0,9274*	0,8728*	0,8728*	-0,3853	0,4638
Família Gryllidae (Orthoptera)					
Floresta	0,9369*	0,9009*	0,9009*	-0,6091	0,4857
Regeneração	0,6429	0,7143	0,7143	-0,6847	-0,3143
Galharia	0,6126	0,7388	0,7388	-0,6636	0,0290
Rugosidades	0,5714	0,7143	0,7143	-0,5586	0,3714
Superfam. Chalcidoidea (Hymenoptera)					
Floresta	0,1261	0,1802	0,1802	0,1909	0,4058
Regeneração	0,0714	0,2143	0,2143	-0,1261	0,0286
Galharia	0,5406	0,4505	0,4505	0,0182	0,7247
Rugosidades	0,7042	0,5930	0,5930	-0,2057	-0,0580
Família Aphididae (Hemiptera)					
Floresta	0,4083	0,4083	0,4083	-0,4119	0,3928
Regeneração	0,1429	0,2143	0,2143	-0,0180	0,3714
Galharia	0,6786	0,8214*	0,8214*	-0,7388	-0,0286
Rugosidades	0,3243	0,3784	0,3784	-0,4182	-0,2000

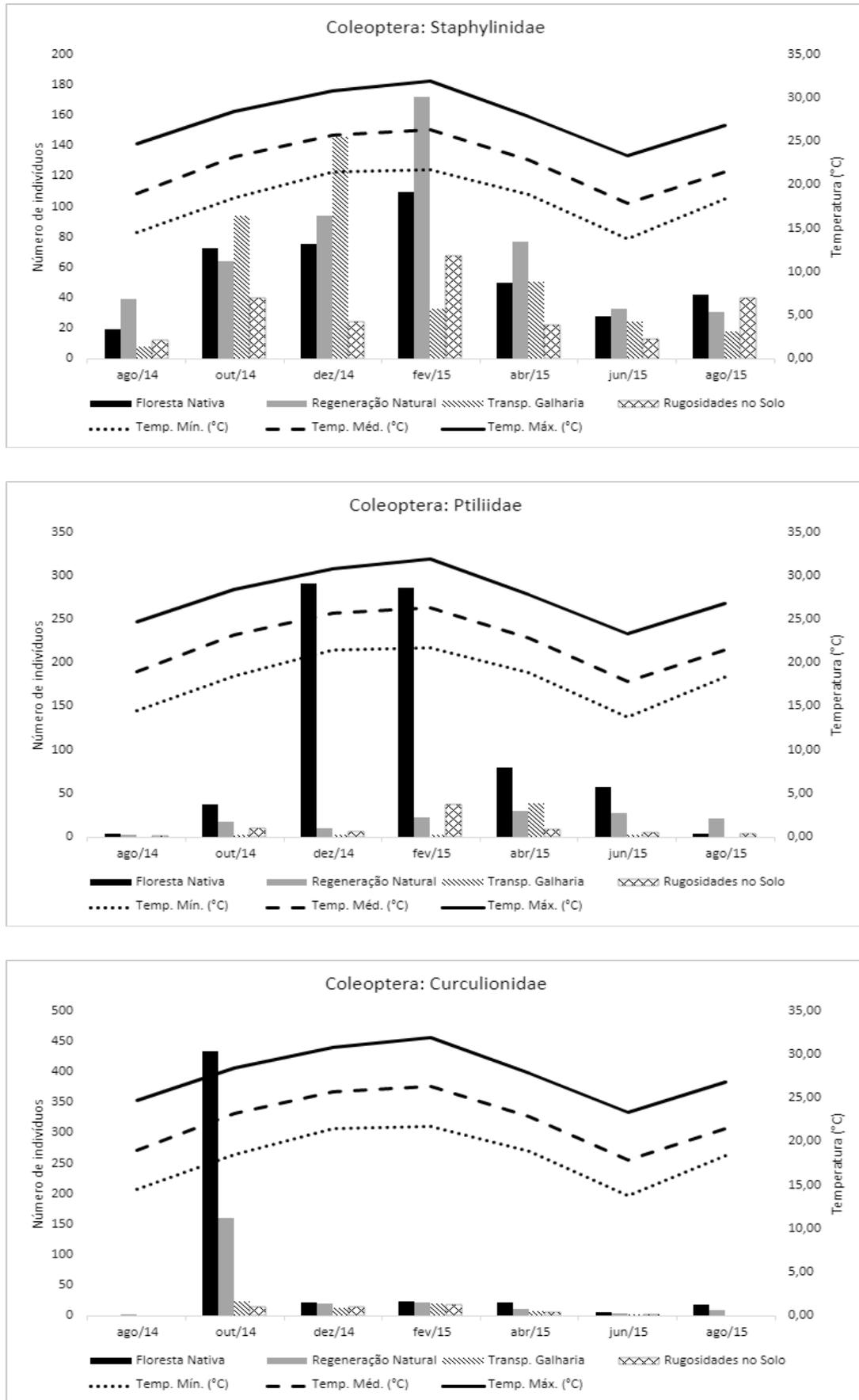


Figura 3 – Dinâmica populacional das famílias Staphylinidae, Ptiliidae e Curculionidae com correlações significativas com a variável temperatura.

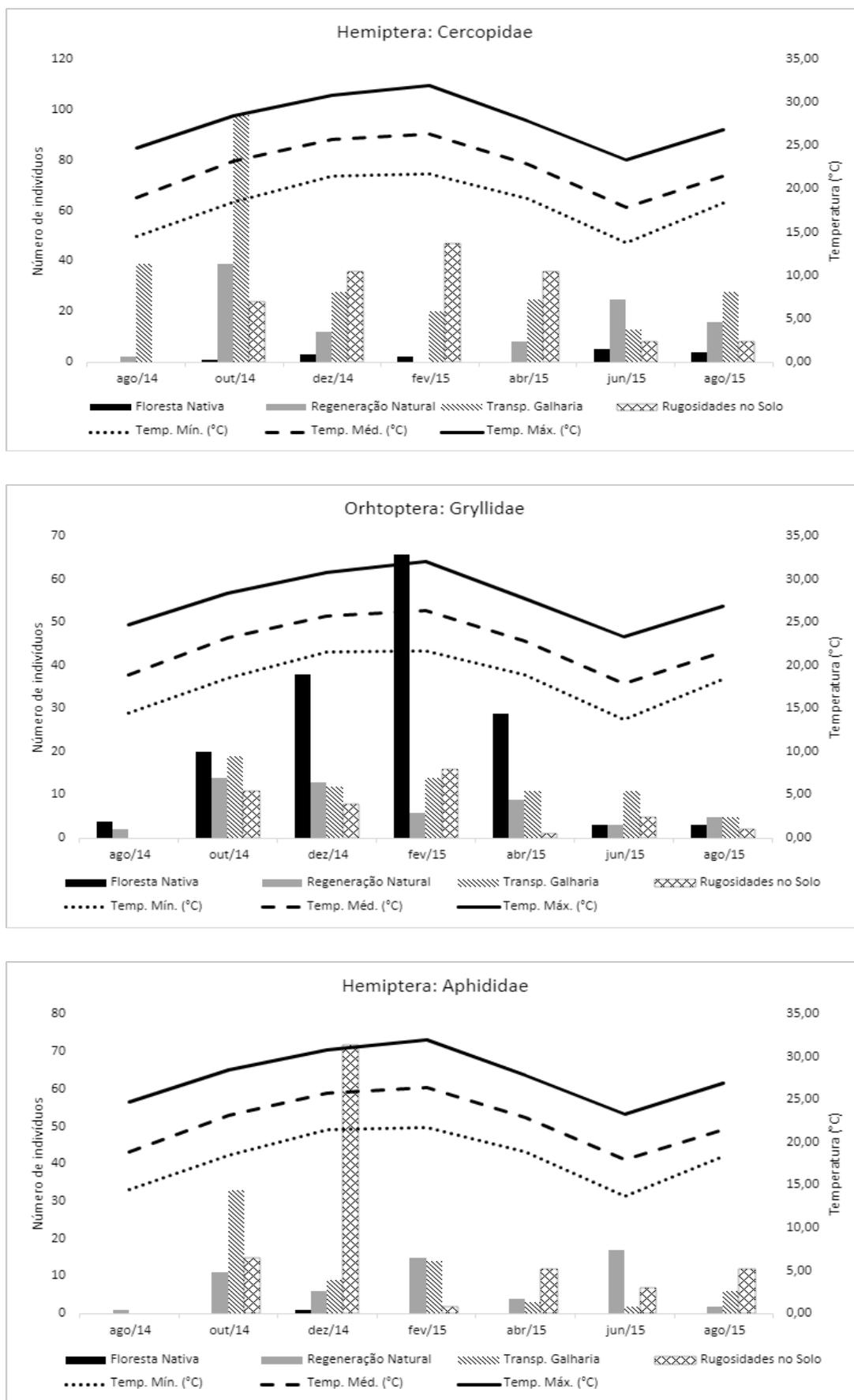


Figura 4 – Dinâmica populacional das famílias Cercopidae, Gryllidae e Aphididae com correlações significativas com a variável temperatura.

Discussão

A abundância e o número de famílias não diferiram significativamente entre as áreas amostrais (Tabela 1). A ausência de significância pode ser explicada devido à presença e proximidade de remanescentes florestais que podem atuar como facilitadores no processo de recolonização de grupos de entomofauna de serapilheira. Famílias como Staphylinidae (Coleoptera), por exemplo, são bons dispersores, movimentando-se a longas distâncias (Qodri et al., 2016).

As diferenças na composição, observadas a partir da análise de agrupamento (Fig. 1) e pela ANOSIM (Tabela 2) demonstram diferenças significativas na composição de famílias. A floresta nativa não diferiu apenas com a área de regeneração natural (Tabela 2), demonstrando que há famílias que possuem preferência por ambientes bem estruturados, com presença de cobertura arbórea, com destaque para as famílias Curculionidae e Ptiliidae. De forma inversa, há famílias que possuem preferência por ambientes menos estruturados e com elevada abundância de gramíneas, destacando-se as famílias Cercopidae, Cicadellidae e Aphididae. A cobertura vegetal influencia de diferentes formas na comunidade de insetos de serapilheira. Áreas com dossel fechado tendem a ter maior deposição de serapilheira quanto comparado a áreas com dossel mais aberto (Correia et al., 2016) e pesquisas apontam que o aporte de serapilheira pode ser semelhante entre estágios intermediários e avançados de sucessão (Dickow et al., 2012). A maior riqueza e diversidade de espécies vegetais presentes nas áreas de floresta nativa e regeneração natural (Schorn e Maçaneiro, 2018) fornece material mais diversificado para a serapilheira, permitindo a ocorrência de organismos com diferentes requerimentos alimentares. Já nas áreas com as técnicas de restauração, há predominância de gramíneas, favorecendo organismos fitófagos, notadamente os sugadores de seiva, como as cigarrinhas das famílias Cercopidae e Cicadellidae (Hemiptera). Além disso, a simplificação do *habitat* pela pastagem diminui a ocorrência de inimigos naturais e aumenta a concentração de recursos alimentares, que favorece as populações das cigarrinhas. Desse modo, nas áreas em processo de restauração, a predominância de gramíneas exóticas é um fator limitante para o estabelecimento de determinadas famílias de insetos, notadamente para aqueles exigentes de recursos e condições.

Entretanto, famílias de insetos mais adaptadas a variações ambientais e a cobertura por gramíneas, são beneficiadas. Isso pode ser observado a partir dos dados de flutuação populacional das famílias de Aphididae e Cercopidae (Hemiptera), que apresentaram correlação positiva com a temperatura nas áreas com transposição de galharia e rugosidades no solo, respectivamente (Tabela 3; Fig. 4), ou seja, as populações dessas famílias se desenvolveram mais nos períodos de temperatura mais alta. Já nas áreas de floresta nativa e regeneração natural, exemplares dessas famílias foram praticamente ausentes (Anexo 1). Quanto à família Staphylinidae (Coleoptera), correlações positivas com a temperatura foram observadas apenas nas áreas de floresta nativa e regeneração natural (Tabela 3; Fig. 3).

Das variáveis ambientais, a temperatura foi a única variável que apresentou correlações positivas significativas com os grupos de entomofauna de serapilheira, variando entre as áreas amostrais (Tabela 3; Fig. 3 e 4), ou seja, as populações se desenvolvem nos períodos de temperatura mais alta, diminuindo a ocorrência conforme diminui a temperatura. Entretanto, os padrões variaram entre as áreas amostrais para uma mesma família, indicando que o padrão de resposta das populações à variação de temperatura modifica de acordo com as características do ambiente, conforme observado na dinâmica populacional de Coleoptera: Staphylinidae, Ptiliidae, Hemiptera: Cercopidae, Aphididae e Orthoptera: Gryllidae (Tabela 3; Fig. 3 e 4). As condições microclimáticas influenciam direta e indiretamente em grupos de entomofauna de serapilheira (Schowalther, 2006; Ottermanns et al., 2011) sendo que o impacto da temperatura é modificado pelo *habitat* (Danks, 2006). Nesse contexto, o dossel da floresta é um dos fatores determinantes do microhabitat de ecossistemas florestais (Jennings et al., 1999), podendo reduzir a temperatura do solo e a evaporação da água do solo devido ao sombreamento (Guariguata e Ostertag, 2001). Assim, a temperatura diminui devido ao fechamento do dossel durante o avanço do processo de sucessão ecológica (Ottermanns et al., 2011). Essas alterações podem influenciar consideravelmente nos parâmetros estruturais e na dinâmica de algumas famílias da entomofauna da serapilheira.

Formicidae (Hymenoptera) foi a família mais representativa, padrão frequentemente encontrado

em levantamentos da fauna da serapilheira (por exemplo, Vanolli et al., 2021). Apresentam hábitos alimentares e comportamentais bastante diversificados, havendo desde gêneros e espécies generalistas, adaptando-se a ambientes perturbados e degradados até espécies especialistas, sensíveis a alterações ambientais (Baccaro et al., 2015).

A família Curculionidae (Coleoptera) apresentou correlação com a temperatura em todas as áreas amostrais (Tabela 3; Fig. 3), indicando ser uma família sensível às variações de temperatura. Já a família Ptiliidae (Coleoptera) apresentou correlação com temperatura apenas na área de rugosidades no solo (Tabela 3; Fig. 3). Os ptilídeos são besouros fungívoros, e em ambientes florestais fornecem condições ambientais mais propícias e estáveis para a proliferação de fungos (Marinoni e Ganho, 2003).

A família Staphylinidae é frequentemente encontrada, em maior abundância, nas áreas de interior de floresta (Marinoni e Ganho, 2003; Meloni e Varanda, 2015; Qodri et al., 2016), sugerindo a preferência dessa família por ambientes sombreados e com maior deposição de serapilheira (Fernandes et al., 2011). A elevada abundância de Staphylinidae em todas as áreas amostrais pode ser explicada pela sua alta mobilidade, devido a suas asas bem desenvolvidas (Qodri et al., 2016) e sua diversidade de hábitos tróficos (Casari e Ide, 2012), que permite aos indivíduos dessa família colonizar diferentes tipos de habitat.

A família Gryllidae (Orthoptera) apresentou correlação significativa com temperatura apenas nas áreas de floresta nativa (Tabela 3; Fig. 4). A partir dos resultados, observa-se que a floresta nativa parece oferecer os recursos e condições mais adequados e onde as alterações no *habitat* afetaram a abundância e dinâmica populacional dos grilos (Fig. 4). Os grilos apresentam potencial como bioindicadores da restauração ecológica, por estarem mais associados a ambientes florestais (Anso et al., 2022). Nossos dados corroboram com Camara et al. (2017) que, ao amostrarem a fauna edáfica em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual em diferentes estágios de regeneração, observaram que estágios mais avançados de regeneração favoreceram a ordem Orthoptera.

Cercopidae (Hemiptera) apresentou correlação positiva significativa com a temperatura na área de rugosidades no solo (Tabela 3; Fig. 4). São insetos fitófagos, alimentando-se da seiva das plantas (Goldani e Carvalho, 2003) sendo algumas espécies consideradas pragas de pastagens (Grazia et al., 2012), o que explica sua elevada abundância nas áreas com as técnicas de restauração. A correlação de Cercopidae com a temperatura em pastagens foi observada também por Auad et al. (2009) e Lohmann et al. (2010). Porém, levantamentos realizados por Auad et al. (2009) encontraram correlação significativa com precipitação e umidade relativa do ar, o que não foi observado em nosso levantamento. Padrão semelhante foi observado na dinâmica populacional da família Aphididae (Hemiptera), entretanto, esta família apresentou correlação com a temperatura apenas nas áreas com transposição de galharias, apresentando aumento da abundância de indivíduos com o aumento da temperatura. (Tabela 3; Fig. 4). Conhecidos popularmente como pulgões, indivíduos dessa família são fitófagos, sugadores de seiva (Grazia et al., 2012). Apresentam elevada complexidade ecológica, sendo influenciados pela interação entre fatores bióticos e abióticos (Lazzarotto e Lazzari, 1998). Nossos dados corroboram com Beiroz et al. (2014) que registraram a ordem Hemiptera como indicador de áreas de pastagens, ao comparar com áreas de plantio de *Eucalyptus* e floresta secundária.

Conclusões

Não foram observadas diferenças significativas na abundância e número de famílias da entomofauna de serapilheira entre as áreas amostrais, entretanto os dados demonstram um efeito negativo da pastagem na comunidade de famílias através da realocação/substituição de espécies, evidenciada pela diferença de composição entre as áreas em estágio avançado (floresta nativa) e intermediário (regeneração natural) de sucessão e as de pastagens em processo de restauração.

O efeito do gradiente de temperatura ao longo das estações do ano influenciou significativamente na dinâmica populacional de muitas famílias, entre elas: Staphylinidae, Ptiliidae, Curculionidae (Coleoptera), Cercopidae,

Aphididae (Hemiptera) e Gryllidae (Orthoptera). Dessa forma, essa variável deve ser considerada na definição e implantação das estratégias de restauração de modo a favorecer o restabelecimento da entomofauna de serapilheira.

Famílias da entomofauna da serapilheira apresentaram potencial para uso como bioindicadores no monitoramento da restauração ecológica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Regional de Blumenau (FURB), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), ao Laboratório de Monitoramento e Proteção Florestal (LAMPF), à Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), ao Projeto Restaurar e ao Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES – Iniciativa Mata Atlântica).

Referências

- Adenesky-Filho E, Maçaneiro JP, Vitorino MD. How to select potential species for ecological restoration of rain forest – Southern Brazil. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2017; 15. doi: 1671-1684, 2017.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 2013; 22: 711-728.
- Anso J, Gasc A, Bourguet E, Desutter-Grandcolas L, Jourdan H. Crickets as indicators of ecological succession in tropical systems, New Caledonia. *Biotropica*. 2022; 54(5): 1270-1284. doi: <https://doi.org/10.1111/btp.13151>
- Auad AM, Carvalho CA, Silva DM, Deresz F. Flutuação populacional de cigarrinha-das-pastagens em braquiária e capim-elefante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2009; 44: 1205-1208.
- Aumond JJ. Adoção de uma nova abordagem para a recuperação de área degradada pela mineração [tese]. Florianópolis: Universidade de Santa Catarina; 2007. 266 f.
- Baccaro FB, Feitosa RM, Fernandez F, Fernandes IO, Izzo TJ, Souza JLP, Solar R. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Manaus: Editora INPA; 2015.
- Beiroz W, Audino LD, Queiroz ACM, Rabello AM, Boratto IA, Silva Z, Ribas CR. Structure and composition of edaphic arthropod community and its use as bioindicators of environmental disturbance. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2014; 12: 481-491.
- Brancaion PHS, Holl KD. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Sugauma, Durigan and Reid. *Restoration Ecology*. 2015; 24: 1-3.
- Brasil. Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2017.
- Borges FLG, Oliveira MR, Almeida TC, Majer JD, Garcia LC. Terrestrial invertebrates as bioindicators in restoration ecology: A global bibliometric survey. *Ecological Indicators*. 2021; 125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107458>
- Camara R, Santos GL, Pereira MG, Silva CF, Silva VFV, Silva RM. Effects of natural Atlantic Forest regeneration on soil fauna, Brasil. *Floresta e Ambiente*. 2018; 25(1). doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.001716>
- Casari SA, Ide S. Coleoptera Linnaeus, 1758. In: Rafael JA, Melo GAR, Carvalho CJB, Casari SA, Constantino R. (eds.) *Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia*. Ribeiro Preto: Holos; 2012; 453-536.
- Clarke KR, Green RH. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology – Progress Series*. 1988; 46: 213-26.
- Cole RJ, Holl KD, Zahawi RA, Wickey P, Townsend AR. Leaf litter arthropod responses to tropical forest restoration. *Ecology and Evolution*. 2016; 6: 5158-5168. doi: 10.1002/ece3.2220
- Correia GGS, Martins SV, Neto AM, Silva, KA. Estoque de serapilheira em floresta em restauração e em Floresta Atlântica de Tabuleiro no sudeste brasileiro. *Árvore*. 2016; 40: 13-20. doi: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100002>
- Danks HV. The elements of seasonal adaptations in insects. *The Canadian Entomologist*. 2006; 139: 1-44.
- Dickow KMS, Marques R, Pinto CB, Höfer H. Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina/PR. *Cerne*. 2012; 18: 75-86. doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100010>
- Fernandes FS, Alves SS, Santos HF, Rodrigues WC. Staphylinidae e Silphidae (Coleoptera) como potenciais famílias bioindicadoras da qualidade ambiental. *Revista Eletrônica TECCEN*. 2011; 4(3): 17-32.
- Goldani A, Carvalho GS. Análise de parcimônia de endemismo de cercopídeos neotropicais (Hemiptera, Cercopidae). *Revista Brasileira de Entomologia*. 2003; 47: 437-442. doi: <https://doi.org/10.1590/S0085-56262003000300013>

- Grazia J, Cavichioli RR, Wolff VRS, Fernandes JAM, Takiya DM. Hemiptera. In: Rafael JA, Melo GAR, Carvalho CJB, Casari SA, Constantino R. Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. Holos, Ribeirão Preto, São Paulo; 2012. 345-406.
- Guariguata MR, Ostertag R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*. 2001; 148: 185-206. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00535-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00535-1)
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis; 2001. Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2012.
- ICMbio. Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra do Itajaí. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; 2009.
- Jennings SB, Brown ND, Sheil D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*. 1999; 72(1): 59-73.
- Lavelle P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*. 1996; 33: 3-16.
- Lázaro A, Tscheulin T, Devalez J, Nakas G, Petanidou T. Effects of grazing intensity on pollinator abundance and diversity, and on pollination services. *Ecological Entomology*. 2016; 41: 400-412. doi: <https://doi.org/10.1111/een.12310>
- Lazzarotto CM, Lazzari SMN. Richness and diversity of aphids (Homoptera, Aphididae) along an altitudinal gradient in the Serra do Mar, Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 1998; 15: 977-983.
- Lohmann TR, Pietrowski V, Bressan DF. Flutuação populacional de cigarrinhas-das-pastagens na Região Oeste do Paraná. *Semina: Ciência Agrárias*. 2010; 31: 1291-1298.
- Maçaneiro JP, Gasper AL, Schorn LA, Galvão F. Few dominant native woody species: How subtropical rainforest successional process acts on abandoned pastures in Southern Brazil. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2017; 15: 1633-1676. doi: [10.15666/aeer/1504_16331676](https://doi.org/10.15666/aeer/1504_16331676)
- Magurran AE. *Medindo a diversidade biológica*. Curitiba: UFPR; 2011.
- Marinoni RC, Ganho NG. Fauna de Coleoptera no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Abundância e riqueza das famílias capturadas através de armadilhas de solo. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2003; 20: 737-744.
- Meloni F, Varanda EM. Litter and soil arthropod colonization in reforested semi-deciduous seasonal Atlantic forests. *Restoration Ecology*. 2015; 23(5): 690-697. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12236>
- Mittermeier RA, Gil PR, Hoffmann M, Pilgrim J, Brooks T, Mittermeier CG, Lamoreux J, Fonseca GAB. Hotspots Revisited. *Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Cemex/Agrupación Sierra Madre: Mexico City; 2004.
- Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H. *Vegan: Community Ecology Package*. Pacote R Versão 2.5-6; 2018. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- ONU. Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019. United Nations; 2019.
- Ottermanns R, Hopp PW, Guschal M, Santos GP, Meyer S, Roß-Nickoll. Causal relationship between leaf litter beetle communities and regeneration patterns of vegetation in the Atlantic rainforest of Southern Brazil (Mata Atlântica). *Ecological Complexity*. 2011; 8: 299-309. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2011.06.001>
- Pandolfo C, Braga HJ, Silva Júnior VP da, Massignan AM, Pereira ES, Thomé VMR, Valci FV. *Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri; 2002.
- Qodri A, Raffudin R, Noerdjito WA. Diversity and abundance of Carabidae and Staphylinidae (Insecta: Coleoptera) in four Montane Habitat Types on Mt. Bawakaraeng, South Sulawesi. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2016; 23: 22-28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2016.04.002>
- Rafael JA, Melo GAR, Carvalho CJB, Casari SA, Constantino R. Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia. Ribeirão Preto: Holos; 2012.
- Reis A, Bechara FC, Espindola MB, Vieira NK, Souza LL. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para implementar processos sucessionais. *Natureza & Conservação*. 2003; 1: 28-36.
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, Hirota MM. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implication for conservation. *Biological Conservation*. 2009; 142: 1141-1153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- Salomão RP, Pordeus LM, Lira AFA, Iannuzzi L. Edaphic beetle (Insecta: Coleoptera) diversity over a forest-matrix gradient in a tropical forest. *Journal of*

Insect Conservation. 2018; 22: 511-519. doi: <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0079-3>

Schorn LA, Maçaneiro JP. Levantamento da Vegetação. In: Vitorino MD, Adenisky-Filho E. Diagnóstico prévio: subsídio preliminar para projetos de restauração ecossistêmica. Blumenau: Edufurb; 2018. 149-170.

Schowalter TD. Insect ecology: an ecosystem approach. 2 ed. Academic Press; 2006.

Suganuma MS, Durigan G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple references ecosystems. Restoration Ecology. 2015; 23: 238-251. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12168>

Triplehorn CA, Johnson NF. Estudo dos Insetos: tradução da 7ª edição de borror and delong's introduction to the study of insects. São Paulo: Cengage Learning; 2011.

Vanolli BS, Canisares LP, Franco ALC, Delabie JHC, Cerri CEP, Cherubin MR. Epigeic fauna (with emphasis on ant community) response to land-use change for sugarcane expansion in Brazil. Acta Oecologica. 2021; 110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103702>

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.
Fluxo Contínuo
n.2, 2023

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886