**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

# Sazonalidade e diversidade de Ephemeroptera Neotropicais

**Vinicius Costa**

Vitória, ES
Março, 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

# Sazonalidade e diversidade de Ephemeroptera Neotropicais

**Vinicius Costa**

Orientador: Prof. Dr. Frederico Falcão Salles

Coorientadora: Profa. Dra. Tathiana Guerra Sobrinho

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal) da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Animal

Vitória, ES
Março, 2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

Costa, Vinicius, 1991-
C837s Sazonalidade e diversidade de Ephemeroptera Neotropicais / Vinicius Costa. - 2019.
75 f. : il.

Orientador: Frederico Falcão Salles.
Coorientadora: Tathiana Guerra Sobrinho.
Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Macroinvertebrados. 2. Insetos aquáticos. 3. Ecologia de paisagem. 4. Análise circular. 5. Partição aditiva. I. Salles, Frederico Falcão. II. Sobrinho, Tathiana Guerra. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

---

Vinicius Costa

**"Sazonalidade e Diversidade de Ephemeroptera Neotropicais"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Humanas e Naturais, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Biologia Animal.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2019.

Comissão Examinadora:

**Prof. Dr. Frederico Falcão Salles (UFES)**
Orientador e Presidente da Comissão Examinadora

**Prof. Dr. Gustavo Rocha Leite (UFES)**
Examinador Titular Interno

**Prof. Dr. Walace Pandolpho Kiffer (UVV)**
Examinador externo

*Carinhosamente dedico esta dissertação aos meus pais.*
*Deuseni e Jair*

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Fred que me orientou nestes dois anos. Muito obrigado por me incentivar, pelas oportunidades e por todos os ensinamentos que certamente extrapolam os muros da universidade, tenha certeza que os levarei para vida. Obrigado por me aguentar e por me mostrar o quanto esses insetos são incríveis.

A profa. Tathi, por ter embarcado nessa dissertação e por ter me acalmado todas as vezes que cheguei desesperado na sua sala. Você é uma pessoa incrível, sempre disposta e companheira, obrigado por tudo.

A FAPES pelo suporte financeiro (bolsa de mestrado) e ao CNPq pelo apoio financeiro durante as campanhas de coleta.

Aos meus companheiros de LabSEI, vocês são incríveis, obrigado por cada sorriso, por cada abraço e puxão de orelha. Saibam que aproveitei cada momento ao lado de vocês e espero que essa parceria dure muitos anos. Quero destacar meus amigos que me ajudaram nas “coletas sem fim” e estiveram sempre dispostos e com um sorriso no rosto. Tatá e Bonfá sem vocês certamente este trabalho não aconteceria.

As minhas companheiras de república, nossa, eu acho que obrigado é pouco por tudo que vivemos, minha família de São Mateus. Lembrarei de cada sorriso, de cada lágrima, das angustias e dos desafios de viver com outras pessoas “desconhecidas”. Oh BARBARÁ e o Ó THAYNA serão sempre lembrados, amo vocês.

A Kaká, minha namorada, que me deu o suporte emocional e esteve comigo em todos os momentos dessa jornada. Espero que a nossa jornada juntos seja infinita. Eu amo você minha neguinha.

A minha família, que mesmo sem entender muito bem o que eu faço me apoia nas minhas decisões e embarca comigo nos desafios. Obrigado Mãe (Deuseni) e Pai (Jair) vocês sempre foram meus alicerces, meu espelho, tenho muito orgulho de tê-los como pais.

A todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

*Foi um rio que passou em minha vida*
*E meu coração se deixou levar.*

*(Paulinho da Viola)*

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi investigar a variação sazonal de alados de Ephemeroptera em um ambiente de Mata Atlântica e os processos (em diferentes escalas) que determinam a diversidade da ordem para a região tropical. O primeiro capítulo trata da investigação da variação sazonal dos alados de Ephemeroptera em ambientes neotropicais, no qual realizamos a descrição da abundância das populações no decorrer das estações climáticas e verificamos suas relações com os fatores climáticos repetitivos. O segundo capítulo trata dos aspectos ecológicos da ordem e como sua diversidade está distribuída nas diferentes escalas ecológicas, seguindo os preceitos da partição aditiva da diversidade. Para alcançar nossos objetivos realizamos coletas na Reserva Biológica Augusto Ruschi, localizada no município de Santa Teresa (Espírito Santo, Brasil). Efetuamos coletas de dados em três córregos dentro dos limites da reserva (córrego Lombardia, córrego Roda D'água e córrego Bragacho). Para a coleta dos dados fenológicos realizamos coletas mensais entre maio de 2017 e abril de 2018, com armadilhas luminosas de bandeja, e por armadilhas do tipo malaise. Para investigar como determinados fatores que agem em diferentes escalas espaciais (local, mesoescala e regional) influenciam na diversidade de Ephemeroptera, foi realizada uma campanha de coleta de ninfas em dezembro de 2017, em 18 pontos, sendo seis pontos em cada córrego estudado. A amostragem foi realizada pelo método de varredura. Desta forma, as coletas foram realizadas de acordo com o seguinte esquema hierárquico: (α) que abrange apenas o substrato (folhiço, pedra e cascalho/areia); (β1) diferença entre a composição de espécies entre os locais; (β2) meso-habitats, que compreende a troca de espécies que ocorre entre os substratos mais a velocidade do fluxo da água (remanso ou correnteza); (β3) troca entre a composição de espécies entre os córregos e (γ) a diversidade regional, que é a soma de todos níveis hierárquicos. Para o capítulo um coletamos um total de 1676 alados de Ephemeroptera pertencentes a cinco famílias. Para as análises do capítulo dois coletamos no total 403 espécimes de Ephemeroptera no estágio ninfal, pertencentes a cinco famílias e 24 espécies. Os dados apresentados e discutidos neste estudo corroboram a premissa de que ordem Ephemeroptera

da região de Mata Atlântica apresenta um padrão sazonal de abundância e riqueza durante o ano. Verificamos ainda, que ao nível de micro-habitat, o tipo de substrato exerce grande influência nas taxas de riqueza e abundância da comunidade de Ephemeroptera. Em nível de paisagem, por outro lado, a escala local é a que menos contribui na determinação da diversidade. As diferenças entre os rios, dessa forma, é o fator mais importante para o acréscimo de espécies à diversidade regional. E este resultado é particularmente relevante em programas de apelo conservacionista, visto que de acordo com ele o gasto de recursos em estudos de diversidade e programas de conservação da biodiversidade da fauna estudada pode ser mais efetivo ao priorizar (i) grande cobertura espacial (muitos locais que possuem riachos) e (ii) diversidade de substratos.

Palavras-chave: Macroinvertebrados; Insetos aquáticos, Ecologia de paisagem, Análise circular; Partição aditiva.

**ABSTRACT**

The objective of this work was to investigate the seasonal fluctuation of alates of Ephemeroptera of atlantic forest biome and the processes (on different scales) that determine the diversity of the order for the tropical region. The first chapter deals with the investigation of the seasonal fluctuation of the Ephemeroptera alates in neotropical environments, we describe the fluctuation of the abundance of the populations during the climatic seasons and verify their relations with the repetitive climatic factors. The second chapter deals with the ecological aspects of the order and how its diversity is distributed in the different ecological scales, following the precepts of the additive partition of diversity. In order to reach our objectives, we make collections at the Augusto Ruschi Biological Reserve, located in the municipality of Santa Teresa (Espírito Santo, Brazil). We collected data in three streams within the limits of the reserve (Lombardia stream, Roda D'água stream and Bragacho stream). In order to collect the phenological data, we carried out monthly collections between May 2017 and April 2018, with tray traps and malaise traps. To investigate how certain factors acting on different spatial scales (local, mesoscale and regional) influence the diversity of Ephemeroptera, a nymphs collection campaign was carried out in December 2017, in 18 points, with six points in each stream studied. Sampling was performed by scanning method. In this way, the collections were performed according to the following hierarchical scheme: (α) covering only the substrate (litter, stone and gravel / sand); (β1) difference between species composition between sites; (β2) meso-habitats, which comprises the species exchange that occurs between the substrates plus the velocity of the water flow (backwater or stream); (β3) exchange between species composition between streams and (γ) regional diversity, which is the sum of all hierarchical levels. For chapter one we collected a total of 1676 Ephemeroptera wings belonging to five families. For the analysis of chapter two we collected a total of 403 ephemeroptera specimens in the nymphal stage, belonging to five families and 24 species. The data presented and discussed in this study corroborate the premise that the order Ephemeroptera of the atlantic forest region presents a seasonal pattern of abundance and wealth during the year. We also verified that at the micro-habitat level, the type of substrate exerts a great influence on the wealth and abundance

rates of the Ephemeroptera community. At the landscape level, on the other hand, the local scale contributes least to the determination of diversity. The differences between the rivers, in this way, is the most important factor for the increase of species to the regional diversity. And this result is particularly relevant in programs of conservationist appeal, since according to him the resource expenditure in diversity studies and biodiversity conservation programs of the studied fauna can be more effective when prioritizing (i) great space coverage (many sites which have streams) and (ii) diversity of substrates.

Keywords: Macroinvertebrates; Aquatic insects, Landscape ecology, Circular analysis; Additive partition.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Valores obtidos a partir da análise circular: valores do vetor r, significância e comparação com período de concentração de abundâncias. .. 33

Tabela 2 – Significância dos modelos das análises de covariância..... 39

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Partição da diversidade com a contribuição de cada nível para a diversidade regional (γ), intervalo esperado pelos componentes e o p valor, obtidos a partir de comparação de modelos nulos ..... 61

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1 - Localização e vista geral da Rebio Augusto Ruschi destacando sua localização no Brasil e Espírito Santo e pontos de coleta. ..... 28

Figura 2 - Pontos de coleta: P1 – córrego Lombardia - 19°53'20.60"S, 40°32'41.50"W; P2 – córrego Roda D'agua - 19°53'35.13"S, 40°32'39.71"W; e P3 – córrego Bragacho - 19°52'2.53"S, 40°33'34.27"W. ..... 29

Figura 3 – Gráficos de distribuição da abundância de Ephemeroptera. A- Distribuição da abundância total da ordem dos espécimes capturados nas armadilhas Malaise e luminosa; B- Gráfico da análise circular da abundância de alados totais capturados em armadilha luminosa. ..... 32

Figura 4 - Riqueza de espécies de Ephemeroptera coletadas no período da pesquisa e riqueza de espécies das distintas famílias coletadas. ..... 33

Figura 5- Gráficos de distribuição da abundância de famílias mais abundantes. A, C e E- Distribuição da abundância total da família capturados na Malaise e na armadilha luminosa; B, D e F- Gráficos da análise circular da abundância de alados divididos por família capturados em armadilha luminosa. ..... 34

Figura 6 - Representação gráfica da distribuição da abundância das distintas espécies de Leptophlebiidae que apresentaram mais de 30 espécimes coletados no período da pesquisa. *A – Askola froehlichi; B – Farrodes carioca; C – Hagenulopsis díptera; D – Massartella brieni; E – Miroculis sp. n.; F – Miroculis mourei; G – Ulmeritoides negribullae.* ..... 37

Figura 7 - Representação gráfica da distribuição da abundância das distintas espécies de Baetidae que apresentaram mais de 30 espécimes coletados no período da pesquisa. *A – Baetodes sp.; B – Callibaetoides caaigua.* ..... 37

Figura 8 - Representação gráfica da distribuição da abundância das distintas espécies de Leptohyphidae que apresentaram mais de 30 espécimes coletados

no período da pesquisa. *A – Leptohyphodes inanis; B – Tricorythodes bullus; C – Traverhyphes yuati; D – Tricorythopsis yacutinga.* ..... 38

Figura 9 – Gráfico de colinearidade de variáveis explicativas (pluviosidade e temperatura média mensal do período da pesquisa, e pluviosidade e temperatura média em uma série histórica de dez anos) ..... 39

Figura 10 – Abundância e riqueza em função da pluviosidade e temperatura na série histórica. A- Abundância e pluviosidade anual; B- Abundância e pluviosidade histórica; C- Riqueza e pluviosidade anual; D- Riqueza e pluviosidade histórica; E- Abundância e temperatura histórica; F- Riqueza e temperatura histórica ..... 41

**CAPÍTULO 2**

Figura 1 - Localização e visão geral da Rebio Augusto Ruschi destacando os pontos de coleta. 1- Córrego Lombardia; 2- Córrego Roda D'agua; 3- Córrego Bragacho. ..... 55

Figura 2 – Comparação visual dos locais de coleta. A- Córrego Lombardia; B- Córrego Bragacho; C- Roda D'agua ..... 56

Figura 3 – Esquema hierárquico de partição de diversidade do presente estudo. ..... 57

Figura 4 – Demarcação dos pontos de coleta na menor escala espacial (α).. 58

Figura 5 – Gráficos de abundância e riqueza de Ephemeroptera em função do substrato. Os "***" na parte superior dos gráficos indicam resultados significativos ao nível de <0.01 de probabilidade entre pares de substratos. E "." Indica que a diferença encontrada encontrada entre a abundância dos substratos folhiço e laje/pedra não foi significativa. ..... 60

Figura 6 – Diversidade esperada e observada. Partição aditiva da diversidade gama em alfa e três níveis de beta, expressa graficamente pela contribuição de cada nível para a riqueza de espécies coletadas. *** resultados significativos ao nível de <0.01 de probabilidade. .....61

**SUMÁRIO**

**INTRODUÇÃO GERAL ..... 16**

**OBJETIVOS ..... 19**

OBJETIVO GERAL DA DISSERTAÇÃO ..... 19

**Objetivos do primeiro capítulo** ..... 19

**Objetivos do segundo capítulo** ..... 19

FORMATAÇÃO DA DISSERTAÇÃO ..... 20

**REFERÊNCIAS ..... 21**

**CAPÍTULO 1 - Flutuação sazonal na abundância e riqueza de alados de Ephemeroptera de Mata Atlântica ..... 23**

RESUMO ..... 24

INTRODUÇÃO ..... 24

MATERIAL E MÉTODOS ..... 27

**Área de estudo** ..... 27

**Coleta de dados** ..... 28

**Análise de dados** ..... 30

RESULTADOS ..... 31

DISCUSSÃO ..... 41

REFERÊNCIAS ..... 44

**CAPÍTULO 2 - Como fatores que agem em diferentes escalas espaciais podem influenciar a diversidade de Ephemeroptera em um ambiente de Mata Atlântica? ..... 50**

RESUMO ..... 51

INTRODUÇÃO ..... 51

MATERIAL E MÉTODOS ..... 54

**Área de estudo** ..... 54

**Coleta de dados** ..... 56

**Análise de dados** ..... 58
RESULTADOS ..... 59
DISCUSSÃO.....61
REFERÊNCIAS ..... 64
**CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 69**
**ANEXOS..... 71**
ANEXO 1 - LISTAS DE ESPÉCIES – CAPÍTULO 1..... 72
ANEXO 2 - LISTAS DE ESPÉCIES – CAPÍTULO 2..... 74

## INTRODUÇÃO GERAL

A ordem Ephemeroptera é um pequeno grupo de insetos de desenvolvimento hemimetábolo composto exclusivamente por organismos anfibióticos, os quais passam a maior parte do seu ciclo de vida na forma de náiades (ninfas aquáticas). Antagonicamente, a fase adulta terrestre é efêmera, destinada apenas à reprodução e à dispersão, e é devido exatamente a esta efemeridade na fase adulta que a ordem recebeu o seu nome (DA-SILVA, SALLES, *et al.*, 2003; DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006). O grupo provavelmente constitui o clado mais antigo dentre os insetos alados atuais, que em meio a várias características consideradas plesiomórficas, ressaltam-se a incapacidade de dobrar suas asas sobre o abdome e por possuir dois estágios alados em seu desenvolvimento, denominadas sub-imago e imago, característica esta, dada como única dentre os insetos atuais (SALLES, DA-SILVA, *et al.*, 2004).

Atualmente Ephemeroptera possui cerca de 3500 espécies conhecidas e descritas pela ciência, organizadas em 450 gêneros e 42 famílias (SALLES, DOMÍNGUEZ, *et al.*, 2019). Nesse cenário a região Neotropical se destaca como uma das mais diversas, possuindo atualmente 820 espécies distribuídas em 130 gêneros e 16 famílias (SALLES, DOMÍNGUEZ, *et al.*, 2019). Seus representantes constituem um dos principais grupos de macroinvertebrados bentônicos, ocupando a maioria dos meso-habitats disponíveis, que vai de áreas de remanso com água represada a áreas de forte correnteza (BARBER-JAMES, GATTOLLIAT, *et al.*, 2008)

As efemérides são consideradas elementos ecológicos importantes nos ambientes de água doce, pois além de desempenhar importante papel nas teias tróficas, servindo de alimento para diversos grupos, como peixes, aves e outros artrópodes, possuem representantes nos mais diversos grupos tróficos funcionais (raspadores, filtradores, predadores, fragmentadores, dentre outros) e, portanto, são fundamentais na ciclagem de nutrientes e na manutenção dos ecossistemas (DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006; MOULTON, SOUZA, *et al.*, 2004). Constituem ainda um grupo ecológico bastante sensível às perturbações antropogênicas, e devido a esta característica são passíveis de serem usados como bioindicadores de qualidade da água (MOULTON, SOUZA,

*et al.*, 2004; BUSS e SALLES, 2007; FIRMIANO, LIGEIRO, *et al.*, 2017; NASCIMENTO, ALVES-MARTINS e JACOBUCCI, 2018).

Estudos que investigam a variação na abundância da comunidade de Ephemeroptera para a região Neotropical são escassos e pouco conclusivos, sendo difícil fazer generalizações. Observa-se, no entanto, que algumas discussões sobre o tema foram levantadas e que a mais reportada na bibliografia é a relação entre a abundância e a pluviosidade. De acordo com Bispo e colaboradores (2006) a flutuação na abundância na comunidade de macroinvertebrados bentônicos, o que inclui Ephemeroptera, é influenciada pela variação dos níveis de precipitação pluviométrica, o que confirmaria um comportamento já relatado pelo pesquisador em um estudo anterior (BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2001). Em contraste, Melo e Froehlich (2001) não detectaram a influência da chuva na variação da abundância do grupo em região de Mata Atlântica.

O reconhecimento da sazonalidade na comunidade de Ephemeroptera possibilita fornecer novas informações sobre a biologia e ecologia da ordem. Essas informações, dentre outras aplicações, são fundamentais para caracterizar a história evolutiva deste clado. Do ponto de vista ambiental, o conhecimento fenológico é fundamental para qualquer plano de conservação, sendo importante para a compreensão da dinâmica das comunidades florestais, além de servir como indicador das respostas destes organismos às condições climáticas e edáficas (FOURNIER, 1974).

As espécies, em geral, estão distribuídas espacialmente em ambientes que permitem que elas se estabeleçam, estão associadas fortemente aos fatores ambientais que as cercam e as relações inerentes às interações ecológicas (WU, 2006). Assim, variações nestas características possibilitam que as espécies se distribuam em diferentes comunidades ou grupos mais amplos. Dessa forma, a paisagem pode ser enxergada como um mosaico de vários elementos, gerando uma heterogeneidade local, que oferece uma variedade de nichos para diferentes organismos (FORMAN, 1995). Portanto, as variações no habitat podem ser acessadas em diferentes escalas espaciais, abrangendo todas as possíveis variações e níveis de resposta. Uma vez que as modificações do habitat ocorrem

em diferentes escalas, também é necessário abordar a biodiversidade sob essa perspectiva. Diante disso, utilizar uma abordagem capaz de fracionar a diversidade de espécies ao longo de múltiplas escalas espaciais pode levar a maior compreensão dos fatores que controlam a distribuição espacial da biodiversidade. E, portanto, pode ser usada para analisar qualquer pressuposto de determinante da diversidade de espécies (VEECH, SUMMERVILLE, *et al.*, 2002). Além do que, investigar os processos determinantes da diversidade de Ephemeroptera em diferentes padrões de escalas espaciais e temporais poderá facilitar o entendimento dos padrões de estrutura espacial das comunidades, possibilitando extrapolar os resultados para escalas ainda maiores.

Desse modo, realizar trabalhos que compreendam tais informações ecológicas abrangentes e inéditas acerca de Ephemeroptera pode auxiliar no processo para melhor compreender o comportamento reprodutivo e padrões de distribuição espacial da ordem na região tropical.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GERAL DA DISSERTAÇÃO

Investigar a variação sazonal de alados de Ephemeroptera em um ambiente de Mata Atlântica e os processos (em diferentes escalas) que determinam a diversidade da ordem nesta região.

### Objetivos do primeiro capítulo

- Descrever o período de emergência de distintas espécies de Ephemeroptera.
- Testar a premissa de que os maiores picos de emergência estão relacionados aos períodos de maior pluviosidade e temperatura.

### Objetivos do segundo capítulo

- Testar a premissa de que a riqueza e a abundância relativa das espécies de Ephemeroptera são influenciadas pelo tipo de substrato.
- Investigar como os fatores que agem em diferentes escalas espaciais (local, meso-escala e regional) influenciam a diversidade de Ephemeroptera.

## FORMATAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em: introdução geral; objetivos; e dois capítulos escritos em formato de artigo científico. O primeiro capítulo trata da investigação da variação sazonal dos alados de Ephemeroptera em ambientes de Mata Atlântica, realizando a descrição da flutuação na abundância das populações no decorrer das estações climáticas e de suas relações com os fatores climáticos repetitivos. O segundo trata dos aspectos ecológicos da ordem e como sua diversidade está distribuída nas diferentes escalas ecológicas, seguindo os preceitos da partição aditiva da diversidade.

## REFERÊNCIAS

BARBER-JAMES, H. M. et al. Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 339-350, 2008.

BISPO, P. C. et al. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna Bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos do Planalto Central do Brasil. **Acta Limnol.**, Brasil, v. 13, n. 2, p. 1-9, 2001.

BISPO, P. C. et al. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera form riffes in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. **Brasilian Journal of Biology**, v. 2b, n. 66, p. 611-622, 2006.

BUSS, D. F.; SALLES, F. F. Using Baetidae Species as Biological Indicators of Environmental Degradation in a Brazilian River Basin. **Environ Monit Assess**, v. 130, p. 365-372, 2007.

DA-SILVA, E. R. et al. A identificação das famílias de Ephemeroptera (INSECTA) ocorrentes no Brasil. **Boletim do Museu Nacional: Nova Série, Zoologia** , v. 508, p. 1-6, 2003.

DOMINGUEZ, E. et al. **Aquatic Biodiversity in Latin America:** Ephemeroptera of South America. 1. ed. Bulgaria: Pensoft, v. 2, 2006.

FIRMIANO, K. R. et al. Mayfly bioindicator thresholds for several anthropogenic disturbances in neotropical savanna streams. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 276-284, 2017.

FLOWERS, R. W.; PRINGLE, C. M. Yearly fluctuations in the mayfly (Ephemeroptera) community of a tropical stream draining lowland pasture in Costa Rica. In: CORKUM, L. D.; CIBOROWSKI, J. J. H. **Current Directions in Research on Ephemeroptera**. [S.l.]: Canadian Scholars' Press, 1995. Cap. 10, p. 131-149.

FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics:** The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v. 24, n. 4, p. 422-424, 1974.

GUPTA, A.; MICHAEL, R. G. Diversity, distribution, and seasonal abundance of

Ephemeroptera in streams of Meghalaya State, India. **Hydrobiologia**, Bélgica, n. Kluwer Academic, p. 131-139, 1992.

MELO, A. S.; FROEHLICH, C. G. Macroinvertebrates in neotropical streams: richness patterns along a catchment and assemblage structure between 2 seasons. **J. N. Am. Benth. Soc.**, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2001.

MOULTON, T. P. et al. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). **The North American Benthological Society**, v. 23, n. 4, p. 868–881, 2004.

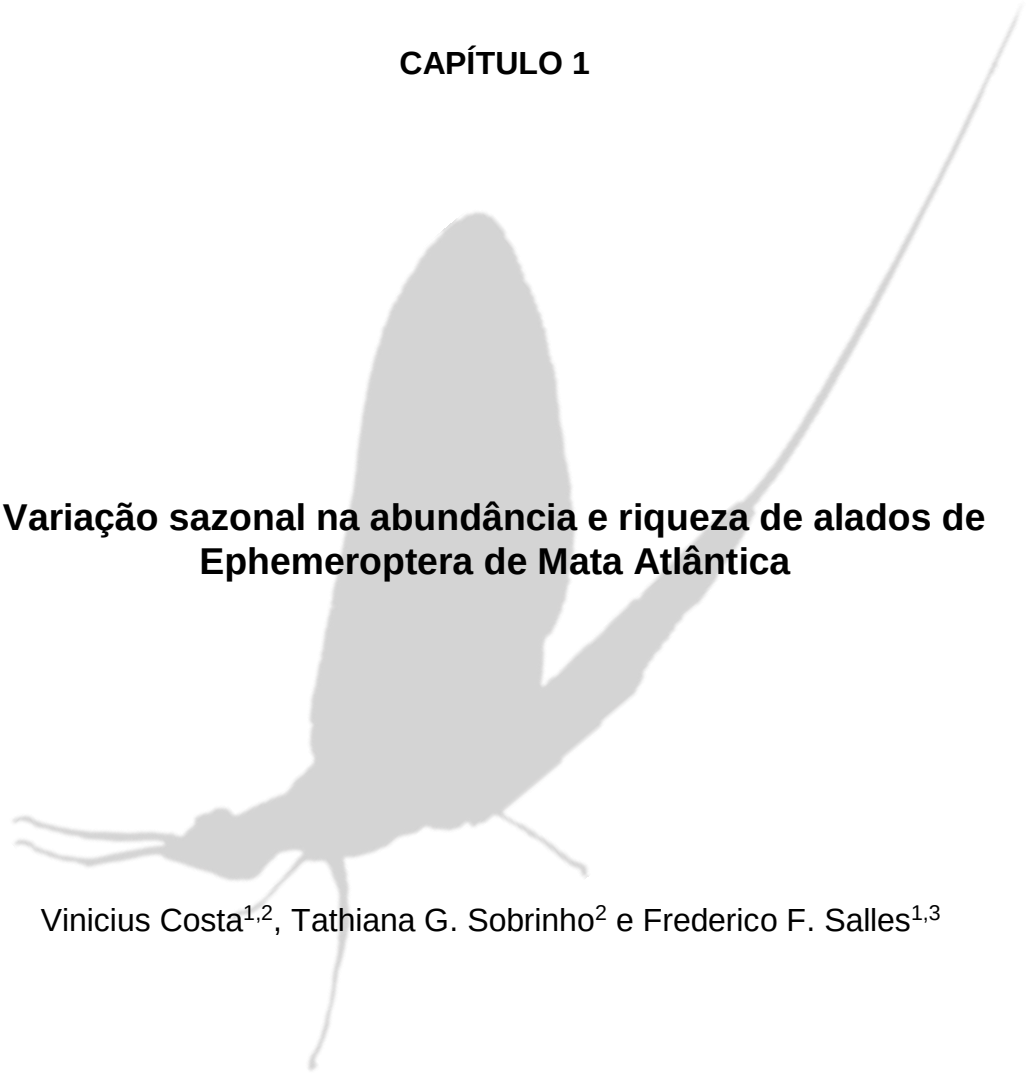
NASCIMENTO, A. L.; ALVES-MARTINS, F.; JACOBUCCI, G. B. Assessment of ecological water quality along a rural to urban land use gradient using benthic macroinvertebrate based indexes. **Bioscience journal**, v. 34, n. 1, p. 194-209, 2018.

SALLES, F. F. et al. As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil. **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. 1-34, 2004.

SALLES, F. F. et al. Order Ephemeroptera. In: HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda:** Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. [S.l.]: Elsevier Inc. All rights reserved., v. Volume III, 2019. Cap. 3, p. 61-117.

WU, J. Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science. **Landscape Ecology**, v. 21, p. 1-4, 2006.

**CAPÍTULO 1**



# Variação sazonal na abundância e riqueza de alados de Ephemeroptera de Mata Atlântica

Vinicius Costa[1,2], Tathiana G. Sobrinho[2] e Frederico F. Salles[1,3]

# Variação sazonal na abundância e riqueza de alados de Ephemeroptera de Mata Atlântica

Vinicius Costa[1,2], Tathiana G. Sobrinho[2] e Frederico F. Salles[3]

*1- Programa de Pós-graduação em Biologia Animal. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil, CEP 29075-910*

*2- Laboratório de Sistemática e Ecologia de Insetos, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, CEP 29.933-415, São Mateus, ES, Brasil*

*3- Museu de Entomologia, Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900, Minas Gerais, Brasil*

## RESUMO

O nosso objetivo de, além de reportar o período de emergência das distintas espécies de Ephemeroptera em córregos da Mata Atlântica, foi verificar a existência de sazonalidade na fenologia da ordem e investigar em qual período, ou quais, ocorre a emergência da maioria das espécies. Uma vez que para diversos grupos os maiores picos de emergência estão relacionados aos períodos de maior pluviosidade e temperatura, testamos a premissa que nas distintas espécies de Ephemeroptera o período de emergência estará relacionado a estes fatores. Com estes objetivos em mente, realizamos coletas mensais entre maio de 2017 e abril de 2018, com armadilhas luminosas de bandeja com lâmpada do tipo UV e armadilhas Malaise na Reserva Biológica Augusto Ruschi, localizada ao sudeste do município de Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil. Durante os 12 meses de campanha nós coletamos um total de 1676 alados de Ephemeroptera, imagos ou subimagos, pertencentes a cinco famílias. Realizamos as descrições dos períodos de revoada para as espécies que apresentaram mais de 30 indivíduos coletados no período. Para verificação da existência de sazonalidade realizamos análises circulares para os dados da ordem e para as famílias mais abundantes - Baetidae (686 indivíduos), Leptophlebiidae (665 indivíduos) e Leptohyphidae (315 indivíduos). Para verificação da relação entre a variação da riqueza e abundância com as variáveis climáticas realizamos ANCOVAs com distribuição de Poisson. Os dados apresentados e discutidos neste estudo corroboram a hipótese de que ordem Ephemeroptera da região Neotropical apresenta um padrão sazonal de abundância e riqueza durante o ano. A maioria das espécies de Ephemeroptera tem maior abundância entre novembro e fevereiro. Esse padrão sazonal é reflexo das diferenças sazonais dos regimes de temperatura e pluviosidade cíclicas da paisagem estudada.

Palavras-chave: Mata Atlântica; Diversidade; Macroinvertebrados; Insetos aquáticos.

## INTRODUÇÃO

Fenologia pode ser definido como o estudo dos eventos periódicos dos seres vivos, especialmente de seus ciclos de vida, causados por eventos ambientais, ou devido a interrelações bióticas cíclicas (LIETH, 1974). Nesse sentido, a

sazonalidade na fenologia de insetos pode, segundo Wolda (1988), ser caracterizada pela atividade de indivíduos adultos ativos, com maturidade reprodutiva, que ocorrem com picos de abundância bem definidos em uma certa época do ano e de forma recorrente.

Ephemeroptera é um pequeno grupo de insetos, que compreende cerca de 3500 espécies conhecidas e descritas pela ciência, organizadas em 450 gêneros e 42 famílias. São organismos que passam a maior parte do seu ciclo de vida na forma de náiades (ninfas aquáticas) (DOMÍNGUEZ, MOLINERI e NIETO, 2009; SALLES, DOMÍNGUEZ, *et al.*, 2019) e constituem um dos principais grupos dentre os macroinvertebrados bentônicos, desempenhando importante papel nas teias tróficas e servindo de alimento para diversos grupos, como peixes, aves e outros artrópodes (MOULTON, SOUZA, *et al.*, 2004). Além disso, por possuir representantes nos mais diversos grupos tróficos funcionais (raspadores, filtradores, predadores, fragmentadores, dentre outros), são fundamentais na ciclagem de nutrientes e na manutenção dos ecossistemas, (DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006; MOULTON, SOUZA, *et al.*, 2004)

Em função das diferentes respostas de seus representantes à degradação ambiental, formam um dos grupos mais utilizados no biomonitoramento da qualidade da água (BUSS e SALLES, 2007; DA-SILVA, GONÇALVES e DE-SOUZA, 2009; SALLES, DA-SILVA, *et al.*, 2004). Não obstante, entender como as comunidades de Ephemeroptera estão estruturadas e identificar as principais variáveis ambientais que influenciam na composição e abundância no tempo e no espaço é muito importante.

Estudos que investigam a sazonalidade na fenologia de insetos tropicais são recorrentes (CASASOLA-GONZÁLEZ, GARCÍA-ALDRETE e HERRERA-FUENTES, 2013; COUTINHO-SILVA, MONTES, *et al.*, 2017; KASPARI, PICKERING e WINDSOR, 2001; DA-SILVA, FRIZZAS e OLIVEIRA, 2011), mas pesquisas que abordem a flutuação na abundância da comunidade de Ephemeroptera para a região Neotropical são escassas e pouco conclusivas, sendo difícil fazer generalizações (BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2001; FLOWERS e PRINGLE, 1995; GUPTA e MICHAEL, 1992; SUHAILA, SALMAH e HUDA, 2014; WOLDA e FLOWERS, 1985). Até o momento, por exemplo, pouco se conhece

sobre os fatores que determinam essa sazonalidade nos trópicos.

Observa-se, no entanto, que algumas discussões sobre o tema foram levantadas, que a mais reportada na bibliografia é a relação entre a abundância e a pluviosidade. De acordo com Bispo e colaboradores (2006) a variação da abundância na comunidade de macroinvertebrados bentônicos, o que inclui Ephemeroptera, é influenciada pela variação dos níveis de precipitação pluviométrica, o que confirmaria um comportamento já relatado pelo pesquisador em um estudo anterior (BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2001). Em contraste, Melo e Froehlich (2001) não detectaram a influência da chuva na variação da abundância do grupo em região de Mata Atlântica.

Outro fator ambiental que pode estar relacionado à flutuação da abundância de Ephemeroptera é a variação na temperatura. Glazaczow e colaboradores (2016) verificaram que mudanças nessa variável poderia exercer grande influência no desenvolvimento ninfal de espécies de efêmeras, o que alteraria o ciclo fenológico da comunidade como um todo. Além dessa, outras hipóteses são reportadas, tais como ciclo lunar (WOLDA e FLOWERS, 1985) e tamanho e escoamento dos fluxos d'água (CASTRO-REBOLLEDO e DONATO-RONDON, 2015).

O reconhecimento da fenologia presente na comunidade de Ephemeroptera possibilita fornecer novas informações sobre a biologia e a ecologia da ordem. Essas informações, dentre outras aplicações, são fundamentais para caracterizar a história evolutiva deste clado, visto que as estratégias reprodutivas afetam os mecanismos microevolutivos como seleção, fluxo gênico, deriva genética, influenciando a diferenciação das populações (MAZZA, SANTOS e MAZZA, 2011). Do ponto de vista ambiental, o conhecimento fenológico é fundamental para elaboração de planos de conservação, sendo importante para a compreensão da dinâmica das comunidades florestais, além de servir como indicador das respostas destes organismos às condições climáticas e edáficas (FOURNIER, 1974; ZAMORA-MUÑOZ, SANCHEZ-ORTEGA e ALBA-TERCEDOR, 1993).

Diante de todo o exposto, nosso objetivo, além de reportar o período de

emergência das distintas espécies de Ephemeroptera em córregos da Mata Atlântica, foi verificar a existência de sazonalidade na fenologia da ordem e investigar em qual período, ou quais, ocorre a emergência da maioria das espécies. Uma vez que para diversos grupos os maiores picos de emergência estão relacionados aos períodos de maior pluviosidade e temperatura, testamos a premissa que nas distintas espécies de Ephemeroptera o período de emergência estará relacionado a estes fatores.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

Realizamos as coletas de dados na Reserva Biológica Augusto Ruschi, uma unidade federal de conservação que abrange uma área de 3.598,41 ha, localizada ao sudeste do município de Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil (Fig.1). O clima é tropical de altitude com temperaturas médias de 19,9ºC e a precipitação média anual de 1.400 mm (OLIVEIRA, BRAVO, *et al.*, 2013). O período chuvoso se estende de outubro a abril e os menores índices ocorrem entre maio e setembro. A reserva possui cobertura vegetal predominantemente composta por Floresta Ombrófila Densa de montanha, pertencente ao Bioma Mata Atlântica (IBAMA, 2000; AQUIJE e SANTOS, 2007).

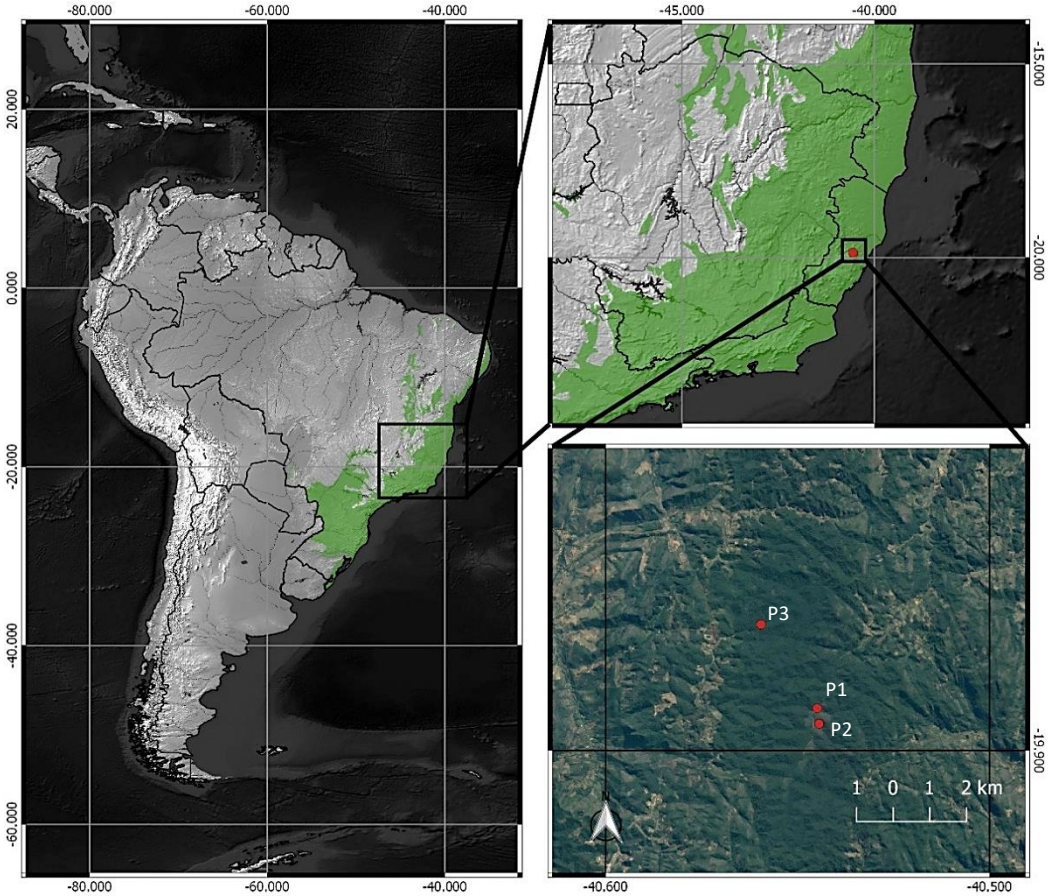



Figura 1 - Localização e vista geral da Rebio Augusto Ruschi destacando sua localização no Brasil, Espírito Santo e pontos de coleta.

## Coleta de dados

Realizamos coletas de alados em três córregos dentro dos limites da reserva (Figs. 1 e 2). Dois destes córregos compõem a rede de drenagem do Rio Piraquê-Açu, denominados córrego Lombardia e córrego Roda D'água, neste trabalho P1 e P2, respectivamente. E um ponto que compõe a rede de drenagem da bacia do Rio Doce, chamado córrego Bragacho, neste trabalho P3. Conforme figura 2.

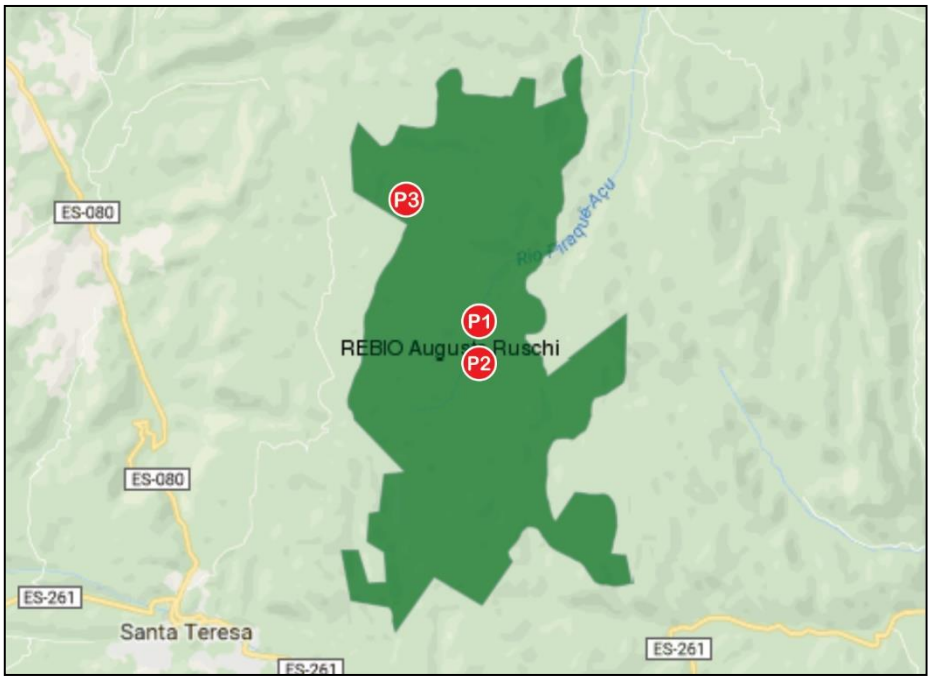



Figura 2 - Pontos de coleta: P1 – córrego Lombardia - 19°53'20.60"S, 40°32'41.50"W; P2 – córrego Roda D'agua - 19°53'35.13"S, 40°32'39.71"W; e P3 – córrego Bragacho - 19°52'2.53"S, 40°33'34.27"W.

Nós capturamos os alados da ordem em campanhas de coleta mensais realizadas entre maio de 2017 e abril de 2018 usando duas metodologias distintas - a partir de armadilhas de atração (luminosa) e a partir de armadilhas de interceptação de voo (malaise). As armadilhas de atração foram instaladas em campo (nas localidades P1, P2 e P3) uma noite por mês conforme uma metodologia adaptada de Calor e Mariano (2012), mas diferentemente desta, utilizamos apenas a lâmpada do tipo UV sobre a bandeja e para garantir maior eficiência da emissão luminosa as armadilhas foram instaladas no período do mês em que a lua se encontrava na fase Nova. As armadilhas de interceptação de voo do tipo Malaise foram instaladas sobre o leito do córrego (nas localidades P2 e P3) e ficaram expostas durante todo o período da pesquisa (maio de 2017 e abril de 2018) com recolhimento mensal do material biológico coletado.

Os espécimes foram conservados em solução de álcool etílico 80º. A identificação foi realizada com auxílio de literatura específica (DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006) e por comparação com descrições originais. O material encontra-se depositado na Coleção Zoológica Norte Capixaba (CZNC), Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus e no Museu de Entomologia

da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (UFV).

As informações climáticas foram obtidas através da plataforma do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e do sítio de hospedagem do Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper).

**Análise de dados**

Para a verificação da existência de sazonalidade na abundância da ordem como todo e também separadamente das famílias mais abundantes, realizamos análises estatísticas para dados circulares (ZAR, 1999), o que permitiu determinar a ocorrência de picos populacionais. A medida de concentração (r), cujo valor varia de 0 (máxima dispersão dos dados) a 1 (concentração máxima dos dados na mesma direção), foi calculada e para essa análise utilizamos o software livre Oriana 4.02 (KOVACH, 2013).

Para testar a premissa de que os maiores picos de emergência ocorrem nos períodos de maior pluviosidade e temperatura, realizamos a construção de GLMs (modelos lineares generalizados) do tipo ANCOVA (Análises de Covariância), em que as variáveis explicativas contínuas foram as medidas de: pluviosidade e temperatura média mensal do período da pesquisa, e pluviosidade e temperatura média em uma série histórica de dez anos. A variável explicativa categórica foi o rio (P1, P2 e P3) e as variáveis resposta foram abundância e a riqueza de espécies coletadas. Foi utilizada a distribuição de Poisson, que é indicada para variáveis resposta que sejam dados de contagem (O'HARA e KOTZE, 2010), como é o caso de abundância e riqueza de espécies. Nas análises em que foram detectadas sobredispersão, o valor de dispersão (desvio padrão da amostra em relação à média) foi corrigido usando um ajuste de quasi-poisson, onde a variância é dada por $f \times \mu$, onde $\mu$ é a média e $f$ é o parâmetro de dispersão. Realizamos uma análise de resíduos para verificar a adequação dos modelos e da distribuição escolhida. As análises supracitadas foram realizadas na plataforma livre "R" (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Antes de proceder à construção dos GLMs, realizamos na plataforma livre "R" (R

DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017) uma análise de multicolinearidade (através do pacote Psych) (REVELLE, 2018), para a quantificação do grau pelo qual duas variáveis explicativas estão correlacionadas. Para aquelas variáveis que tiveram correlação acima de 70%, optou-se por usar apenas uma nos modelos construídos. Visto que, se as variáveis forem muito associadas a eficiência dos parâmetros estimados diminui e em consequência disso, a variância da estimativa aumenta, o que pode ser pouco confiável.

## RESULTADOS

Nós coletamos um total de 1676 alados de Ephemeroptera, imagos ou subimagos, pertencentes a cinco famílias. As famílias com maior número de espécimes foram Baetidae (686), Leptophlebiidae (665) e Leptohyphidae (315). Juntas, essas famílias representaram 99,4% de todos os espécimes coletados. As outras famílias amostradas, Euthyplociidae e Polymitarcyidae perfizeram juntas 0,6% do número total de alados de Ephemeroptera coletados. Coletamos 29 espécies no total, sendo que a família que apresentou maior riqueza foi Leptophlebiidae com 14 espécies coletadas, seguido por Baetidae com oito e Leptohyphidae com cinco espécies coletadas. Euthyplociidae e Polymitarcyidae apresentaram cada apenas uma espécie registrada.

As maiores abundâncias foram registradas entre novembro e janeiro e as menores entre junho e agosto (Fig. 3A). A análise circular mostrou que a ordem possui distribuição agrupada ($p < 0,001$) (Fig. 3B), com área de concentração de abundância indicando o ângulo 5,5° (início de janeiro), na importância de $r=0,363$. Ao considerar apenas o período chuvoso estabelecido para a região, que se estende de setembro a abril (IBAMA, 2000), 81,4% de todos os alados foram coletados neste período.

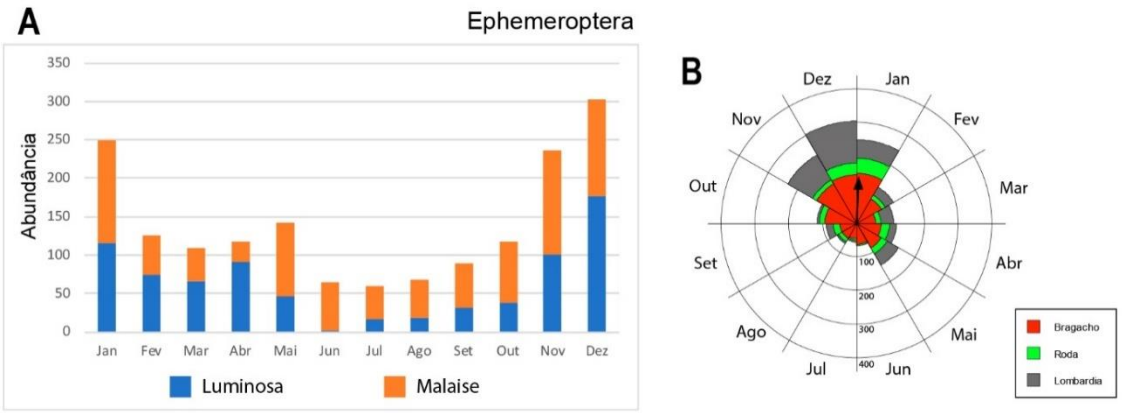



Figura 3 – Gráficos de distribuição da abundância de Ephemeroptera. A- Distribuição da abundância total da ordem dos espécimes capturados nas armadilhas Malaise e luminosa; B- Gráfico da análise circular da abundância de alados totais capturados em armadilha luminosa.

Leptophlebiidae apresentou picos de abundância entre novembro e janeiro e os menores índices entre junho e agosto (Fig. 5A). Baetidae apresentou picos de abundância entre novembro e janeiro e número baixo de espécimes capturados em abril, e entre junho e setembro (Fig. 5C). Leptohyphidae apresentou picos de emergência que se estenderam de novembro a janeiro e uma abundância relativamente alta entre março e maio e os menores índices de junho a outubro (Fig. 5E). A existência de sazonalidade foi comprovada também para as três famílias mais abundantes, Leptophlebiidae (Fig. 5B), Baetidae (Fig. 5D) e Leptohyphidae (Fig. 5F). Valores de significância, vetor r e período de concentração de abundância são apresentados na Tabela 1. Não foi realizada análise circular para Euthyplociidae e Polymitarcyidae, pois a abundância destas famílias foi muito baixa. Foram coletados apenas um espécime em novembro e cinco em dezembro de Euthyplociidae e quatro indivíduos de Polymitarcyidae foram coletados, todos em dezembro.

Da mesma forma a riqueza total da ordem seguiu um padrão sazonal, onde a maioria das espécies emergiu com picos que acompanham os maiores níveis de pluviosidade e temperatura. O período em que foi observado a maior riqueza de espécies foi entre outubro e março, com a riqueza da ordem variando entre 18 e 21. Junho e julho foram os meses em que observamos os menores valores de riqueza, variando entre 9 e 10 espécies coletadas (Fig. 4).

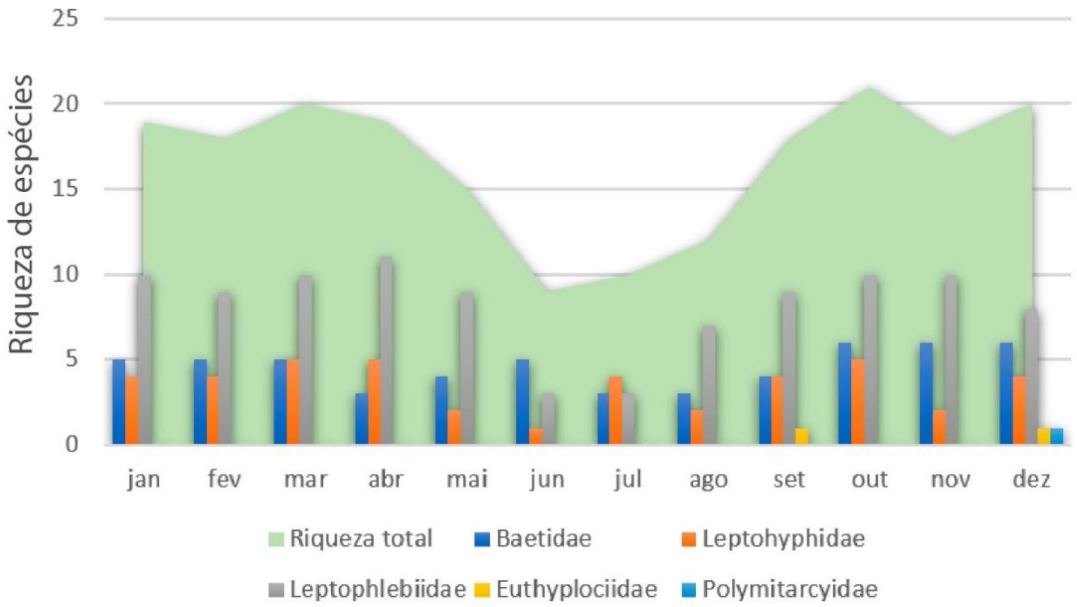



Figura 4 - Riqueza de espécies de Ephemeroptera coletadas no período da pesquisa e riqueza de espécies das distintas famílias coletadas.

Tabela 1 - Valores obtidos a partir da análise circular: valores do vetor r, significância e comparação com período de concentração de abundâncias.

| Família | Vetor r | Período de concentração | p-valor |
|---|---|---|---|
| Baetidae | 0.279 | 338° - Dez | p< 1E-12 |
| Leptophlebiidae | 0.365 | 4° - Jan | p< 1E-12 |
| Leptohyphidae | 0,45 | 30°- Fev | p< 1E-12 |

Determinamos arbitrariamente a abundância de 30 indivíduos/espécie como requisito mínimo para realizar a análise descritiva da variação sazonal das espécies coletadas. Em Leptophlebiidae sete espécies cumpriram este requisito. *Askola froehlichi* Peters, 1969 apresentou um total de 55 indivíduos, o período de maior abundância da espécie foi janeiro e o menor entre março e novembro (abundância média de 2,6 indivíduos por mês) (Fig. 6A). *Farrodes carioca* Domínguez, Molineri & Peters, 1996 foi a espécie de Leptophlebiidae que apresentou distribuição mais agrupada, novembro, dezembro e janeiro concentraram 64,16% de toda abundância reportada para a espécie. Junho a outubro foi o período em que registramos os menores índices para este táxon (Fig. 6B). Em contraposição, *Hagenulopsis diptera* Ulmer, 1920 apresentou uma distribuição dispersa, com pico pouco abundante (máximo de 11 espécimes), porém observamos uma tendência da espécie apresentar maiores índices de

abundância entre abril e agosto (Fig. 6C).

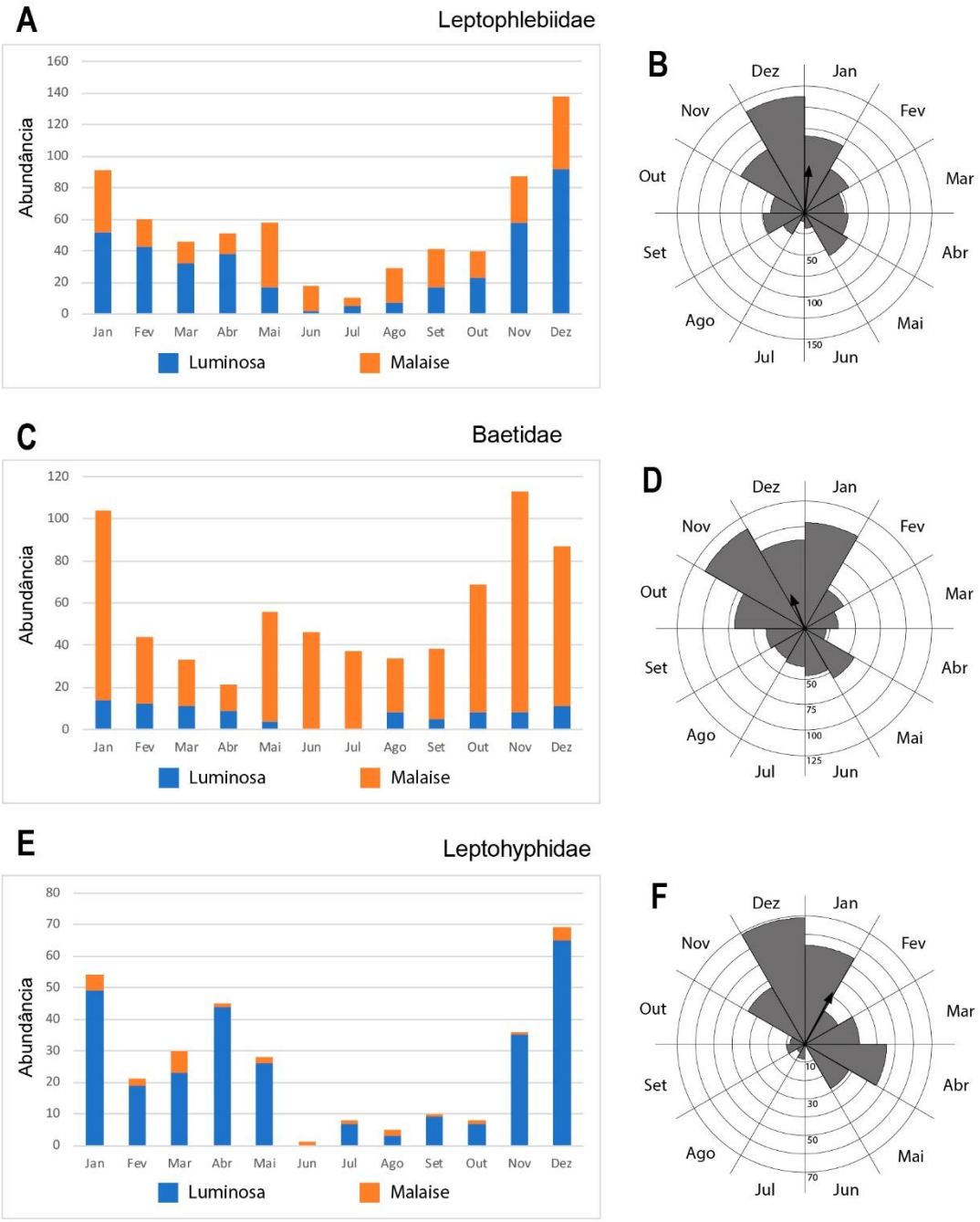
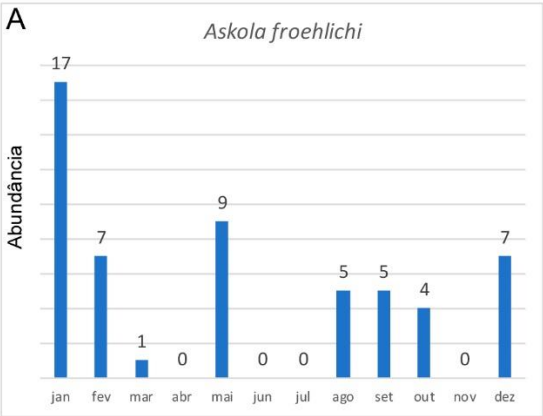
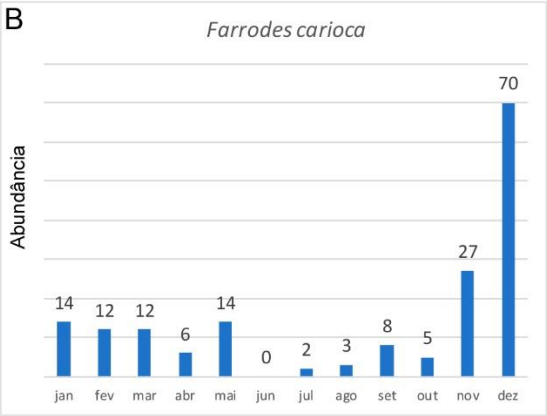


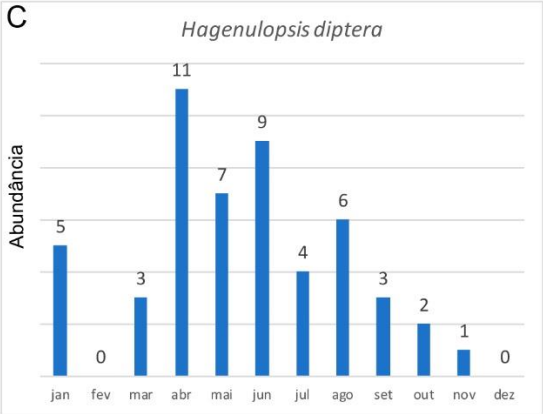

Figura 5- Gráficos de distribuição da abundância de famílias mais abundantes. A, C e E- Distribuição da abundância total da família capturados na Malaise e na armadilha luminosa; B, D e F- Gráficos da análise circular da abundância de alados divididos por família capturados em armadilha luminosa.

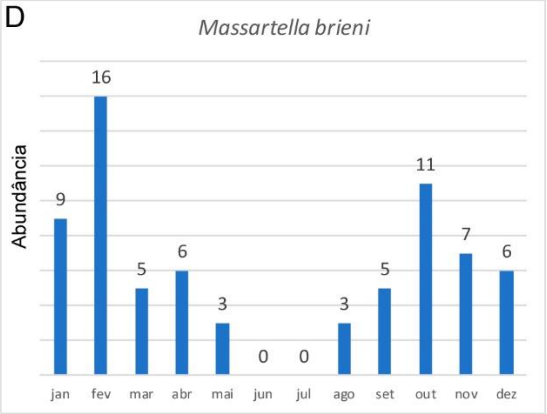
A abundância de *Massartella brieni* (Lestage, 1924) parece aumentar e diminuir gradualmente, não exibindo picos muito agrupados. A espécie não foi observada em junho e julho, já o mês com maior abundância foi fevereiro com 16 espécimes (Fig. 6D). *Miroculis sp. nov* foi registrada em todos os meses da pesquisa, sendo que o período de maior abundância da espécie se estendeu de novembro a janeiro, com um pico relativamente alto em maio (Fig. 6E). *Miroculis mourei* Savage & Peters, 1983 apresentou um pico de abundância em novembro com 18 indivíduos coletados, e em todos os demais meses apresentou baixa abundância, variando entre 0 e 3 indivíduos apenas (exceto por setembro, que apresentou 6 exemplares coletados) (Fig. 6F). *Ulmeritoides nigribullae* Salles & Domínguez, 2012 exibiu entre novembro e março o período de maior abundância e entre junho e agosto o período de menor abundância, quando nenhum espécime foi coletado (Fig. 6G).

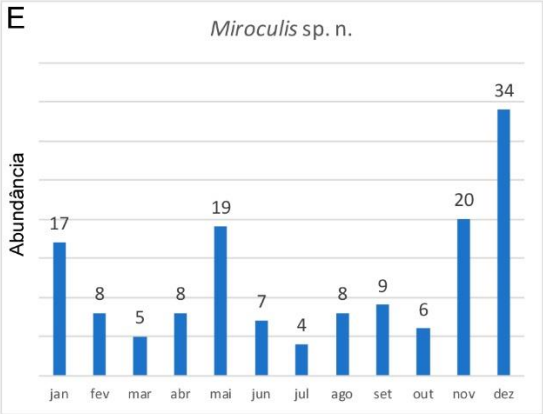
Leptophlebiidae

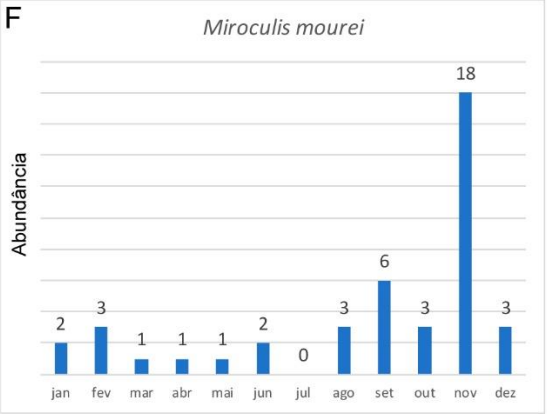


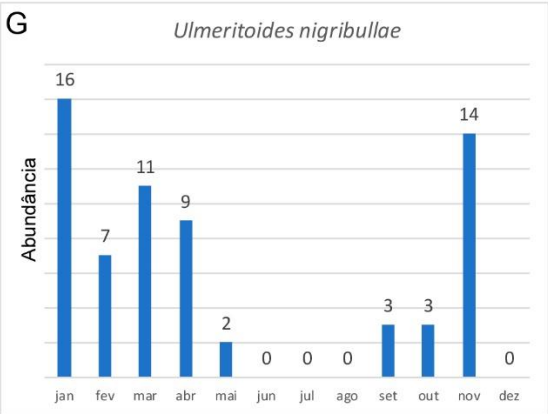



Figura 6 - Representação gráfica da distribuição da abundância das distintas espécies de Leptophlebiidae que apresentaram mais de 30 espécimes coletados no período da pesquisa. A – *Askola froehlichi;* B – *Farrodes carioca;* C – *Hagenulopsis díptera;* D – *Massartella brieni;* E – *Miroculis* sp. n.; F – *Miroculis mourei;* G – *Ulmeritoides negribullae.*

Apesar de Baetidae ser a família com a maior abundância (686 espécimes) apenas duas espécies apresentaram o requisito mínimo de 30 exemplares coletados: *Baetodes* sp. com 293 espécimes e *Callibaetoides caaigua* Cruz, Salles & Hamada, 2013 com 170 espécimes. Juntas as duas espécies representam 67,4% de toda a abundância registrada para a família.

*Baetodes* sp. foi mais abundante entre os meses de novembro e janeiro, com um pico intermediário em julho. Maio foi o mês menos abundante, quando nenhum espécime desta espécie foi coletado (Fig. 7A). *Callibaetoides caaigua* foi coletada durante todo período e apresentou dois picos de abundância, um em maio e o outro em outubro (Fig. 7B)

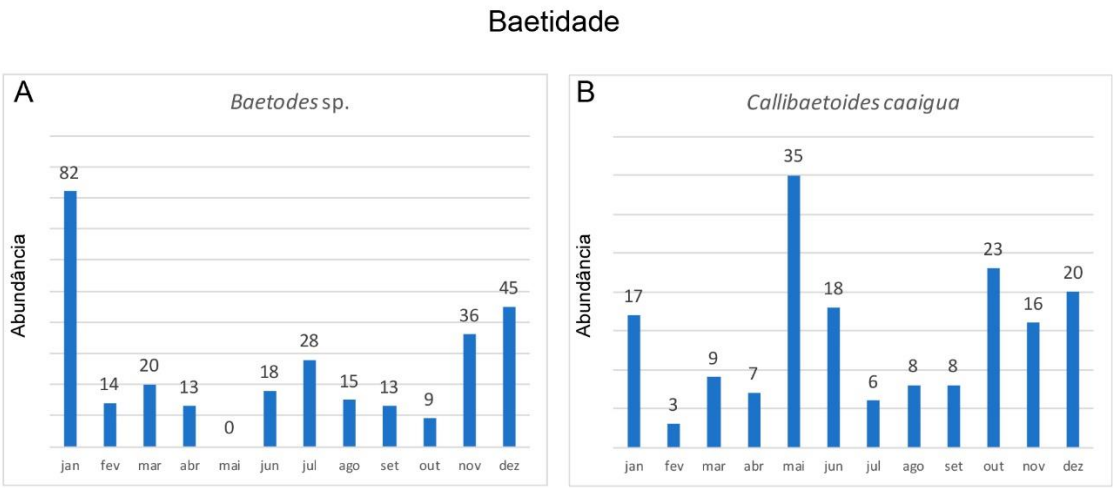



Figura 7 - Representação gráfica da distribuição da abundância das distintas espécies de Baetidae que apresentaram mais de 30 espécimes coletados no período da pesquisa. A – *Baetodes* sp.; B – *Callibaetoides caaigua*.

Descrevemos o período de revoada de quatro espécies de Leptohyphidae. *Leptohyphodes inanis* (Pictet, 1843) exibiu abundância dispersa em todo o período, variando apenas entre um e sete espécimes por coleta (Fig. 8A). *Tricorythodes bullus* Allen, 1967 apresentou distribuição agrupada nos meses de janeiro e dezembro, 76,9% de toda abundância da espécie concentra-se nesses

meses (Fig. 8B). *Traverhyphes yuati* Molineri, 2004 exibiu um pico de abundância entres os meses novembro e janeiro, e um pico intermediário em maio. De junho a outubro foi o período em que registramos os menores números de indivíduos para a espécie (Fig. 8C). *Tricorythopsis yacutinga* Molineri, 2001 apresentou apenas um pico de abundância em abril, os demais meses apresentaram abundância baixa, com no máximo 9 exemplares coletados (Fig. 8D)

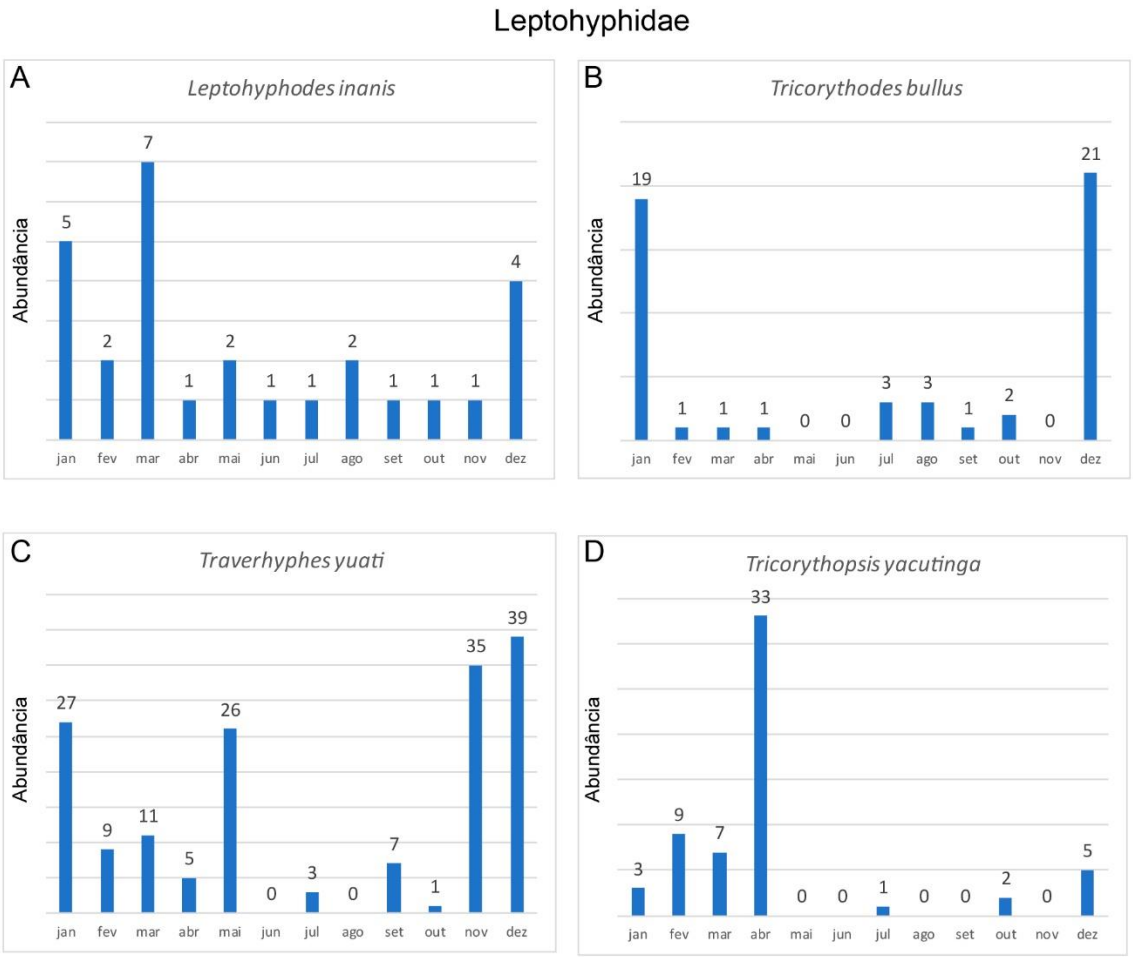



Figura 8 - Representação gráfica da distribuição da abundância das distintas espécies de Leptohyphidae que apresentaram mais de 30 espécimes coletados no período da pesquisa. A – *Leptohyphodes inanis;* B – *Tricorythodes bullus*; C – *Traverhyphes yuati*; D – *Tricorythopsis yacutinga.*

A partir da análise de correlação das variáveis explicativas, observamos que a temperatura média mensal no período estudado foi fortemente correlacionada com a temperatura mensal média na série histórica (r=0.97) (Fig. 9), dessa forma optamos por utilizar os dados da série histórica. O teste ainda revelou que a pluviosidade mensal média observada no período da pesquisa não se

correlacionou com a pluviosidade média da série histórica (r=0.20), o que indica um ano atípico para a variável analisada.

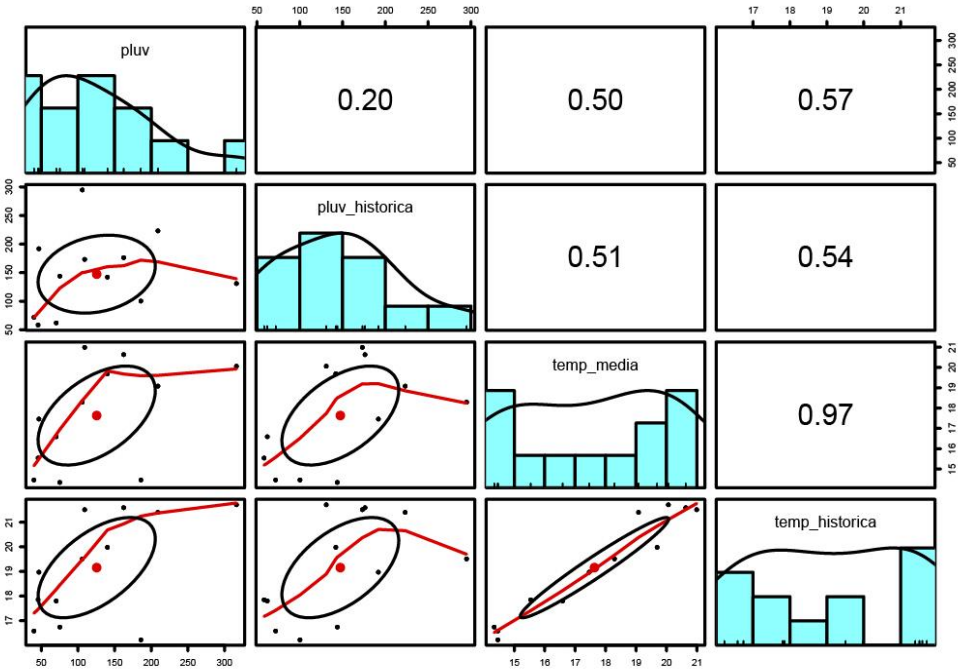



Figura 9 – Gráfico de colinearidade de variáveis explicativas (pluviosidade e temperatura média mensal do período da pesquisa, e pluviosidade e temperatura média em uma série histórica de dez anos)

Prosseguindo com os GLMs e as análises de covariância, verificamos que a abundância e a riqueza de espécies de Ephemeroptera varia em função da pluviosidade e temperatura (Fig. 10), conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Significância dos modelos das análises de covariância.

| | **Pluviosidade anual** | **Pluviosidade série histórica** | **Temperatura série histórica** |
|---|---|---|---|
| **ABUNDÂNCIA** | $F_{(1,34)}$ = 7,37, p=0,01 (Fig. 10A) | $F_{(1,33)}$ =16.34; p<0.001 (Fig. 10B) | $F_{(1,32)}$ = 16,61; p<0.001 (Fig. 10E) |
| **RIQUEZA** | $F_{(1,34)}$= 7,37, p<0,001 (Fig. 10C) | $F_{(1,33)}$ = 16,34; p<0,001 (Fig. 10D) | $F_{(1,32)}$ = 16,61; p<0,001 (Fig. 10F) |

Após a realização das ANCOVAs efetuamos análise de contraste na variável

categórica apenas para verificar se existia diferença entre as médias de abundância e riqueza entre cada córrego analisado. Pelas médias apresentadas nós verificamos que a abundância do córrego Roda D'água é diferente (média de 6,25 indivíduos) do Córrego Bragacho e do Córrego Lombardia (médias iguais a 29,0833 indivíduos). Este resultado se repete ao analisar as médias de riqueza, onde córrego Roda D'água é diferente (média 3,58 espécies) do Córrego Bragacho e do Córrego Lombardia (médias iguais a 6,75 espécies).

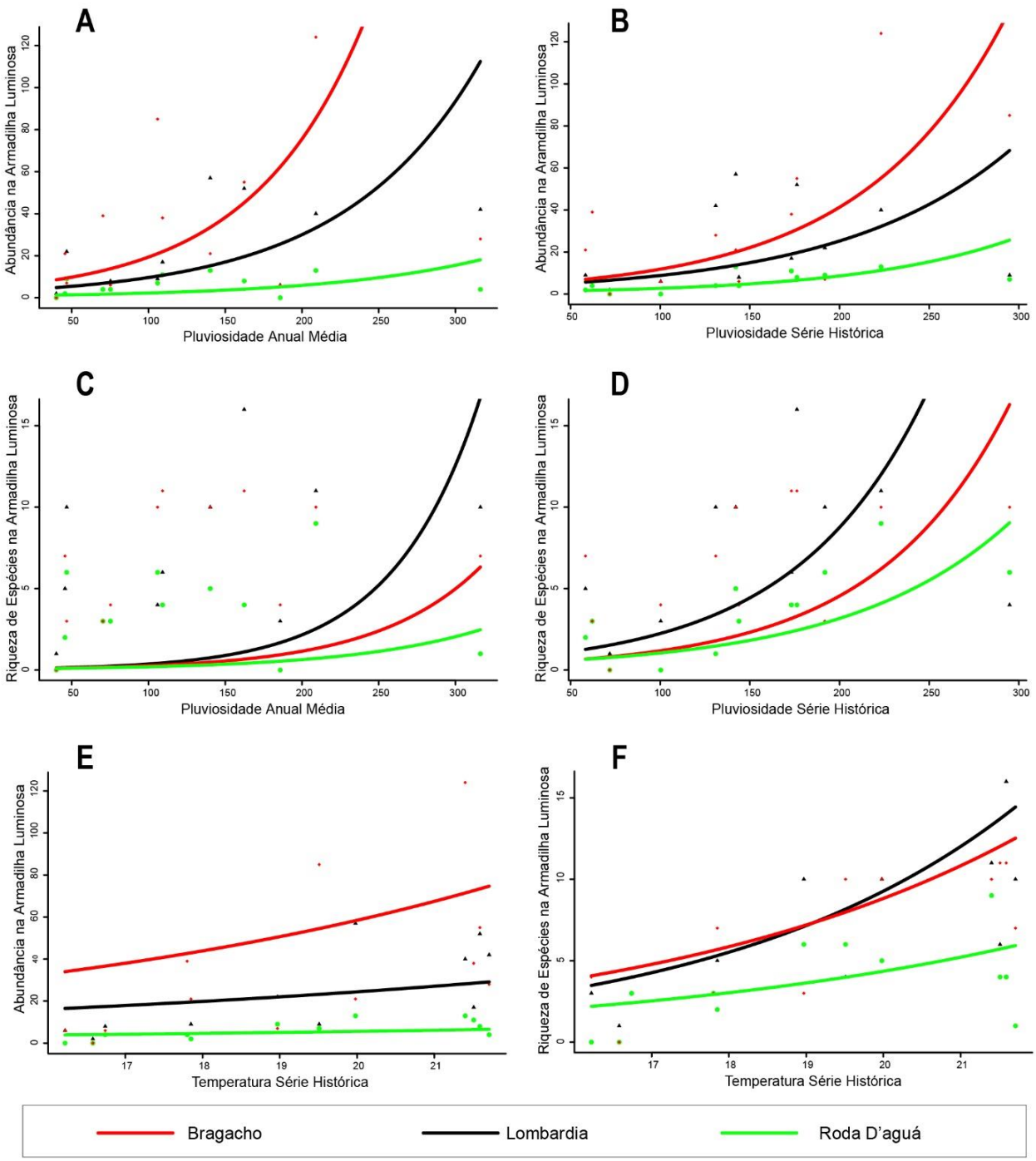



Figura 10 – Abundância e riqueza em função da pluviosidade e temperatura na série histórica. A- Abundância e pluviosidade anual; B- Abundância e pluviosidade histórica; C- Riqueza e pluviosidade anual; D- Riqueza e pluviosidade histórica; E- Abundância e temperatura histórica; F- Riqueza e temperatura histórica

## DISCUSSÃO

Os resultados da análise circular para os dados da ordem como um todo mostram que Ephemeroptera possui sazonalidade na emergência das

subimagos e imagos na paisagem estudada com concentração de abundância para o início de janeiro, o que coincide com o período mais quente e úmido do ano. É particularmente interessante reportar a existência dessa característica, pois como já destacado neste capítulo, tal atributo é pouco estudado neste ambiente. Antagonicamente podemos observar que a sazonalidade na fenologia de Ephemeroptera na zona temperada é bem reportada na bibliografia (CAYROU e CÉRÉGHINO, 2005; MASTELLER, 1993; ROBINSON, UERHLINGER e HIEBER, 2001). Nestes ambientes essa propriedade é principalmente atribuída as variações de temperatura e pluviosidade com picos bem marcados e estações do ano bem definidas.

A partir das análises circulares realizadas com os dados das famílias mais abundantes - Baetidae (686 indivíduos), Leptophlebiidae (665 indivíduos) e Leptohyphidae (315 indivíduos) - podemos observar uma distinção nos períodos dos picos de emergência destes grupos, o que pode ser reflexo da história evolutiva desses táxons. É plausível supor que pressões seletivas competitivas possam ter atuado de modo que a "evitação da competição" no passado seja uma explicação mais cabível do que as interações ecológicas atuais (CONNEL, 1980), uma vez que verificamos que as comunidades não estão localmente saturadas (ver Capítulo 2 desta dissertação), indicando ausência de competição. De modo que esses grupos não estão competindo hoje, mas a diferenciação no período de revoada pode sugerir que eles competiram em algum momento do passado quando o grupo era mais abundante ou os recursos eram escassos.

Na análise de correlação de variáveis observou-se que a pluviosidade média do período não estava relacionada com o padrão de pluviosidade apresentado pela série histórica (r=0,2), mostrando um período de precipitação irregular na região foco do estudo no período em que realizamos o mesmo. Contudo, ambas foram estatisticamente significativas para explicar a variação da abundância e riqueza no modelo analisado. Este resultado é concebível, pois as alterações na fenologia estão entre os efeitos mais suportados pelos organismos, sendo um dos últimos aspectos comportamentais a serem perdidos no caso de mudanças no ambiente, alterando-se pouco com variações ambientais pontuais (GLAZACZOW, ORWIN e BOGDZIEWICZ, 2016). Contudo, a vulnerabilidade às mudanças climáticas pode variar de táxon para táxon, o que evidencia

estratégias específicas de linhagens em resposta à tais mudanças (GLAZACZOW, ORWIN e BOGDZIEWICZ, 2016; GARCIA-RAVENTÓS, VIZA, *et al.*, 2017).

A premissa de que os maiores picos de emergência (caracterizados pelas maiores abundâncias e riquezas) estão relacionados aos períodos de maior temperatura e pluviosidade foi corroborada. Este resultado é apoiado por Wolda (1978) que verificou que em áreas com ciclos pluviométricos bem definidos, os insetos adultos tendem a ser mais abundantes na estação chuvosa. A influência da temperatura nos aspectos metabólicos dos insetos é bem conhecida na bibliografia, sendo que este condicionante ambiental atua principalmente como um fator regulador da temperatura corporal e interfere diretamente no desenvolvimento (DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006; ANDRADE, BUSOLI e BARBOSA, 2008; SWEENEY, FUNK, *et al.*, 2018). Dessa forma a temperatura possui a capacidade de diminuir o metabolismo dos insetos em épocas mais frias e acelerá-lo em períodos mais quentes, influenciando diretamente no ciclo de vida e no comportamento destes indivíduos. Essa variável ambiental pode ter, com o passar do tempo, moldado a comunidade de Ephemeroptera para revoar mais abundantemente nos períodos de temperaturas mais elevada.

Essa relação entre temperatura e pluviosidade e, a variação na abundância e riqueza de Ephemeroptera é observada também em ambientes fora da zona dos trópicos (MASTELLER, 1993). Apesar de se dar de forma diferente, observamos aqui que a variação sazonal no ambiente tropical acontece de forma mais gradual, o que não é a principal característica observada na zona temperada. Como relatado por Cayrou e Céréghino (2005) o período de emergência das distintas espécies acontecem de forma mais agrupada, ou seja, com picos de abundância e riquezas temporalmente menos dispersos.

Por outro lado, outros fatores podem influenciar a variação sazonal da ordem, interferindo principalmente na escala local, como competição interespecífica, predação, distribuição de um recurso alimentar, podem agir em conjunto com fatores climáticos para moldar os padrões de distribuição e abundância de insetos (SILVA, FRIZZAS e OLIVEIRA, 2011; BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2006).

A sazonalidade ambiental pode exercer um importante efeito sobre o comportamento da fauna estudada, no período com menores índices pluviométricos, é esperado o maior aporte de nutrientes com o crescimento da taxa de queda de folhas da vegetação tropical, fornecendo o aumento da serapilheira e da incidência luminosa no leito do rio. Essa característica ambiental pode diminuir a competição por recursos alimentares e ter auxiliado na “modulação” do comportamento de revoada para um período com menor oferta desse recurso, visto que nos estágios de subimago e imagos os indivíduos tem seu aparato bucal atrofiado e não se alimentam nesta fase do seu ciclo de vida (BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2006; BRASIL, ANDRADEA, *et al.*, 2017; ESPIG, FREIRE, *et al.*, 2009; WARINGER, 1996). Outra característica ambiental que pode estar relacionada com esse comportamento é a maior disponibilidade de abrigo no período de maiores índices de precipitação e temperatura. Já que neste período a vegetação é mais frondosa, os alados têm mais disponibilidade deste recurso ao realizar a emergência, pois durante o estágio de subimago as efêmeras costumam apresentar um comportamento letárgico, ficando a maior parte do tempo em repouso sob as folhas (BRASIL, ANDRADEA, *et al.*, 2017; MCCAFFERTY, 1983).

Os dados apresentados e discutidos neste estudo corroboram a premissa de que ordem Ephemeroptera da região Neotropical apresenta um padrão sazonal de abundância e riqueza durante o ano. A maioria das espécies de Ephemeroptera na paisagem estudada tem maior abundância entre novembro e fevereiro. Esse padrão sazonal é reflexo das diferenças sazonais dos regimes de temperatura e pluviosidade cíclicas da paisagem estudada. No entanto, como visto, esse comportamento não pode ser explicado apenas por fatores climáticos. As famílias mais abundantes da paisagem parecem mostrar diferenciação no período de revoada. Dessa forma, faz-se necessário realizar estudos que busquem verificar as razões desse comportamento.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. L.; BUSOLI, A. C.; BARBOSA, J. C. Temperature in the

development and reproduction of scales reared on squash. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2419-2426, dez 2008. ISSN 9.

AQUIJE, G. M. F. V.; SANTOS, I. K. F. Levantamento Florístico de Pteridófitas da Reserva Biológica Augusto Ruschi - Santa Teresa - ES. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 909-911, 2007.

BISPO, P. C. et al. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna Bentônica (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos do Planalto Central do Brasil. **Acta Limnol.**, Brasil, v. 13, n. 2, p. 1-9, 2001.

BISPO, P. C. et al. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera form riffes in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. **Brasilian Journal of Biology**, v. 2b, n. 66, p. 611-622, 2006.

BRASIL, J. B. et al. Seasonality in production of leaf litter in two management tropical semiarid. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 167-176, 2017.

BUSS, D. F.; SALLES, F. F. Using Baetidae Species as Biological Indicators of Environmental Degradation in a Brazilian River Basin. **Environ Monit Assess**, v. 130, p. 365-372, 2007.

CALOR, A. R.; MARIANO, R. UV Light Pan Traps for Collecting Aquatic Insects. **EntomoBrasilis**, v. 5, n. 2, p. 164-166, 2012.

CALOR, A. R.; MARIANO, R. UV Light Pan Traps for Collecting Aquatic Insects. **EntomoBrasilis**, v. 5, n. 2, p. 164-166, 2012.

CASASOLA-GONZÁLEZ, J. A.; GARCÍA-ALDRETE, A. N.; HERRERA-FUENTES, M. C. Psocopterans (Psocoptera: Insecta) from Zapotitlán Salinas, Puebla, Mexico: distribution of abundance and seasonality. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 84, p. 612-621, 2013.

CASTRO-REBOLLEDO, M. I.; DONATO-RONDON, J. C. Emergence patterns in tropical insects: the role of water discharge frequency in an Andean Stream. **Ann.**

**Limnol. - Int. J. Lim.**, v. 51, p. 147–155, 2015.

CAYROU, J.; CÉRÉGHINO, R. Life-cycle phenology of some aquatic insects: implications for pond conservation. **AQUATIC CONSERVATION: MARINE AND FRESHWATER ECOSYSTEMS**, v. 15, p. 559–571, 2005.

CONNEL, J. H. Diversity and the coevolution of competitors, or the ghost of competition past. **Oikos**, v. 35, n. 3, p. 131-138, 1980.

COUTINHO-SILVA, R. D. et al. Effects of seasonality on drosophilids (Insecta, Diptera) in the northern part of the Atlantic Forest, Brazil. **Bulletin of Entomological Research**, p. 1-11, 2017.

DA-SILVA, E. R.; GONÇALVES, I. C.; DE-SOUZA, M. R. Lista de espécies da ordem Ephemeroptera (Insecta) ocorrentes no estado de Rio de Janeiro - Brasil. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 67, p. 383-394, Dezembro 2009.

DA-SILVA, N. A. P.; FRIZZAS, M. R.; OLIVEIRA, C. M. Seasonality in insect abundance in the “Cerrado” of Goiás State, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p. 79–87, 2011.

DOMINGUEZ, E. et al. **Aquatic Biodiversity in Latin America:** Ephemeroptera of South America. 1. ed. Bulgaria: Pensoft, v. 2, 2006.

DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; NIETO, C. Ephemeroptera. In: EDUARDO DOMÍNGUEZ, H. R. F. **Macroinvertebrados bentónicos sudamenricanos:** sistemática y biologia. Tucumán - Argentina: Fundación Miguel Lillo, 2009. p. 55-93.

ESPIG, S. A. et al. Litter Seasonality, Composition And Nutrient Input In Remnant Of Atlantic Forest In The State Of Pernambuco, Brazil. **R. Árvore**, v. 33, n. 5, p. 949-956, 2009.

FLOWERS, R. W.; PRINGLE, C. M. Yearly fluctuations in the mayfly (Ephemeroptera) community of a tropical stream draining lowland pasture in Costa Rica. In: CORKUM, L. D.; CIBOROWSKI, J. J. H. **Current Directions in**

**Research on Ephemeroptera**. [S.l.]: Canadian Scholars' Press, 1995. Cap. 10, p. 131-149.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v. 24, n. 4, p. 422-424, 1974.

GARCIA-RAVENTÓS, A. et al. Seasonality, species richness and poor dispersion mediate intraspecific trait variability in stonefly community responses along an elevational gradient. **Freshwater Biology**, p. 1-13, 2017.

GLAZACZOW, A.; ORWIN, D.; BOGDZIEWICZ, M. Increased temperature delays the late-season phenology of multivoltine insect. **Nature: Scientific Reports**, p. 1-8, 2016.

GUPTA, A.; MICHAEL, R. G. Diversity, distribution, and seasonal abundance of Ephemeroptera in streams of Meghalaya State, India. **Hydrobiologia**, Bélgica, n. Kluwer Academic, p. 131-139, 1992.

IBAMA, I. B. D. M. A. E. R. R.-. **Plano de Manejo da Reserva Biológica Augusto Ruschi.:** Diretoria de Ecossistemas. 2000. 1. ed. Vitória: Diretoria de Ecossistemas, 2000.

KASPARI, M.; PICKERING, J.; WINDSOR, D. **Ecological Entomology** , v. 26, p. 245-257, 2001.

KOVACH, W. L. Oriana for Windows, v.4 e. Anglesey. **Kovach Computing Services**, 2013.

LIETH, H. Introduction to phenology and the modeling. In: LIETH, H. **Phenology and seasonality modeling**. Berlin: Spring Verlag, 1974. p. 3-19.

MASTELLER, E. C. Comparison of Tropical and Temperate Emergence Phenology of Aquatic Insects from Puerto Rico and Pennsylvania. **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 66, p. 192-199, 1993.

MAZZA, M. C. M.; SANTOS, J. E.; MAZZA, C. A. S. Fenologia reprodutiva de Maytenus ilicifolia (Celastraceae) na Floresta Nacional de Irati, Paraná, Brasil. **Revista Brasil. Bot**, v. 34, n. 4, p. 565-574, dez 2011.

MCCAFFERTY, W. P. **Aquatic Entomology:** The Fishermen's and Ecologists' Illustrated Guide to Insects and Their Relatives. London: Jones & Bartlett Publishers, 1983.

MELO, A. S.; FROEHLICH, C. G. Macroinvertebrates in neotropical streams: richness patterns along a catchment and assemblage structure between 2 seasons. **J. N. Am. Benth. Soc.**, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2001.

MOULTON, T. P. et al. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). **The North American Benthological Society**, v. 23, n. 4, p. 868–881, 2004.

O'HARA, R. B.; KOTZE, D. J. Do not log-transform count data. **Methods in Ecology & Evolution**, v. 1, p. 118-122, 2010.

OLIVEIRA, B. R. et al. Florística e fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil. **Natureza Online**, Santa Teresa, v. 11, n. 4, p. 187-192, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2017. ISSN 3-900051-07-0.

REVELLE, W. psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. **Northwestern University**, Evanston, Illinois, 2018.

ROBINSON, C. T.; UERHLINGER, U.; HIEBER, M. Satio-temporal variation in macroinvertebrate assemblages of glacial streams in the Swiss Alps. **Freshwater Biology**, v. 46, n. 1663-1672, 2001.

SALLES, F. F. et al. As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil. **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. 1-34, 2004.

SALLES, F. F. et al. Order Ephemeroptera. In: HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda:** Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. [S.l.]: Elsevier Inc. All rights reserved., v. Volume III, 2019. Cap. 3, p. 61-117.

SILVA, N. A. P.; FRIZZAS, M. R.; OLIVEIRA, C. M. Seasonality in insect abundance in the “Cerrado” of Goiás State, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 1, n. 55, p. 79–87, 2011.

SUHAILA, A. H.; SALMAH, M. R. C.; HUDA, A. N. Seasonal Abundance and Diversity of Aquatic Insects in Rivers in Gunung Jerai Forest Reserve, Malaysia. **Sains Malaysiana**, v. 43, n. 5, p. 667-674, 2014.

SWEENEY, B. W. et al. Why adult mayflies of Cloeon dipterum (Ephemeroptera: Baetidae) become smaller as temperature warms. **Freshwater Science**, v. 37, n. 1, p. 64-81, 2018.

WARINGER, J. A. Phenology and Abundance of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera Caught by Emergence Traps at the Weidlingbach near Vienna, Austria. **Int. Revue ges. Hydrobiology**, v. 81, p. 63-77, 1996.

WOLDA, H. Seasonal fluctuations in rainfall, food and abundance of tropical insects. **Journal of Animal Ecology**, v. 47, p. 369-381, 1978.

WOLDA, H. Insect seasonality: why? **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, v. 19, p. 1-18, 1988.

WOLDA, H.; FLOWERS, R. W. Seasonality and diversity of mayfly adultis (Ephemeroptera) in a "Neoseasonal" tropical environment. **Biotropica**, v. 17, n. 4, p. 330-335, 1985.

ZAMORA-MUÑOZ, C.; SANCHEZ-ORTEGA, A.; ALBA-TERCEDOR, J. Physico-chemical factors that determine the distribution of mayflies and stoneflies in a high-mountain stream in southern Europe (Sierra Nevada, Southern Spain). **Aquatic Insects**, v. 15, p. 11-20, 1993.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 663 p.

**CAPÍTULO 2**

# Como fatores que agem em diferentes escalas espaciais podem influenciar a diversidade de Ephemeroptera em um ambiente de Mata Atlântica?

Vinicius Costa[1,2], Tathiana G. Sobrinho[2] e Frederico F. Salles[1,3]

# Como fatores que agem em diferentes escalas espaciais podem influenciar a diversidade de Ephemeroptera em um ambiente de Mata Atlântica?

Vinicius Costa[1,2], Tathiana G. Sobrinho[2] e Frederico F. Salles[1,3]

*1- Programa de Pós-graduação em Biologia Animal. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil, CEP 29075-910*

*2- Laboratório de Sistemática e Ecologia de Insetos, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, CEP 29.933-415, São Mateus, ES, Brasil*

*3- Museu de Entomologia, Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900, Minas Gerais, Brasil*

## RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo investigar os processos, em diferentes escalas espaciais, que determinam a diversidade de Ephemeroptera em uma região tropical. Historicamente, a diversidade vem sendo estudada há várias décadas apenas em escala local. No entanto, o estudo da diversidade pode ser dividido em mais de uma escala, permitindo relacionar quais fatores contribuem mais para a diversidade da paisagem como um todo. A diversidade total (gama γ) pode ser particionada na diversidade alfa e beta: alfa (α), é a diversidade dentro do habitat local e beta (β) a diferença entre a composição das escalas avaliadas. Portanto, definimos três escalas espaciais para esse estudo: a escala local, composta pelo substrato (pedra/laje, areia/cascalho e folhiço); a meso-escala, composta pelo substrato mais a velocidade da água (com ou sem correnteza); e a escala regional, representada pelos diferentes córregos amostrados (Bragacho, Roda D'agua e Lombardia). Para entender qual escala é mais importante para a diversidade regional da comunidade de Ephemeroptera, foi aplicada a abordagem de partição aditiva da diversidade. A pesquisa foi realizada na Reserva Biológica Augusto Ruschi, localizada no município de Santa Teresa (ES) Brasil. As ninfas foram coletadas com rede em forma de D e com peneiras circulares em seis pontos (escalas locais) ao longo de cada riacho, com um esforço de amostragem de uma hora por ponto. Para garantir a independência das amostras, a distância entre cada ponto era de pelo menos 30 metros. Verificamos que ao nível de micro-habitat o tipo de substrato exerce grande influência nas taxas de riqueza e abundância da comunidade de Ephemeroptera. Em nível de paisagem, no entanto, o nível hierárquico local é o que menos contribui na determinação da diversidade. As diferenças entre os rios, dessa forma, é o fator mais importante para o acréscimo de espécies à diversidade regional. E este resultado é particularmente relevante para programas de apelo conservacionista. O gasto de recursos em estudos de diversidade e programas de conservação da biodiversidade da fauna estudada pode ser mais efetivo ao priorizar (i) grande cobertura espacial (muitos locais que possuem riachos) e (ii) diversidade de substratos.

Palavras-chave: Mata Atlântica; Insetos aquáticos; Partição aditiva; Ecologia de paisagem

## INTRODUÇÃO

Os macroinvertebrados bentônicos figuram entre os principais componentes

bióticos de sistemas lóticos, contribuindo em processos ecológicos importantes como ciclagem de nutrientes e transferência de energia (MCCABE e GOTELLI, 2000). Dentre os macroinvertebrados está a ordem Ephemeroptera, um pequeno grupo de insetos que possui aproximadamente 3500 espécies descritas e é composto por organismos que passam a maior parte do seu ciclo de vida na forma de ninfas aquáticas (DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006; SALLES, DOMÍNGUEZ, *et al.*, 2019). Constituem um grupo ecológico bastante sensível à perturbações antropogênicas e, devido a esta característica, são passíveis de serem usados como bioindicadores (MOULTON, SOUZA, *et al.*, 2004; BUSS e SALLES, 2007; FIRMIANO, LIGEIRO, *et al.*, 2017; NASCIMENTO, ALVES-MARTINS e JACOBUCCI, 2018).

Nos últimos anos a Região Neotropical tem recebido atenção de estudos ecológicos que buscam compreender como e quais fatores ambientais agem na estruturação das comunidades de Ephemeropera. De forma geral, em nível local é sabido que a distribuição espacial do grupo está associada a fatores naturais do fluxo d'água, como velocidade e temperatura (DOS-SANTOS, MOLINERI, *et al.*, 2018; GLAZACZOW, ORWIN e BOGDZIEWICZ, 2016), oferta de recursos alimentares e substrato (SILVEIRA, BUSS, *et al.*, 2006; VILENICA, BRIGIć, *et al.*, 2017) e níveis de oxigênio dissolvido na água (BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2006; AMARAL, SILVEIRA, *et al.*, 2015), além de ser influenciada por perturbações antropogênicas (BUSS e SALLES, 2007; FIRMIANO, LIGEIRO, *et al.*, 2017)

Apesar dos esforços, ainda existe uma lacuna considerável no conhecimento da ecologia de Ephemeroptera, especialmente para região Neotropical (FLOWERS e PRINGLE, 1995; STENDERA e JOHNSON, 2005; SUHAILA, SALMAH e HUDA, 2014). Na maioria dos casos esses resultados são reportados secundariamente em trabalhos taxonômicos ou até mesmo em trabalhos menos específicos, em conjunto com outros grupos taxonômicos, por exemplo Trichoptera e Plecoptera, o que pode inviabilizar a realização de generalizações.

As espécies, em geral, estão distribuídas espacialmente em ambientes que permitem que elas se estabeleçam, estão associadas fortemente aos fatores ambientais que as cercam e as relações inerentes às interações ecológicas (WU, 2006). Assim, variações nestas características possibilitam que as espécies se

distribuam em diferentes comunidades ou grupos mais amplos. Dessa forma, a paisagem pode ser enxergada como um mosaico de vários elementos, gerando uma heterogeneidade local, que oferece uma variedade de nichos para diferentes organismos (FORMAN, 1995). Portanto, as variações no habitat podem ser acessadas em diferentes escalas espaciais, abrangendo todas as possíveis variações e níveis de resposta. Uma vez que as modificações do habitat ocorrem em diferentes escalas, também é necessário abordar a biodiversidade nessa perspectiva.

Historicamente, a biodiversidade, ou riqueza de espécies, foi estudada durante várias décadas apenas em escalas locais. No entanto, Whittaker (1960) propôs que o estudo da diversidade fosse particionada em mais de uma escala, o que possibilitou relacionar quais fatores contribuem mais intimamente para a diversidade regional. Ainda segundo o autor, as escalas espacialmente hierarquizadas poderiam contribuir para o estudo da biodiversidade, propondo que a diversidade regional (gamma, γ) fosse dividida em dois componentes: alfa (α), diversidade dentro do habitat local e beta (β), que reflete numericamente as diferenças entre as composições de espécies entre os habitats locais. A diversidade gamma, dessa forma, é obtida através da multiplicação entre as diversidades alfa e beta, chamada de partição multiplicativa da diversidade.

Segundo Lande (1996) essa abordagem cria um problema em relação à escala em que a diversidade beta é representada, bem como ela poderia ser estimada. Uma alternativa para esta abordagem é o uso da partição aditiva da diversidade. Dessa forma, a diversidade gamma se configura com a soma das diversidades alfa e beta, onde alfa é a diversidade dentro da escala mais baixa e beta é a diferença entre as escalas avaliadas (LANDE, 1996). Veech e colaboradores (2002) dissertam que a partição aditiva da diversidade pode ser usada para analisar qualquer pressuposto de determinante da diversidade de espécies. E defendem que o uso da partição aditiva da diversidade pode levar a maior compreensão dos fatores que controlam a distribuição espacial da biodiversidade (VEECH, SUMMERVILLE, *et al.*, 2002).

À vista disso, realizamos um estudo sobre a determinação da diversidade em diferentes escalas espaciais, especificamente de Ephemeroptera, para a região

Neotropical, abordando os aspectos ecológicos de como sua diversidade está distribuída nas diferentes escalas espaciais, seguindo os preceitos da partição aditiva da diversidade. Com o objetivo de investigar os processos (em diferentes escalas) que determinam a diversidade da ordem para a região tropical. Testar a premissa de que a riqueza e abundância relativa das espécies de Ephemeroptera são influenciadas pelo tipo de substrato. E a partir disso verificar como fatores que agem em diferentes escalas espaciais (local, mesoescala e regional) influenciam a diversidade de Ephemeroptera, usando a abordagem de partição aditiva da diversidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A coleta de dados foi realizada na Reserva Biológica Augusto Ruschi, que abrange uma área de 3.598,41 ha, localizada ao sudeste do município de Santa Teresa (Espírito Santo, Brasil). O clima é tropical de altitude com temperaturas médias de 19,9 ºC e a precipitação média anual de 1.400 mm. O período chuvoso se estende de outubro a abril e os menores índices ocorrem entre maio e setembro. A reserva possui como cobertura vegetal predominante a Floresta Ombrófila Densa (IBAMA, 2000), pertencente ao Bioma Mata Atlântica (Fig. 1).

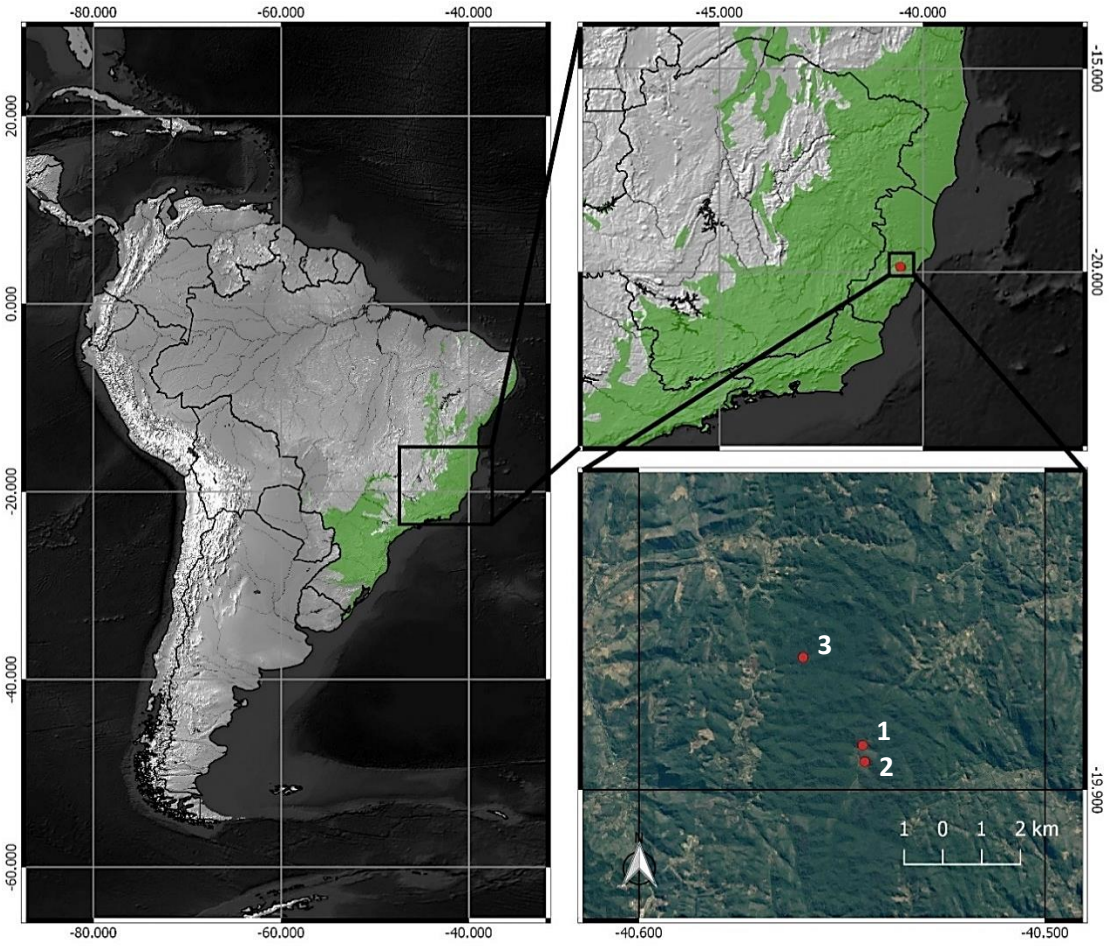



Figura 1 - Localização e visão geral da Rebio Augusto Ruschi destacando os pontos de coleta. 1- Córrego Lombardia; 2- Córrego Roda D'agua; 3- Córrego Bragacho.

Realizamos as coletas em três córregos dentro dos limites da reserva. Um ponto da rede de drenagem da bacia do Rio Doce (córrego Bragacho - 19°52'2.53"S, 40°33'34.27"W), e dois pontos da rede de drenagem do Rio Piraquê-Açu (córrego Lombardia - 19°53'20.60"S, 40°32'41.50"W; córrego Roda D'agua - 19°53'35.13"S, 40°32'39.71"W), (Figuras 1 a 3).

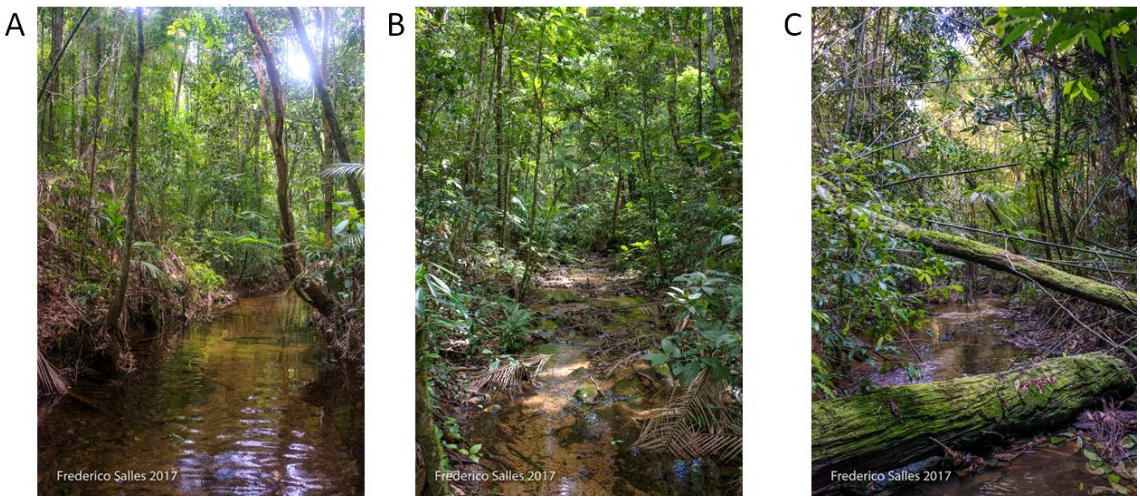



Figura 2 – Comparação visual dos locais de coleta. A- Córrego Lombardia; B- Córrego Bragacho; C- Roda D'agua

## Coleta de dados

Para investigar como fatores que agem em diferentes escalas espaciais (local, meso-escala e regional) influenciam a diversidade de Ephemeroptera, organizamos as coletas de acordo com o seguinte esquema hierárquico: (α) escala local, menor nível hierárquico que abrange apenas o substrato (folhiço, pedra rolada, laje e/ou cascalho/areia); (β1) diferença na composição de espécies entre locais; (β2) meso-habitats, que é um nível hierárquico intermediário, compreende a permuta de espécies dos substratos mais a presença ou não de correnteza (remanso e correnteza); (β3) diferenças na composição de espécies entre os córregos e (γ) a diversidade regional somando-se todos níveis hierárquicos (Figura 3).

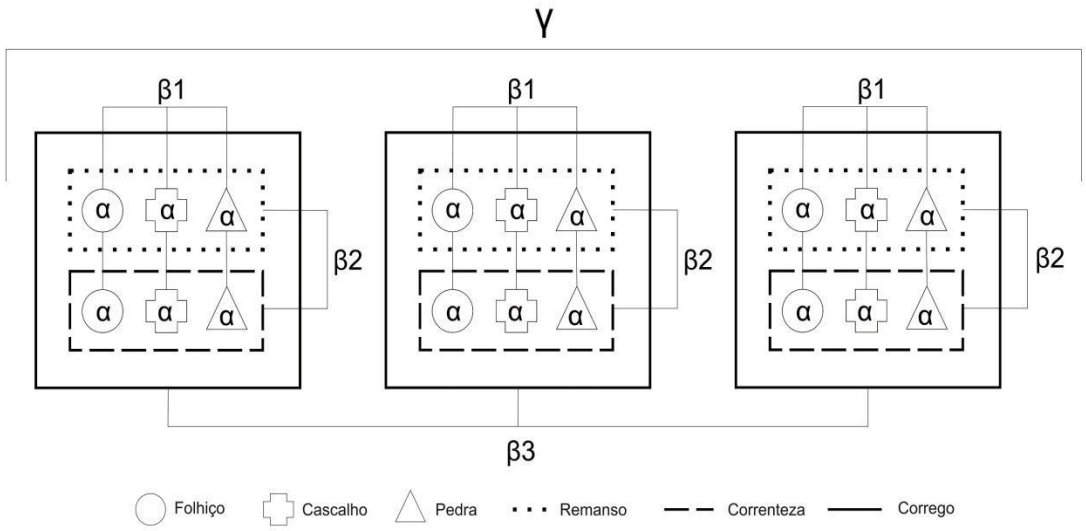



Figura 3 – Esquema hierárquico de partição de diversidade do presente estudo.

A amostragem foi realizada pelo método de varredura, com o auxílio de uma peneira de malha de 500 µm e rede-D em seis pontos ao longo de cada córrego, e com esforço de amostragem de uma hora por ponto. Para garantir a independência das amostras, a distância entre cada ponto era de pelo menos 30 metros, conforme exposto na figura 4.

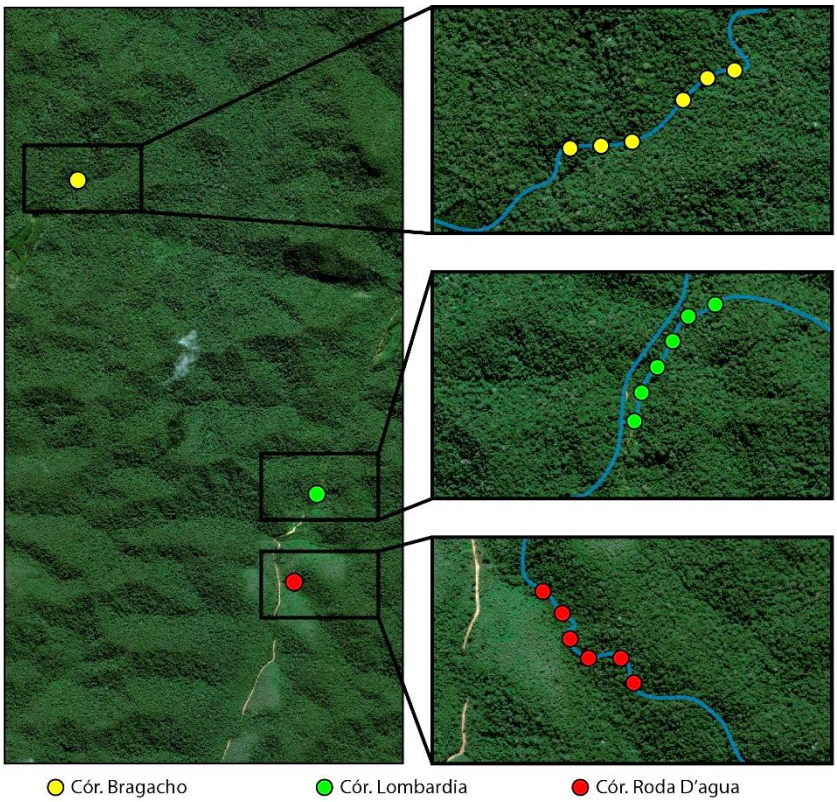



Figura 4 – Demarcação dos pontos de coleta na menor escala espacial (α).

Após a realização de cada coleta, o material biológico foi conservado em solução de álcool etílico 96º, e transferido ao LabSEI (Laboratório de Sistemática e Ecologia de Insetos). A identificação específica dos indivíduos foi realizada com auxílio de literatura específica (DOMINGUEZ, MOLINERI, *et al.*, 2006), via descrições originais e por comparação junto à Coleção Zoológica Norte Capixaba – UFES São Mateus. Após esta etapa os espécimes foram depositados na Coleção Zoológica Norte Capixaba (CZNC).

**Análise de dados**

Para testar se existem diferenças na abundância e riqueza de ninfas entre os substratos coletados utilizamos análises de variância (ANOVA), com distribuição de Poisson, indicada para dados de contagem (O'HARA e KOTZE, 2010). As variáveis dependentes foram abundância ou riqueza de espécies e a independente e categórica foi o tipo de substrato. Nas análises que foram detectadas sobredispersão dos dados, corrigimos, usando um ajuste de quasi-poisson, onde a variância é dada por $f \times \mu$, onde $\mu$ é a média e $f$ é o parâmetro

de dispersão. Realizamos, ainda, análises de resíduos para verificar a adequação dos modelos e da distribuição escolhida. As análises supracitadas foram feitas na plataforma R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017)

A avaliação das contribuições relativas dos diferentes componentes da diversidade para a diversidade regional foi feita através da análise de partição aditiva (LANDE, 1996). Assim, o modelo de partição de diversidade utilizado em nosso estudo foi: $\gamma$ (diversidade regional) = $\alpha + \beta 1 + \beta 2 + \beta 3$. Para investigar como fatores que agem em diferentes escalas espaciais (local, meso-escala e regional) influenciam a diversidade de Ephemeroptera, comparou-se os componentes de diversidade alfa e beta observados com valores gerados por modelos nulos. As análises foram feitas na plataforma R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017), utilizando o pacote vegan (OKSANEN, BLANCHET, *et al.*, 2017). Cada modelo nulo foi randomizado 10.000 vezes e depois comparado com os valores observados. Quando os valores observados de diversidade ($\alpha$ e dos diferentes níveis de $\beta$) diferiam estatisticamente do esperado devido ao acaso, assumia-se que outros processos que não estocásticos são responsáveis pela estruturação das comunidades.

## RESULTADOS

Foram coletados no total 403 espécimes de ninfas de Ephemeroptera, pertencentes a cinco famílias e 24 espécies. As famílias mais abundantes foram Baetidae (203) e Leptophlebiidae (183), seguidos por Leptohyphidae (7), Euthyplociidae (6) e Melanemerellidade (4). E a riqueza de espécies foi distribuída da seguinte maneira: Leptophlebiidae (10), Baetidae (9), Leptohyphidae (3), Euthyplociidae (1) e Melanemerellidade (1).

Foi possível observar que existe diferença significativa na abundância entre os substratos (escala local) onde os organismos foram coletados $F(_{2,15}) = 10,704$; $p<0.001$. Não houve diferença significativa entre a abundância encontrada nos habitats folhiço e laje/pedra. Contudo, a abundância encontrada na areia/cascalho foi menor do que aquela observada nos demais substratos (Fig. 5A). No que tange a riqueza, verifica-se que existe diferença entre os substratos

em relação ao modelo nulo $F_{(2,15)} = 34.077$; $p<0.001$ (Fig. 5B), houve também diferença significativa entre todos os substratos analisados.

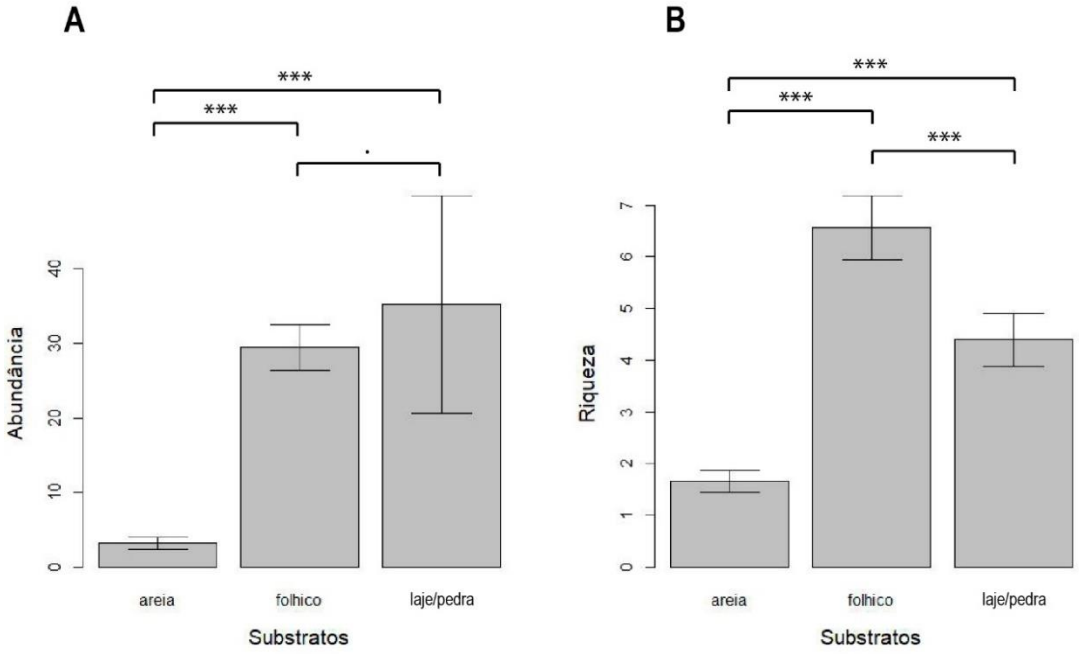



Figura 5 – Gráficos de abundância e riqueza de Ephemeroptera em função do substrato. Os "***" na parte superior dos gráficos indicam resultados significativos ao nível de <0.01 de probabilidade entre pares de substratos. E "." Indica que a diferença encontrada encontrada entre a abundância dos substratos folhiço e laje/pedra não foi significativa.

No particionamento da diversidade, a diversidade α, escala local, foi menor que o esperado a partir das aleatorizações. As diversidades β-1 e β-2 não foram diferentes do esperado pelo acaso, ou seja, a troca de espécies entre a escala local e entre os meso-habitas foi igual ao esperado em modelos nulos. Na paisagem estudada o componente da diversidade que mais contribuiu para a diversidade total foi o β-3, que corresponde à troca de espécies entre os rios, com diferença estatisticamente significativa em relação ao esperado por um modelo nulo, conforme exposto na tabela 1 e na figura 6.

Tabela 1 – Partição da diversidade com a contribuição de cada nível para a diversidade regional (γ), intervalo esperado pelos componentes e o p valor, obtidos a partir de comparação de modelos nulos

| ***Diversidade*** | **Observada** | **Intervalo esperado** | **p-valor** |
|---|---|---|---|
| *α* | 4.3889 | 8.7222 – 9.5556 | 0.000999*** |
| *β-1* | 5.9444 | 5.8889 – 7.5000 | 0.080919 |
| *β-2* | 4 | 3.3333 – 5.5000 | 0.446553 |
| *β-3* | 9.6667 | 2.6667 – 3.6667 | 0.000999*** |
| *γ* | 24 | 24 | |

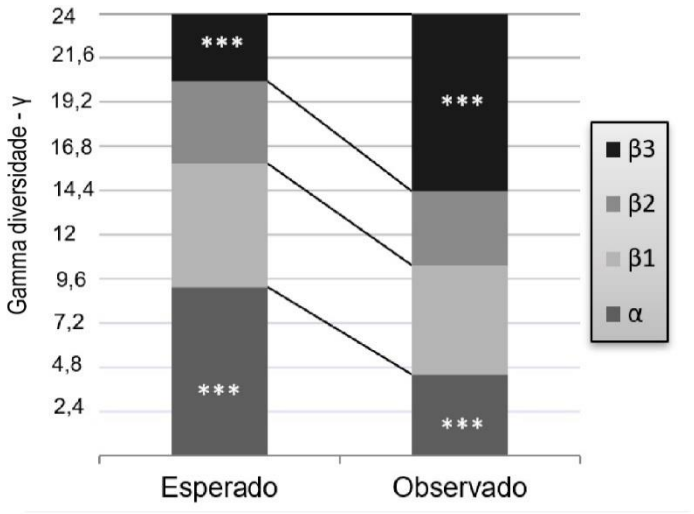



Figura 6 – Diversidade esperada e observada. Partição aditiva da diversidade gama em alfa e três níveis de beta, expressa graficamente pela contribuição de cada nível para a riqueza de espécies coletadas. *** resultados significativos ao nível de <0.01 de probabilidade.

## DISCUSSÃO

A importância do tipo de substrato para a composição de assembleias de macroinvertebrados de riachos é amplamente reconhecida e pode ser explicada como resultado da disponibilidade diferencial de recursos de alimentação e refúgios contra predação ou vazão do fluxo (BUSS, BAPTISTA, *et al.*, 2004; COSTA e MELO, 2008). Verificamos que a determinação de abundância e riqueza em nível de micro-habitat está fortemente ligada ao tipo de substrato. A areia, nesse sentido, é o substrato que apresentou menores abundância e riqueza de espécies. Esse resultado era esperado, visto que areia é conhecida por suportar uma diversidade de espécies de macroinvertebrados relativamente pobre, justamente devido ao fato de ser o substrato que menos oferece recursos

(MINSHALL, 1984). É importante ressaltar que, embora a areia se configure como um substrato considerado pobre, pode abrigar espécies que são psamófilas[1], como por exemplo algumas espécies do gêneros *Tricorythodes* (Leptohyphidae), *Rivudiva* (Baetidae) e *Homoeoneuria* (Oligoneuriidae) (SHIMANO, SALLES e CABETTE, 2011; SALLES e NASCIMENTO, 2010). Ou seja, embora pobre, a areia é um habitat que contribui na diversidade regional, colaborando dessa forma a estabelecer uma paisagem mais heterogênea, contribuindo assim para uma maior riqueza no rio como um todo.

Padrões de diversidade variam sob diferentes escalas espaciais e temporais. Entrada de energia, heterogeneidade ambiental e interações bióticas são elementos importantes na determinação da diversidade de comunidades de macroinvertebrados bentônicos (MCCABE e GOTELLI, 2000). Considerando fatores abióticos, a distribuição das ninfas de Ephemeroptera é determinada principalmente pela temperatura, tipo de substrato, velocidade e qualidade da água (BRITTAIN, 1982). Deste modo verificamos que, ao nível de micro-habitat, a diferença entre os substratos é um fator que age fortemente na determinação da abundância e riqueza locais, ou seja, localmente o tipo de substrato influencia na diversidade da comunidade estudada.

No entanto os resultados discutidos anteriormente não são suficientes para suportar a hipótese de que os fatores locais são, de fato, os mais importantes para determinar a diversidade em uma paisagem. Então, qual é o nível hierárquico que é mais importante para determinar a diversidade regional da comunidade Neotropical de Ephemeroptera? Realizamos o teste de partição aditiva da diversidade para verificar se o componente local é o que mais contribui para a diversidade total da paisagem estudada. Exceto pelo tipo de substrato, nossa amostragem foi aleatória dentro de cada escala espacial. Consequentemente, as diferenças na composição entre as unidades de amostra no mesmo substrato são em função principalmente da variação espacial ou ambiental.

A partir das análises de particionamento, verificamos que a diversidade α foi

[1] Que tem preferência por solos arenosos ou pelo fundo arenoso de ambientes aquáticos.

menor do que o esperado pelo acaso, esta relação entre a diversidade regional e a diversidade local é um indicativo de que as comunidades não estão localmente saturadas (LOREAU, 2000). Isto é, os espaços dos nichos ocupados pelas espécies de Ephemeroptera parecem não estar completamente utilizados. Como em estudos anteriores que abordam várias escalas espaciais, este estudo foi conduzido durante uma única estação (período chuvoso) (LIGEIRO, MELO e CALLISTO, 2010; ROBSON e CLAY, 2005), o que pode ter acarretado os resultados apresentados, visto que em períodos que historicamente os níveis de pluviosidade estão mais elevados, a abundância de ninfas diminui (BISPO, OLIVEIRA, *et al.*, 2006; GARCIA-RAVENTÓS, VIZA, *et al.*, 2017). Porém, estudos que verifiquem as influências ambientais que agem sobre este aspecto são necessários para aprofundar tais discussões.

Além disso, as análises revelaram a menor importância das diferenças entre locais (β-1) e meso-habitats (β-2) na determinação da diversidade regional. Isso quer dizer que a troca entre os substratos e entre ambientes, com e sem correnteza, não contribuem de forma significativa no acréscimo de espécies na paisagem. A homogeneização nesses dois níveis da hierarquia espacial pode ser explicada pelo fato que durante seu desenvolvimento as ninfas podem alternar o tipo de ambiente de acordo com as necessidades ecológicas do estádio em que se encontra (COLLIER, 1994; WINTERBOURN, 1981). Principalmente pelo comportamento de *drift*, onde as mesmas se arremessam à correnteza para realizar fuga de predadores, para explorar o ambiente em busca de recursos alimentares, disponibilidade ideal de oxigênio e para evitar competição (CIBOROWSKI e CLIFFORD, 1983; HOLOMUZKI e MESSIER, 1993). Pode ser ainda, que a diferenças de correnteza observadas entre os meso-habitats não foram suficientes para gerar diferenças significativas na composição da fauna coletada, homogeneizando assim as faunas das diferentes meso-escalas.

Por outro lado, as análises de particionamento de diversidade forneceram suporte adicional para a importância da troca de espécies entre os rios (β-3), nessa escala, maior do que a esperada por um modelo nulo. Provavelmente este resultado é em decorrência das especificidades de recursos oferecidos por cada fluxo (LIGEIRO, MELO e CALLISTO, 2010; BUSS, BAPTISTA, *et al.*, 2004). No

sentido de que os riachos, apesar de visualmente semelhantes (Fig. 2), apresentam composição de substratos diferente e vegetação distintas, o que pode refletir na estrutura da comunidade de Ephemeroptera presente nesta paisagem. Ou melhor, as necessidades ambientais de cada espécie são contempladas pelas características específicas de cada fluxo e essas diferenças podem estar impossibilitando maiores sobreposições nas composições de espécies dos riachos estudados.

Verificamos que ao nível de micro-habitat o tipo de substrato exerce grande influência nas taxas de riqueza e abundância da comunidade de Ephemeroptera. Em nível de paisagem, no entanto, o nível hierárquico local é o que menos contribui na determinação da diversidade. As diferenças entre os rios, dessa forma, é o fator mais importante para o acréscimo de espécies à diversidade regional. Isto é, este resultado é particularmente relevante para programas de apelo conservacionista. Deste modo, o gasto de recursos em estudos de diversidade e programas de conservação da biodiversidade da fauna estudada pode ser mais efetivo ao priorizar (i) grande cobertura espacial (muitos locais que possuem riachos) e (ii) diversidade de substratos.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, P. H. M. et al. Influence of Habitat and Land Use on the Assemblages of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera in Neotropical Streams. **Journal of Insect Science**, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2015. ISSN 60.

BISPO, P. C. et al. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera form riffes in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. **Brasilian Journal of Biology**, v. 2b, n. 66, p. 611-622, 2006.

BRITTAIN, J. E. Biology of mayflies. **Annual Review of Entomology, Zoological Museum**, v. 27, p. 119-147, 1982.

BUSS, D. F. et al. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in Neotropical streams.

**Hydrobiologia,** v. 518, p. 179–188, 2004.

BUSS, D. F.; SALLES, F. F. Using Baetidae Species as Biological Indicators of Environmental Degradation in a Brazilian River Basin. **Environ Monit Assess**, v. 130, p. 365-372, 2007.

CIBOROWSKI, J. J. H.; CLIFFORD, H. F. Life Histories, Microdistribution and Drift of Two Mayfly (Ephemeroptera) Species in thePembina River, Alberta, Canada. **Holarctic Ecology**, v. 6, p. 3-10, fev 1983.

COLLIER, K. Influence of nymphal size, sex and morphotype on microdistribution of Deleatidium (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) in a New Zealand river. **Freshwater Biology**, v. 31, p. 35-42, 1994.

COSTA, S. S.; MELO, A. S. Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. **Hydrobiologia,** v. 598, p. 131-138, 2008.

DOMINGUEZ, E. et al. **Aquatic Biodiversity in Latin America:** Ephemeroptera of South America. 1. ed. Bulgaria: Pensoft, v. 2, 2006.

DOS-SANTOS, D. A. et al. Cold/Warm stenothermic freshwater macroinvertebrates along altitudinal and latitudinal gradients in Western South America: A modern approach to an old hypothesis with updated data. **Journal of Biogeography**, v. 45, p. 1571-1581, 2018.

FIRMIANO, K. R. et al. Mayfly bioindicator thresholds for several anthropogenic disturbances in neotropical savanna streams. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 276-284, 2017.

FLOWERS, R. W.; PRINGLE, C. M. Yearly fluctuations in the mayfly (Ephemeroptera) community of a tropical stream draining lowland pasture in Costa Rica. In: CORKUM, L. D.; CIBOROWSKI, J. J. H. **Current Directions in Research on Ephemeroptera**. [S.l.]: Canadian Scholars' Press, 1995. Cap. 10, p. 131-149.

FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics:** The Ecology of Landscapes and Regions.

Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.

GARCIA-RAVENTÓS, A. et al. Seasonality, species richness and poor dispersion mediate intraspecific trait variability in stonefly community responses along an elevational gradient. **Freshwater Biology**, p. 1-13, 2017.

GLAZACZOW, A.; ORWIN, D.; BOGDZIEWICZ, M. Increased temperature delays the late-season phenology of multivoltine insect. **Nature: Scientific Reports**, p. 1-8, 2016.

HOLOMUZKI, J. R.; MESSIER, S. H. Habitat selection by the stream mayfly Paraleptophlebia guttata. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 12, p. 126-135, 1993.

IBAMA, I. B. D. M. A. E. R. R.-. **Plano de Manejo da Reserva Biológica Augusto Ruschi.:** Diretoria de Ecossistemas. 2000. 1. ed. Vitória: Diretoria de Ecossistemas, 2000.

LANDE, R. Statistics and Partitioning of Species Diversity, and Similarity among Multiple Communities. **Oikos**, v. 76, n. 1, p. 5-13, maio 1996.

LIGEIRO, R.; MELO, A. S.; CALLISTO, M. Spatial scale and the diversity of macroinvertebrates in a Neotropical catchment. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 424-435, 2010.

LOREAU, M. Are communities saturated? On the relationship between alpha, beta and gamma diversity. **Ecology Letters**, v. 3, p. 73-76, 2000.

MCCABE, D. J.; GOTELLI, N. G. Effects of disturbance frequency, intensity, and area on assemblages of stream macroinvertebrates. **Oecologia**, v. 124, p. 270-279, 2000.

MINSHALL, G. W. Aquatic Insect - substratum relationship. In: RESH, V. H.; ROSENBERG, D. M. **The Ecology of Aquatic Insects**. New York: Praeger Scientific, 1984. p. 358–400.

MOULTON, T. P. et al. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). **The**

**North American Benthological Society**, v. 23, n. 4, p. 868–881, 2004.

NASCIMENTO, A. L.; ALVES-MARTINS, F.; JACOBUCCI, G. B. Assessment of ecological water quality along a rural to urban land use gradient using benthic macroinvertebrate based indexes. **Bioscience journal**, v. 34, n. 1, p. 194-209, 2018.

O'HARA, R. B.; KOTZE, D. J. Do not log-transform count data. **Methods in Ecology & Evolution**, v. 1, p. 118-122, 2010.

OKSANEN, J. et al. vegan: Community Ecology Package, n. R package version 2.5-3, 2017. Disponivel em: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2017. ISSN ISBN 3-900051-07-0. Disponivel em: <https://www.R-project.org/>.

ROBSON, B. J.; CLAY, C. J. Local and regional macroinvertebrate diversity in the wetlands of a cleared agricultural landscape in south-western Victoria, Autralia. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 15, p. 403-414, 2005.

SALLES, F. F. et al. As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil. **Biota Neotropica**, v. 4, n. 2, p. 1-34, 2004.

SALLES, F. F. et al. Order Ephemeroptera. In: HAMADA, N.; THORP, J. H.; ROGERS, D. C. **Keys to Neotropical Hexapoda:** Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. [S.l.]: Elsevier Inc. All rights reserved., v. Volume III, 2019. Cap. 3, p. 61-117.

SALLES, F. F.; NASCIMENTO, J. M. C. Primeiro levantamento da fauna de Ephemeroptera (Insecta) do Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Biota Neotrop.**, v. 10, p. 293-307, 2010.

SHIMANO, Y.; SALLES, F. F.; CABETTE, H. S. R. Ephemeroptera (Insecta) ocorrentes no Leste do Estado do Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotrop.**, v. 11, p. 239-253, 2011.

SILVEIRA, M. P. et al. Spatial and temporal distribution of benthic macroinvertebrates in a Southeastern Brazilian river. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 623-632, 2006.

STENDERA, S. E. S.; JOHNSON, R. K. Additive partitioning of aquatic invertebrate species diversity across multiple spatial scales. **Freshwater Biology**, v. 50, p. 1360–1375, 2005.

SUHAILA, A. H.; SALMAH, M. R. C.; HUDA, A. N. Seasonal Abundance and Diversity of Aquatic Insects in Rivers in Gunung Jerai Forest Reserve, Malaysia. **Sains Malaysiana**, v. 43, n. 5, p. 667-674, 2014.

VEECH, J. A. et al. The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. **Oikos** , v. 99, p. 3-9, 2002.

VILENICA, M. et al. Microhabitat selection and distribution of functional feeding groups of mayfly larvae (Ephemeroptera) in lotic karst habitats. **Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems**, v. 419, p. 1-12, 2017.

WHITTAKER, R. M. Vegetation of the Siskiyou Moun- tains, Oregon and California. **Ecological Monographs**, v. 30, p. 279-338., 1960.

WINTERBOURN, M. J. The use of aquatic invertebrates in studies of stream water quality. **Water and Soil Publicatio**, v. 22, p. 5-16, 1981.

WU, J. Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science. **Landscape Ecology**, v. 21, p. 1-4, 2006.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da temática - **Sazonalidade e diversidade de Ephemeroptera Neotropicais** - nos permitiu concluir que a ordem apresenta um padrão sazonal de abundância e riqueza durante o ano na região estudada, com a maioria das espécies apresentando maior abundância entre novembro e fevereiro. Observamos ainda, que esse padrão sazonal é reflexo das diferenças sazonais dos regimes de temperatura e pluviosidade cíclicas da paisagem estudada. Esses resultados podem ser importantes para trabalhos taxonômicos e ecológicos, ao direcionar as campanhas de coleta para os períodos de maior abundância e riqueza de Ephemeroptera, ou até mesmo para os períodos de picos de emergência de uma determinada espécie.

Verificamos ainda, que ao nível de micro-habitat, o tipo de substrato exerce grande influência nas taxas de riqueza e abundância da comunidade de Ephemeroptera. Em nível de paisagem, no entanto, o nível hierárquico local é o que menos contribui na determinação da diversidade. A diferença entre os rios, dessa forma, é o fator mais importante para o acréscimo de espécies à diversidade regional. Este resultado é particularmente relevante para programas de apelo conservacionista. Deste modo, o gasto de recursos em estudos de diversidade e programas de conservação da biodiversidade da fauna estudada pode ser mais efetivo ao priorizar a conservação de grande cobertura espacial e a diversidade de substratos.

Ainda, faz-se importante ressaltar o ineditismo desta pesquisa para o Brasil, visto que não observamos um trabalho em bibliografia publicada, especificamente a respeito da fauna de Ephemeroptera, que abarque tais informações fenológicas com aspectos ecológicos e de distribuição para esta comunidade.

Assim posto, considerando os resultados encontrados nesta pesquisa, recomendamos que esforços futuros estejam focados em responder: (1) quais outros fatores, que não climáticos, podem influenciar (ou ter influenciado) na modulação do período de revoada da comunidade de Ephemeroptera; (2) por que as famílias mais abundantes apresentam o período de revoada assíncrono;

(3) como distúrbios de origem antrópica podem estar influenciando na determinação da diversidade da ordem e; (4) investigar se o padrão de determinação de diversidade de Ephemeroptera encontrado na paisagem deste estudo (Mata Atlântica) se repete em outros ambientes da região Neotropical.

# ANEXOS

ANEXO 1 - LISTAS DE ESPÉCIES – CAPÍTULO 1

| **Família** | **Espécie** |
|---|---|
| Leptophlebiidae | *Askola froehlichi*<br>Peters, 1969 |
| | *Askola* sp. |
| | *Farrodes carioca*<br>Domínguez, Molineri & Peters, 1996 |
| | *Hagenulopsis diptera*<br>Ulmer, 1920 |
| | *Hagenulopsis minuta*<br>Spieth, 1943 |
| | *Hermanella* sp. |
| | *Massartella brieni*<br>(Lestage, 1924) |
| | *Miroculis mourei*<br>Savage & Peters, 1983 |
| | *Miroculis* sp. nov. |
| | *Perissophlebiodes flinti*<br>(Savage, 1982) |
| | *Poranga* sp. |
| | *Simothraulopsis caliginosus*<br>Nascimento & Salles & Hamada 2017 |
| | *Thraulodes luisae*<br>Souto, Da-Silva & Nessimian, 2014 |
| | *Ulmeritoides nigribullae*<br>Salles & Domínguez, 2012 |
| Baetidae | *Aturbina georgei*<br>Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996 |
| | *Baetodes* sp. |
| | *Callibaetis capixaba*<br>Cruz, Salles & Hamada, 2009 |

| | |
|---|---|
| | *Callibaetoides caaigua*<br>Cruz, Salles & Hamada, 2013 |
| | *Cloeodes aymore*<br>Massariol & Salles, 2011 |
| | *Paracloeodes* sp. |
| | *Zelusia deceptiva*<br>Angeli & Salles, 2016 |
| | *Baetidae (♀)* morfotipo 1 |
| Leptohyphidae | *Leptohyphodes inanis*<br>(Pictet, 1843) |
| | *Traverhyphes yuati*<br>Molineri, 2004 |
| | *Tricorythodes bullus*<br>Allen, 1967 |
| | *Tricorythopsis minimus*<br>Allen, 1973 |
| | *Tricorythopsis yacutinga*<br>Molineri, 2001 |
| Euthyplociidae | *Campylocia burmeisteri*<br>Ulmer 1942 |
| Polymitarcyidae | *Campsurus truncatus*<br>Ulmer, 1920 |

ANEXO 2 - LISTAS DE ESPÉCIES – CAPÍTULO 2

| **Família** | **Espécie** |
|---|---|
| Leptophlebiidae | *Askola froehlichi* Peters, 1969 |
| | *Hagenulopsis diptera* Ulmer, 1920 |
| | *Massartella brieni* (Lestage, 1924) |
| | *Miroculis mourei* Savage & Peters, 1983 |
| | *Miroculis* sp. nov. |
| | *Poranga* sp. |
| | *Simothraulopsis demerara* (Traver, 1947) |
| | *Simothraulopsis diamantinensis* Mariano, 2010 |
| | *Thraulodes luisae* Souto, Da-Silva & Nessimian, 2014 |
| | *Ulmeritoides araponga* Salles & Domínguez, 2012 |
| Baetidae | *Americabaetis labiosus* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996 |
| | *Aturbina georgei* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996 |
| | *Baetodes capixaba* Souza, Salles & Nessimian, 2011 |
| | *Baetodes iuaquita* Souza, Salles & Nessimian, 2011 |
| | *Callibaetis capixaba* Cruz, Salles & Hamada, 2009 |
| | *Callibaetoides caaigua* |

| | |
|---|---|
| | Cruz, Salles & Hamada, 2013 |
| | *Cloeodes aymore*<br>Massariol & Salles, 2011 |
| | *Paracloeodes eurybranchus*<br>Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996 |
| | *Zelusia deceptiva*<br>Angeli & Salles, 2016 |
| Leptohyphidae | *Leptohyphodes inanis*<br>(Pictet, 1843) |
| | *Tricorythodes hiemalis*<br>Molineri, 2001 |
| | *Tricorythopsis artigas*<br>Traver, 1958 |
| Euthyplociidae | *Campylocia burmeisteri*<br>Ulmer 1942 |
| Melanemerellidae | *Melanemerella brasiliana*<br>Ulmer, 1920 |