

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA
Programa de Pós-Graduação em
Entomologia e Conservação da Biodiversidade - PPGECEB

Ephemeroptera (Insecta) em riachos de uma paisagem cárstica do
Cerrado: diversidade, escala e relações com áreas florestais

Fábio Henrique da Silva

Dourados-MS
Junho/2022

Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais
Programa de Pós-Graduação em
Entomologia e Conservação da Biodiversidade

Fábio Henrique da Silva

EPHEMEROPTERA (INSECTA) EM RIACHOS DE UMA
PAISAGEM CÁRSTICA DO CERRADO: DIVERSIDADE,
ESCALA E RELAÇÕES COM ÁREAS FLORESTAIS

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de DOUTOR EM ENTOMOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE.

Área de Concentração: Biodiversidade e Conservação

Orientador: Josué Raizer
Co-orientador: Fabio de Oliveira Roque
Co-orientador: Francisco Valente Neto

Dourados-MS
Junho/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586e	Silva, Fábio Henrique da. Ephemeroptera (Insecta) em riachos de uma paisagem cárstica do Cerrado: diversidade, escala e relações com áreas florestais. / Fábio Henrique da Silva. – Dourados, 2022. Orientador: Prof. Josué Raizer. Co-orientador: Fabio de Oliveira Roque, Francisco Valente Neto. Tese (Doutorado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade) – Universidade Federal da Grande Dourados. 1. Insetos aquáticos. 2. Guilda alimentar. 3. Riqueza de espécies. 4. Biodiversidade. 5. Riachos neotropicais. I. Título.
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

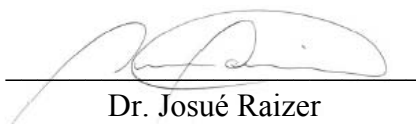
©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

**"EPHEMEROPTERA (INSECTA) EM RIACHOS DE UMA PAISAGEM CÁRSTICA DO
CERRADO: DIVERSIDADE, ESCALA E RELAÇÕES COM ÁREAS FLORESTAIS"**

Por

FÁBIO HENRIQUE DA SILVA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD),
como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTOR EM ENTOMOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
Área de Concentração: Biodiversidade e Conservação



Dr. Josué Raizer
Orientador/Presidente – UFGD

Participação remota

Dr.^a Viviana de Oliveira Torres

Participação remota

Dr. Paulino Barroso Medina Júnior

Participação remota

Dr. Silvio Favero

Participação remota

Dr. Ricardo Augusto dos Passos

Tese aprovada em: 30 de junho de 2022.

Biografia do Acadêmico

Fábio Henrique da Silva, nascido em 10 de agosto de 1980, na cidade de São José dos Campos, São Paulo, filho de Maria Aparecida Martins da Silva e Lauro José da Silva, cursou o ensino fundamental nas escolas Moderna Associação Campo-grandense de Ensino, Raul Sans de Mattos, Dolor Ferreira de Andrade e Colégio Dom Bosco (1986-1996), ensino médio no Colégio Dom Bosco (1997-1999), ensino superior na Universidade para o Desenvolvimento do Estado da Região do Pantanal (UNIDERP), formado em Ciências Biológicas, com ênfase em Ciências Ambientais (2001-2004), onde participou de projetos de iniciação Científica (2001-2003) e cursou o mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional pela mesma universidade (2005-2007), trabalhando com temas relacionados a macroinvertebrados bentônicos, insetos aquáticos, bioindicadores e qualidade ambiental.

Agradecimentos

À minha família, em especial a minha esposa pelo incentivo, confiança, paciência durante os meus estudos, por sempre acreditar e respeitar as minhas escolhas.

Aos meus orientadores, os Professores Dr. Fábio de Oliveira Roque, Dr. Josué Raizer e Dr. Francisco Valente Neto, por aceitarem a empreitada da orientação, pela confiança e por todos os ensinamentos passados durante a execução dos trabalhos para a conclusão desta Tese.

Ao Professor Dr. Frederico Falcão Salles, por toda a disposição e ensinamentos a respeito da ordem Ephemeroptera, que juntamente com o Me. Jhon Faber Marulanda Lopez realizou a revisão das espécies identificadas e pela parceria na escrita do manuscrito do Capítulo I.

Ao Amigo Me. Fábio Padilha Bolzan pela parceria na coleta de dados espaciais, imagens e contribuições no Capítulo II.

Aos amigos Marcelo, Walteir, Adriano e a minha esposa Gabriela pelo auxílio nos trabalhos de campo, durante as coletas de Ephemeroptera no Planalto da Bodoquena.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

A todos vocês, o meu mais sincero agradecimento.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Gabriela e
minhas filhas Vitória e Maitê.

Sumário

Resumo Geral.....	9
General Abstract.....	11
Introdução Geral.....	13
Revisão Bibliográfica.....	14
Objetivo Geral.....	16
Abordagens e Hipóteses.....	17
Referências.....	17
 Capítulo I: Ephemeroptera (INSECTA) do Planalto da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brasil: distribuição, novos registros e lista de espécies.....	 21
Resumo.....	21
Abstract.....	21
Introdução.....	22
Material e métodos.....	23
Área de estudo.....	23
Amostragem, identificação e deposição.....	24
Material examinado e distribuição geográfica.....	25
Resultados.....	25
Discussão.....	33
Agradecimentos.....	35
Referências.....	36
 Capítulo II: Efeito da escala e da cobertura florestal sobre a comunidade de Ephemeroptera (Insecta) de riachos em uma paisagem cárstica no Cerrado.....	 41
Resumo.....	41
Abstract.....	41
Introdução.....	42
Material e métodos.....	44
Área de Estudo.....	44
Cobertura florestal, métricas da paisagem e extensão espacial.....	45
Dados de espécies de Ephemeroptera.....	48
Análise dos dados.....	48
Resultados.....	49
Discussão.....	50
Agradecimentos.....	54
Referências.....	54
 Considerações Finais.....	 70

* Tese formatada de acordo com as normas da Revista ZooKeys.

Ephemeroptera (Insecta) em riachos de uma paisagem cárstica do Cerrado: diversidade, escala e relações com áreas florestais

Resumo Geral

Estudos com inventários de espécies são importantes e promovem informações em diversas áreas da biologia do grupo em estudo, como distribuição espacial, biogeografia, ecologia de populações e comunidades. Os dados gerados podem ser considerados uma linha de base de informações ecológicas e de biodiversidade e permitem uma possível aplicação futura auxiliando na tomada de decisões e estratégias de conservação. A ordem Ephemeroptera constitui um dos mais importantes grupos da entomofauna aquática encontrados nos mais diversos tipos de ecossistemas aquáticos, associadas às plantas aquáticas e ao sedimento, onde participam ativamente da ciclagem de nutrientes e do fluxo energético. Um fator importante na distribuição e disponibilidade de alimentos para insetos aquáticos é a associação entre o ambiente aquático e a cobertura vegetal. A vegetação no entorno dos rios contribui para o funcionamento do sistema aquático, produtividade, disponibilidade de recursos e fonte de nutrientes e matéria orgânica. Entender a relação entre as espécies e seu ambiente, assim como identificar a escala espacial em que as espécies respondem à estrutura da paisagem é um grande desafio. Essas informações podem ser importantes para auxiliar os tomadores de decisão na gestão, manutenção e restauração da biodiversidade e seus habitats. Esta tese está dividida em dois capítulos complementares sendo o primeiro um trabalho exploratório de levantamento de espécies de Ephemeroptera (Insecta) em riachos cársticos do Cerrado brasileiro, onde apresentamos a distribuição, novos registros e uma lista contendo 35 espécies, 23 gêneros e seis famílias de Ephemeroptera, encontradas no Planalto da Bodoquena, agregando informações importantes sobre o conhecimento da fauna de insetos de riachos cársticos. *Camelobaetidius huarpe* e *Cloeodes vaimaca* (Baetidae), *Lumahyphes guacra* (Leptohyphidae) e *Ulmeritoides spinulipenis* (Leptophlebiidae) são registradas pela primeira vez no Brasil, enquanto outras 26 espécies representam novos registros para Mato Grosso do Sul. No segundo capítulo testamos o potencial efeito da mudança de escala e da definição operacional na porcentagem de cobertura florestal, sobre grupos tróficos da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) de riachos cársticos do Cerrado brasileiro. Nós hipotetizamos que haveria relação entre a riqueza e abundância dos grupos tróficos da comunidade de Ephemeroptera com a mudança de escala e da definição operacional na porcentagem de cobertura florestal, de modo que: i)

fragmentadores apresentariam relação positiva com o aumento da cobertura florestal e efeito mais forte em buffers menores, considerando que as espécies utilizam a matéria vegetal disponível pela vegetação ripária; *ii*) coletores teriam uma relação difusa e efeito indiferente em relação ao tamanho dos buffers, por não dependerem diretamente da entrada de matéria da vegetação ripária, pois as espécies podem consumir a matéria particulada produzida por fragmentadores locais, assim como dissolvidas na água e oriundas de áreas a montante; e *iii*) raspadores teriam uma relação negativa com o aumento da cobertura florestal e efeito mais forte em buffers maiores, considerando que as espécies utilizam matéria a partir da produção autotrófica, que depende da entrada de luz no ambiente aquático. Nossos resultados demonstram que não há uma definição de escala ideal a ser trabalhada para a riqueza ou abundância de espécies, de forma que o uso de um único tamanho de buffer pode levar a interpretações equivocadas. Do ponto de vista prático, acreditamos que o melhor caminho é incluir o procedimento de testar para diferentes métricas e classificações e não assumir a priori escalas. Nossos dados indicam que grupos funcionais distintos respondem diferentemente às métricas de paisagem, o que fortalece a ideia de que as particularidades funcionais da biota respondem a diferentes condições ambientais da paisagem. Estes resultados têm implicações para o planejamento amostral e a conservação, pois demonstra a necessidade de se testar as escalas a serem trabalhadas e de descrever qual a definição operacional de floresta utilizada em cada análise, a fim de evitar erros de interpretações e resultados equivocados, assim como na comparação de resultados em trabalhos futuros.

Palavras-chave: insetos aquáticos, guilda alimentar, riqueza de espécies, biodiversidade, riachos neotropicais.

Ephemeroptera (Insecta) in streams of a Cerrado karst landscape: diversity, scale and relationships with forest areas

General Abstract

Studies with species inventories are important and provide information in several areas of the biology of the group under study, such as spatial distribution, biogeography, population and community ecology. The generated data can be considered a baseline of ecological and biodiversity information and allow a possible future application, helping in decision-making and conservation strategies. The order Ephemeroptera is one of the most important groups of aquatic entomofauna found in the most diverse types of aquatic ecosystems, associated with aquatic plants and sediment, where they actively participate in nutrient cycling and energy flow. An important factor in the distribution and availability of food for aquatic insects is the association between the aquatic environment and vegetation cover. The vegetation surrounding the rivers contributes to the functioning of the system, productivity, availability of resources and source of nutrients and organic matter. Understanding the relationship between species and their environment, as well as identifying the spatial scale at which species respond to landscape structure or the effect of scale, is a major challenge. This information can be important to assist decision makers in the management, maintenance and restoration of biodiversity and its habitats. This thesis is divided into two complementary chapters, the first being an exploratory survey of Ephemeroptera (Insecta) species in karst streams of the Brazilian Cerrado, where we present the distribution, new records and a list containing 35 species, 23 genera and six families of Ephemeroptera, found in the Bodoquena Plateau, adding important information about the knowledge of the insect fauna of karst streams. *Camelobaetidius huarpe* and *Cloeodes vaimaca* (Baetidae), *Lumahyphes guacra* (Leptohyphidae) and *Ulmeritoides spinulipenis* (Leptophlebiidae) are recorded for the first time in Brazil, while another 26 represent new records for Mato Grosso do Sul. In the second chapter, we tested the potential effect of scale change and operational definition on the percentage of forest cover, on trophic groups of the Ephemeroptera community (Insecta) from karst streams in the Brazilian Cerrado. We hypothesized that there would be a relationship between the richness and abundance of trophic groups in the Ephemeroptera community with the change in scale and operational definition in the percentage of forest cover, so that: i) the shredders would present a positive relationship with the increase in forest cover and a stronger effect in

smaller buffers, considering that the species use the plant material available by the riparian vegetation; *ii*) the collectors would have a diffuse relationship and indifferent effect in relation to the size of the buffers, as they do not depend directly on the input of material from the riparian vegetation, as the species can consume the particulate matter produced by local shredders, as well as dissolved in the water and originating from upstream areas; and *iii*) scrapers a negative relationship with the increase in forest cover and a stronger effect in larger buffers, considering that the species use matter from autotrophic production, which depends on the entry of light into the aquatic environment. Our results demonstrate that there is no ideal scale definition to work with for richness or species and a single definition of the buffer size can lead to misinterpretations. From a practical point of view, we believe that the best way is to include the procedure of testing for different metrics and classifications and not assume a priori scales. Although our data show that different functional groups may respond differently to landscape metrics, this strengthens the idea that the functional particularities of biota respond to different environmental conditions of the landscape. These results have implications for sample planning and conservation, as they demonstrate the need to test the scales to be worked on and also the need to describe the operational definition of forest used in each analysis, in order to avoid errors in interpretations and results. errors, as well as in the comparison of results in future works.

Keywords: aquatic insects, trophic guild, species richness, biodiversity, neotropical streams.

Introdução Geral

A entomofauna aquática constitui um dos mais importantes grupos encontrados em ecossistemas aquáticos, associadas às plantas aquáticas e ao sedimento, onde participam ativamente da ciclagem de nutrientes e do fluxo energético. Os insetos são amplamente distribuídos e habitam os mais diversos tipos de ambientes aquáticos (Merritt e Cummins 2008).

A associação entre ambiente lótico e vegetação marginal é um fator que influencia a distribuição e disponibilidade de alimentos para insetos aquáticos (Vannote et al. 1980). Essa vegetação contribui significativamente para o funcionamento dos sistemas aquáticos, aportando matéria orgânica e nutrientes, que é a base da cadeia alimentar heterotrófica em ambientes lóticos (Silva et al. 2012).

Entender os padrões de biodiversidade tem se tornando cada vez mais urgente à medida que as paisagens, ecossistemas e comunidades são transformadas por diferentes processos, como perda de habitat, invasão de espécies exóticas, eutrofização e mudanças climáticas (Dudgeon et al. 2006; Vörösmarty et al. 2010).

Os ambientes lóticos são ecossistemas dinâmicos que mudam ao longo do tempo e espaço. A dinâmica ecológica dos ambientes lóticos pode levar a mudanças contínuas (gerando mudanças graduais) ou gerar descontinuidades em diferentes escalas de habitat (Lake 2000).

Uma melhor compreensão de padrões de biodiversidade em especial de larga escala é necessária para o avanço da ecologia básica e aplicada. Informações de padrões de biodiversidade de uma variedade de táxons pouco estudados são necessárias (Heino 2015), e o conhecimento dos padrões da biodiversidade é essencial para orientar ações de manejo, conservação e avaliação ambiental (Caro 2010).

Devido aos desafios de entender os processos biológicos subjacentes (Jackson e Fahrig 2015), geralmente não se sabe *a priori* quais são aquelas extensões espaciais ideais (Huais 2018). Deste modo, muitos trabalhos comumente investigam a extensão espacial dentro da qual uma paisagem variável tem seu efeito mais forte nas respostas das espécies, sem saber *a priori* qual é a escala de estudo apropriada, nos quais podemos citar os trabalhos de Brennan et al. (2002); Holland et al. (2004); Holland e Yang (2016); Huais (2018).

Revisão Bibliográfica

A ordem Ephemeroptera (Hyatt & Arms, 1891)

A Ordem Ephemeroptera compreende um grupo relativamente pequeno de insetos, conhecido popularmente como “efeméridas” ou “efêmeros” devido à brevidade de sua vida adulta. Neste grupo, todos os estágios ninfais são aquáticos, enquanto os adultos tem vida curta, podendo viver de apenas algumas horas a poucos dias (Dominguez et al. 2009).

Sua distribuição é mundial, exceto na Antártica, no Extremo Ártico e em algumas ilhas oceânicas. São os únicos insetos atuais com dois estádios alados, ou seja, sofrem muda após o desenvolvimento das asas funcionais, sendo o primeiro chamado de subimago e segundo de imago ou adulto, o qual corresponde ao estágio reprodutivo (Da-Silva e Salles 2012).

As formas imaturas são anfibióticas e dulciaquícolas, chamadas de ninfas, náíades ou larvas, os adultos são encontrados próximos a ambientes aquáticos, podendo se desenvolver em ambientes lóticos e lênticos, entretanto, muitas espécies são restritas a um determinado tipo de hábitat, sendo a maior diversidade de espécies encontrada em riachos com fundo rochoso (Merrit e Cummins 2008).

Os imaturos participam ativamente da ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema aquático, já os adultos não se alimentam, dependendo exclusivamente da reserva de energia das ninfas, sendo suas funções relacionadas a reprodução, oviposição e dispersão. Ephemeroptera são os mais primitivos insetos alados existentes, com registros fósseis que datam do Carbonífero e Permiano (Dominguez et al. 2006). Os mais antigos são do Permiano Inferior do Kansas (EUA) e da Rússia. No Brasil, existem muitos registros fósseis na Formação Santana, do Cretáceo Inferior (McCafferty 1990).

Mundialmente são representados por aproximadamente 3.500 espécies (Sartori e Brittain 2015), na América do Sul são conhecidas 14 famílias, 116 gêneros e 716 espécies, das quais 200 são encontradas no Brasil (Salles e Boldrini 2022). No último check list realizado para o estado de Mato Grosso do Sul, 11 espécies distribuídas em oito gêneros e quatro famílias foram registradas (Silva e Salles 2017).

Grupos Tróficos de Insetos Aquáticos

O sistema de classificação de grupos tróficos foi proposto por Cummins (1973), baseada não só no tipo de recurso consumido, mas também nos mecanismos morfológicos e comportamentais de aquisição desses recursos (Cummins 1973; Cummins e Klug 1979; Cummins et al. 2008). Portanto, seu reconhecimento pode ser baseado principalmente no

tipo de dieta apresentado pelos táxons e o comportamento alimentar associado ao substrato no qual o alimento está disponível (Simberloff e Dayan 1991).

De acordo com a classificação de Cummins (1973) os insetos aquáticos podem ser classificados como coletores-apanhadores, coletores-filtradores, fragmentadores, predadores ou raspadores. Essa classificação foi posteriormente utilizada em vários estudos e desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento do Conceito de Rio Contínuo (Vannote et al. 1980), o qual muito contribuiu para os avanços na compreensão da ecologia de riachos em regiões temperadas e tropicais.

Estudos utilizando o conceito de grupos tróficos torna-se útil, uma vez que é considerado como unidade funcional na análise da comunidade, dispensando a necessidade de estudar cada espécie como entidade separada. Assim, esta abordagem permite comparações de organização funcional de diferentes comunidades, especialmente quando não constituídas por espécies comuns (Odum 1998).

Essa abordagem em estudos ecológicos, permite entender a distribuição de energia dentro de uma comunidade, em termos de complexidade e diversidade (Silva et al. 2009). Consequentemente, a avaliação de biomassa em cada grupo e a diversidade de itens alimentares usados por cada táxon, fornecem informações para o estudo da distribuição de energia dentro das comunidades (Silva et al. 2012).

Escalas Espaciais e Definição de Cobertura Florestal

Diversos autores apontam que os processos que determinam a diversidade dependem da escala, e que, portanto, é fundamental examinar os papéis relativos dos fatores em múltiplas escalas (Koroiva e Peppinelli 2019) ao investigar os efeitos de mudança de habitat na abundância de espécies (Levin 1992), e particularmente no contexto do uso da terra e mudanças na cobertura florestal (Püttker et al. 2020).

Para alguns grupos de macroinvertebrados bentônicos, a importância de fatores ambientais que variam em grandes escalas espaciais pode ser mais pronunciada do que a importância das variáveis ambientais locais (Tolonen et al. 2016). Em escala ampla, fatores históricos, como especiação, extinção, dispersão e fatores ambientais, como temperatura e precipitação, são importantes na estruturação do pool de espécies, atuando sobre as características ambientais locais e filtrando as espécies (Koroiva e Peppinelli 2019).

Com a ampliação da escala espacial, alguns fatores como características da bacia hidrográfica e fatores abióticos podem ser mais importantes na estruturação das assembleias de insetos aquáticos. Neste sentido, esses filtros juntos determinam a diversidade, composição, taxonomia funcional e a variabilidade das assembleias, através das

características das diferentes espécies. Desta forma, apenas espécies com características apropriadas podem superar os limites impostos pelos filtros em cada escala (Heino 2009).

A probabilidade de detectar o efeito de uma escala sobre uma espécie pode depender da resolução de imagens disponíveis, que frequentemente são de baixa resolução. Embora a resolução da imagem subjacente provavelmente tenha um efeito na definição operacional do efeito da escala, a relação entre resolução e força deste efeito é desconhecido, e esse efeito é comumente derivado traçando a escala espacial (e.g., tamanho do buffer) contra a qualidade do ajuste (Jackson e Fahrig 2015).

As características da imagem de uso do solo e cobertura da terra que é usada como entrada em análise de métricas da paisagem podem influenciar as avaliações de efeito da escala. Por exemplo, imagens de algumas áreas tropicais que são dominadas por gradientes de vegetação, incluindo alta densidades de árvores diferentes e tipos de floresta (e.g., florestas degradadas, florestas em regeneração, cobertura de árvores esparsas) podem ter baixa classificação, resultando em um pequeno número de classes (Hansen et al. 2013).

Outro fato a ser considerado é a definição do que é uma "floresta", que é vaga, ambígua e altamente subjetiva onde existem gradientes na cobertura de árvores (Bennett 2002). Muitas definições diferentes de "floresta" coexistem (Chazdon et al. 2016) e nenhuma delas trabalham com uma perspectiva de espécie.

Diante do desafio apresentado, essa tese trabalha com os temas supracitados de forma integrada, orientada pelo objetivo geral de reconhecer os representantes da fauna de Ephemeroptera e investigar um potencial efeito da escala e da cobertura florestal, sobre grupos tróficos de riachos em uma paisagem cárstica do Cerrado.

Objetivo Geral

Caracterizar a fauna de Ephemeroptera (Insecta) e avaliar se a mudança de escala e definição operacional na porcentagem de cobertura florestal tem efeito sobre os padrões de diversidade em grupos tróficos dos representantes desta ordem em riachos de paisagem cárstica do Cerrado brasileiro.

Abordagens e Hipóteses

Capítulo I: É um trabalho exploratório de levantamento de espécies de Ephemeroptera (Insecta) em riachos cársticos do Cerrado brasileiro, portanto não possui hipóteses.

Capítulo II: Nós hipotetizamos que haveria relação entre a riqueza e abundância dos grupos tróficos da comunidade de Ephemeroptera com a mudança de escala e da definição operacional na porcentagem de cobertura florestal, de modo que *i)* os fragmentadores apresentariam relação positiva com o aumento da cobertura florestal e esse efeito seria mais forte em buffers menores, considerando que as espécies utilizam a matéria vegetal disponível pela vegetação ripária; *ii)* os coletores teriam relação difusa com cobertura florestal e efeito indiferente em relação ao tamanho dos buffers, por não dependerem diretamente da entrada de matéria da vegetação ripária, pois as espécies podem consumir a matéria particulada produzida por fragmentadores locais, assim como dissolvidas na água e oriundas de áreas a montante; e *iii)* raspadores teriam uma relação negativa com o aumento da cobertura florestal e esse efeito mais forte em buffers maiores, considerando que as espécies utilizam matéria a partir da produção autotrófica, que depende da entrada de luz no ambiente aquático.

Referências

- Bennett B (2002) What is a forest? On the vagueness of certain geographic concepts. *Topoi* 20:189–201. <https://doi.org/10.1023/A:1017965025666>
- Brennan JM, Bender DJ, Contreras TA, Fahrig L (2002) Focal patch landscape studies for wildlife management: optimizing sampling effort across scales. In: Liu J, Taylor WW (eds) *Integrating landscape ecology into natural resource management*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 68–91.
- Caro T (2010). *Conservation by proxy: indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species*. Island Press, Washington, DC, 400p.
- Chazdon RL, Pedro HS, Brancalion LL, Bennett-Curry A, Buckingham K, Kumar C, Moll-Rock J, Vieira ICG, Wilson SJ (2016) When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the Era of forest and landscape restoration. *Ambio* 45:538–550.
- Cummins, K. W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 18:183-206.
- Cummins, K. W. & Klug, M. J. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10:147-172.

- Cummins, K. W.; Merritt, R. W. & Berg, M. B. 2008. Ecology and distribution of aquatic insects. In: Merritt, R. W.; Cummins, K. W. & Berg, M. B. eds. An introduction to the aquatic insects of North America. Dordrecht, Kendall/Hunt Publishing Company. p.105-122.
- Da Silva ER, Salles FF (2012) Ephemeroptera Hyatt & Arms, 1891. In: Rafael JA, Melo GAR, Carvalho CJB, Casari SA, Constantino R (Eds) Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia. Holos Editora, Ribeirão Preto, 232-243.
- Dominguez E, Molineri C, Nieto C (2009) Ephemeroptera. In: Fernandez HR, Dominguez, E (Eds) Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Tucumán, Fundación Miguel Lillo, 55-93.
- Domínguez E, Molineri C, Pescador M, Hubbard MD, Nieto C (2006) Aquatic Biodiversity in Latin América. Volume 2. Ephemeroptera of South America. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, 646 p.
- Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata Z-I, Knowler DJ, Lévêque C, Naiman RJ, Prieur-Richard A-H, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81(2), 163-182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A (2013) High-resolution global maps of 21 st-century forest cover change. *Science* 342:850–853. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1244693>
- Heino J (2009) Biodiversity of aquatic insects: spatial gradients and environmental correlates of assemblage-level measures at large scales. *Freshwater Reviews* 2:1–29. <https://doi.org/10.1608/FRJ-2.1.1>
- Heino J, Heino, Melo AS, Bini LM, Altermatt F, Al-Shami SA, Angeler DG, Bonada N, Brand C, Callisto M, Cottenie K, Dangles O, Dudgeon D, Encalada A, Göthe E, Grönroos M, Hamada N, Jacobsen D, Landeiro VL, Ligeiro R., Martins RT, Miserendino ML, Rawi CSM, Rodrigues ME, Roque FO, Sandin L, Schmera D, Sgarbi LF, Simaika JP, Siqueira T, Thompson RM, Townsend CR (2015) A comparative analysis reveals weak relationships between ecological factors and beta diversity of stream insect metacommunities at two spatial levels. *Ecology and Evolution* 5(6):1235–1248. <https://doi.org/10.1002/ece3.1439>
- Holland J, Bert DG, Fahrig L (2004) Determining the spatial scale of species response to habitat. *Bioscience* 54:227–233. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0227:DTSSOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0227:DTSSOS]2.0.CO;2)

- Holland J, Yang S (2016) Multi-scale studies and the ecological neighbourhood. *Current Landscape Ecology Reports* 1:135–145. <https://doi.org/10.1007/s40823-016-0015-8>
- Huais PY (2018) Multifit: an R function for multi-scale analysis in landscape ecology. *Landscape Ecology* 33:1023–1028. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0657-5>
- Jackson HB, Fahrig L (2015) Are ecologists conducting research at the optimal scale? *Global Ecology and Biogeography* 24:52–63. <https://doi.org/10.1111/geb.12233>
- Lake PS (2000) Disturbance, patchiness and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society* 19(4): 573-592.
- Levin SA (1992) The problem of pattern and scale in Ecology. *Ecology* 73:1943–1967.
- McCafferty WP (1990). Insects from Santana Formation, Lower Cretaceous, of Brazil: Ephemeroptera. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 195:20-50.
- Merritt, R. W.; Cummins, K. W. & Berg, M. B. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. Dordrecht, Kendall/Hunt Publishing Company. 722p.
- Odum EP (1988) *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 434 p.
- Püttker T, Crouzeilles R, Almeida-Gomes M, Schmoeller M, Maurenza D, Alves-Pinto H, Pardini R, Vieira MV, Banks-Leite G, Fonseca CR, Metzger JP, Accacio GM, Alexandrino AR, Barros CS, Bogoni JA, Boscolo D, Brancalion PHS, Bueno AA, Cambui ECB, Canale GR, Cerqueira R, Cesar RG, Colletta GD, Delciellos AC, Dixo M, Estavillo C, Esteves CS, Falcão F, Farah FT, Faria D, Ferraz KMPMB, Ferraz SFB, Ferreira PA, Graipel ME, Grelle CEV, Hernández MIM, Ivanauskas N, Laps RR, Leal IR, Lima MM, Lion MB, Magioli M, Magnago LFS, Manguiera JRAS, Marciano-Jr E, Mariano-Neto E, Marques MCM, Martins SV, Matos MA, Matos FAR, Miachir JI, Morante-Filho JM, Olifiers N, Oliveira-Santos LGR, Paciencia MLB, Paglia AP, Passamani M, Peres CA, Pinto Leite CM, Porto TJ, Querido LCA, Reis LC, Rezende AA, Rigueira DMG, Rocha PLB, Rocha-Santos L, Rodrigues RR, Santos RAS, Santos JS, Silveira MS, Simonelli M, Tabarelli M, Vasconcelos RN, Viana BF, Emerson MV, Prevedello JA (2020) Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. *Biological Conservation* 241:108368. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108368>
- Koroiva R, Pepinelli M. (2019) Distribution and Habitats of Aquatic Insects. In: Del-Claro K, Gruillermo R (Eds.) *Aquatic Insects Behavior and Ecology*. Springer Nature, Switzerland, p. 11-33.
- Salles FF, Boldrini R (2022) Ephemeroptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/122>> [acesso em 25 Maio 2021].

- Sartori M, Brittain JE (2015) Order Ephemeroptera. In: Thorp and Covich's freshwater invertebrates, 4th edn. Academic Press, Cambridge, pp 873–891
- Silva FL, Pauleto, GM, Talamoni JLB, Ruiz SS (2009) Categorização funcional trófica das comunidades de macroinvertebrados de dois reservatórios na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 31(1): 73-78. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v31i1.331>
- Silva FH, Favero S, Sabino J (2012) Functional groups of entomofauna associated to aquatic macrophytes in Correntoso river, Rio Negro sub-region, Pantanal, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 34(1): 59-68. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v34i1.7822>
- Silva FH, Salles FF (2017) Checklist de Ephemeroptera do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 107(supl.): e2017116. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2017116>
- Simberloff D, Dayan T. (1991) The guild concept and the structure of ecological communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 99(1): 15-36
- Tolonen KE, Tokola L, Grönroos M, Hjort J, Kärnä O-M, Erkinaro J, Heino J (2016) Hierarchical decomposition of trait patterns of macroinvertebrate communities in subarctic streams. *Freshwater Science* 35:1032–1048. <https://doi.org/10.1086/687966>
- Vannote, RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980) The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37:130-137.
- Vörösmarty, CJ, P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467:555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>

Capítulo I

Ephemeroptera (Insecta) do Planalto da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brasil: distribuição, novos registros e lista de espécies

Resumo

Neste trabalho apresentamos a distribuição, novos registros e uma lista contendo 35 espécies, 23 gêneros e seis famílias de Ephemeroptera, encontradas no Planalto da Bodoquena, agregando informações importantes sobre o conhecimento da fauna de insetos de riachos cársticos. *Camelobaetidius huarpe* e *Cloeodes vaimaca* (Baetidae), *Lumahyphes guacra* (Leptohyphidae) e *Ulmeritoides spinulipenis* (Leptophlebiidae) são registradas pela primeira vez no Brasil, enquanto outras 26 espécies representam novos registros para Mato Grosso do Sul. Considerando a área de abrangência do estudo e o tamanho do território do estado, que possui grande heterogeneidade de ecossistemas de água doce, espera-se que a riqueza e a existência de espécies desconhecidas pela Ciência sejam ainda maiores.

Palavras-chave: insetos aquáticos, biodiversidade, paisagem cárstica, riachos neotropicais, riqueza de espécies.

Abstract:

In this work we present the distribution, new records and a list containing 35 species, 23 genera and six families of Ephemeroptera, found at the Bodoquena Plateau, adding important information about the knowledge of the insect fauna of karst streams. *Camelobaetidius huarpe* and *Cloeodes vaimaca* (Baetidae), *Lumahyphes guacra* (Leptohyphidae) and *Ulmeritoides spinulipenis* (Leptophlebiidae) are recorded for the first time in Brazil, while other 26 represent new records from Mato Grosso do Sul. Considering the coverage area of the study, and the size of the territory of the state, which has great heterogeneity of freshwater ecosystems, it is expected that richness and the existence of species unknown to science are even greater.

Keywords: aquatic insects, biodiversity, karst landscape, neotropical streams, species richness.

Introdução

A ordem Ephemeroptera é representada por um pequeno grupo de insetos com aproximadamente 3.500 espécies, distribuídas por todo o mundo, exceto na Antártida, no extremo Ártico e em pequenas ilhas oceânicas (Sartori e Brittain 2015). Na América do Sul, são conhecidas 14 famílias, 116 gêneros e 716 espécies, das quais 200 são encontradas no Brasil (Salles e Boldrini 2022). Essa lista de espécies de Ephemeroptera registradas para o Brasil, tem sido frequentemente atualizada no site do Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil (<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/122>), onde se pode observar que a região Centro-Oeste é uma das menos estudadas no país. Nesta região, o conhecimento sobre Ephemeroptera pode ser considerado muito abaixo do satisfatório.

Como área prioritária para o entendimento da distribuição dos representantes da ordem no Brasil e, conseqüentemente, na América do Sul, a região Centro-Oeste é a segunda maior em extensão do Brasil, que recentemente apresenta um número crescente, mas ainda restrito e fragmentado de registros (Salles et al. 2004a). Não apenas várias famílias não possuem espécies nominais relatadas para a região, mas o conhecimento nos diferentes estados e no Distrito Federal é fragmentado. Além de algumas pesquisas desenvolvidas em Mato Grosso por Salles et al. (2004b); Shimano et al. (2010); Souza et al. (2011) e Raimundi et al. (2017), pouco tem sido acrescentado ao conhecimento das espécies de Ephemeroptera nos demais estados dessa região.

Nesse contexto, o estado de Mato Grosso do Sul é pouco explorado no que diz respeito ao estudo de Ephemeroptera e o conhecimento pequeno e fragmentado é apresentado por Silva e Salles (2017), em um checklist com as espécies encontradas para o estado do MS, incluindo os trabalhos que resultaram na descrição das espécie por Navás (1912); Needham e Murphy (1924); Traver (1950); Walker (1853); Siegloch e Polegatto (2006); Salles e Molineri (2006); Polegatto e Batista (2007); De-Souza e Molineri (2012) e Boldrini (2014).

O Planalto da Bodoquena está situado na borda sudeste do Pantanal, no Mato Grosso do Sul, onde existem vários depósitos de tufa calcária. Os córregos e rios calcários da região, possuem águas cristalinas e de rara beleza, representando importantes atrativos turísticos (Boggiani et al. 2002). O conjunto montanhoso do Planalto da Bodoquena faz parte do corredor ecológico da biodiversidade Cerrado-Pantanal (Souza e Guillermo-Ferreira 2015), com áreas de transição de dois *hotspots* da biodiversidade brasileira, Cerrado e Mata Atlântica. Essas zonas de interface são áreas biogeograficamente relevantes para a realização de inventários, pois recuperam pressões desproporcionais e podem abrigar espécies de ambos os sistemas. No entanto, a degradação dos ecossistemas nativos, o

Neste trabalho, com o objetivo de aumentar o conhecimento sobre a fauna de Ephemeroptera, apresentamos registros históricos, adicionais e novos dos gêneros e espécies encontrados no Planalto da Bodoquena, contribuindo para o conhecimento de Ephemeroptera no Brasil e para atualizar o checklist de Mato Grosso do Sul.

Amostragem, identificação e deposição

A amostragem foi realizada em 20 locais utilizando metodologias distintas para ninfas e adultos. As ninfas foram coletadas com rede (malha de 0,5mm), onde foram realizadas 20 subamostras, distribuídas proporcionalmente entre todos os principais habitats, disponíveis nos locais de amostragem (Barbour et al. 1996). Estimamos visualmente os principais habitats em cada trecho de riachos de 30m, incluindo afloramento rochoso, areia, cascalho, lodo, madeira, matéria orgânica, pacotes de folhas, raízes, rochas calcárias e vegetação aquática. Em seguida, calculamos a média da proporção de habitats e distribuímos proporcionalmente as unidades amostrais entre os habitats. Cada subamostra consistiu em 1m de comprimento utilizando uma rede do tipo “D” (cobrindo 0,3m²), totalizando um esforço amostral de 6m² de habitats de fundo de riacho. As subamostras foram conservadas em álcool etílico 80% em campo e transportadas ao laboratório para triagem e identificação. No laboratório, as amostras foram processadas e os insetos foram separados em bandejas transluminadas e identificados até o nível taxonômico viável mais baixo (principalmente até o nível de espécie).

As coletas de adultos foram feitas com armadilhas luminosas do tipo lençol entomológico (tamanho 1,5 x 1,0m). Como a taxonomia de muitas efeméridas é baseada no estágio adulto (imago), ninfas em estágio avançado, evidenciadas pela coloração preta da teca da asa anterior, foram criadas em campo. Isto foi feito colocando-se as ninfas em potes plásticos individualizados até a emergência imaginal. Como os representantes da ordem passam por um estágio alado antes de se tornarem imagos reprodutivos, conhecido como subimago, sempre que eram obtidos nesse estágio por meio da criação ou armadilha, os subimagos eram acondicionados em pote plástico, de aproximadamente 15ml, até realizarem a última muda. Em seguida, esperamos de 12 a 24 horas, procedimento importante para a conservação da cor, antes de fixá-los em solução de álcool etílico à 80%.

As identificações foram realizadas primeiramente usando chaves de identificação geral para famílias e gêneros (Domínguez et al. 2006; 2009; Salles 2006) e posteriormente pelo uso de literatura especializada relevante para cada táxon (Salles e Serrão 2005; Molineri 2010; Salles et al. 2010a; Salles e Domínguez 2012; Campos e Mariano 2019; Gonçalves et al. 2013; Hamada et al. 2018). O material coletado está depositado no Museu de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, preservado em álcool etílico 80% armazenado a -20°C.

Material examinado e distribuição geográfica

Para elaboração da distribuição geográfica das espécies, foram consultadas duas fontes online: a lista brasileira de espécies de Ephemeroptera encontradas no Catálogo Taxonômico da Fauna Brasileira <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/122> (Salles e Boldrini 2022); e a lista de espécies sul-americanas no site Ephemeroptera da América do Sul <http://ephemeroptera.com.br/> (Salles et al. 2020).

Após o nome da espécie apresentamos sua distribuição, incluindo os países com seu registro. Para o Brasil indicamos também as unidades da federação onde está registrada, neste caso utilizamos a sigla das unidades da federação. As siglas seguem o padrão normal das siglas estaduais: Acre (AC); Alagoas (AL); Amazonas (AM); Bahia (BA); Ceará (CE); Espírito Santo (ES); Goiás (GO); Maranhão (MA); Mato Grosso (MT); Mato Grosso do Sul (MS); Minas Gerais (MG); Pará (PA); Paraná (PR); Pernambuco (PE); Piauí (PI); Rio de Janeiro (RJ); Rondônia (RO); Roraima (RR); Rio Grande do Sul (RS); Santa Catarina (SC); São Paulo (SP) e Sergipe (SE).

No item material examinado, S refere-se aos locais de amostragem, as informações sobre município, localidade e coordenadas encontram-se na Tabela 1. Entre parênteses indicamos o número de indivíduos seguido do estágio examinado, N para ninfas e A para adultos, e então a data da amostragem. Silva, FH foi o coletor de todo o material e Salles, FF participou das coletas em S02: 26.ii.2021; S05: 28.ii.2021; S16: 27.ii.2012 e 28.ii.2012; S20: 26.ii.2012.

Resultados

Um total de 3.818 indivíduos representando seis famílias, 23 gêneros e 35 espécies de Ephemeroptera foram encontrados no presente estudo. Pela impossibilidade ou pela dificuldade de identificar alguns grupos baseados exclusivamente em ninfas, ou pelo estado de conservação do material, 11 das 35 espécies não puderam ser determinadas em nível específico.

Com base nesses achados, apresentamos a seguir uma lista de todos os táxons encontrados no presente estudo seguido de sua distribuição geográfica, localização de sua ocorrência no Planalto da Bodoquena (mais detalhes sobre os pontos de coleta são apresentados na Tabela 1) e comentários sobre seu registro.

1. BAETIDAE

***Americabaetis alphus* Lugo-Ortiz and McCafferty, 1996**

Distribuição: Argentina; Bolívia; Chile e Paraguai. No Brasil: AL; AM; BA; CE; ES; GO; MG; MS; MT; PA; PE; PI; PR; RJ; RO; RR; RS; SC; SE e SP.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S01: (55N) 30.iv. 2011; S02: (31N) 01.v.2011. and (20A) 26.ii.2012; S04: (8N) 02.v.2011; S05: (3N) 07.ix.2011; S06: (64N) 08.ix.2011; S07: (98N) 10. ix.2011; S08: (32N) 11.ix.2011; S09: (5N) 16.xii.2011; S10: (48N) 04.vii. 2012; S11: (226N) 05.viii.2012; S12: (228N) 11.viii.2012; S13: (7N) 12.viii.2012; S14: (34N) 20.x.2012; S16: (18N) 16.xi.2012 and (12A) 27.ii.2012; S17: (7N) 17.xi.2012; S18: (22N) 25.viii.2013.

***Apobaetis fiuzai* Salles & Lugo-Ortiz, 2002**

Distribuição: Brasil: AM; BA; ES; MA; MG; MT; MS; PE; RJ; RO; RR e SP.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito e Jardim.

Material examinado: S06: (24N) 08.ix.2011; S08: (5N) 11.ix.2011; S09: (1N) 16.xii.2011; S14: (1N) 20.x.2012; S17: (1N) 17.xi.2012.

***Aturbina beatixae* Gillies, 2001**

Distribuição: Argentina e Uruguai. No Brasil: BA; ES; GO; MG; MT; MS; PR; PE; SC e SP.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S02: (5N) 01.v.2011; S03: (5N) 02.v.2011; S05: (20N) 07.ix.2011; S06: (12N) 08.ix.2011; S08: (4N) 11.ix.2011; S10: (2N) 04.vii.2012; S14: (20N) 20.x.2012; S17: (6N) 17.xi.2012; S18: (13N) 25.viii.2013.

***Baetodes* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena, Bonito, Caracol e Jardim.

Comentário: Ampla distribuição na área de estudo, encontrada principalmente em rochas calcárias e afloramentos rochosos. Provavelmente uma nova espécie.

Material examinado: S04: (23N) 02.v.2011; S05: (32N) 07.ix.2011; S06: (81N) 08.ix.2011; S07: (23N) 10.ix.2011; S08 (10N) 11.ix.2011; S09: (4N) 16.xii.2011; S10: (36N) 04.vii.

2012; S11: (118N) 05.viii.2012; S12: (47N) 11.viii.2012; S13: (35N) 12.viii.2012; S14: (44N) 20.x.2012; S16: (50N) 16.xi.2012; S17: (17N) 17.xi.2012.

***Baetodes* sp.2**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, município de Caracol.

Comentário: Encontrado apenas em afloramentos rochosos no S18. Provavelmente uma nova espécie.

Material examinado: S18: (122N) 25.viii.2013.

***Callibaetis fasciatus* Pictet, 1843**

Distribuição: Argentina; Chile e Uruguai. No Brasil: MS; PR e RS.

Comentário: Registro no município de Bodoquena. Apenas indivíduos adultos coletados.

Material examinado: S05: (17A) 10.xi.2010.

***Callibaetis pollens* Needham & Murphy, 1924**

Distribuição: Argentina. No Brasil: BA; CE; GO; MA; MT; MS; PE; PI e RO.

Comentário: Registro nos municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S03: (1N) 02.v.2011; S07: (1N) 10.ix.2011; S10: (36N) 04.vii.2012; S14: (2N) 20.x.2012; S18: (8N) 25.viii.2013.

***Camelobaetidius anubis* Traver & Edmunds, 1968**

Distribuição: Argentina (Misiones). No Brasil: ES; MG; MS; PR; RJ; RR SC; e SP.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S05: (16N) 07.ix.2011; S07: (6N) 10.ix.2011; S08: (8N) 11.ix.2011; S09: (3N) 16.xii.2011; S10: (2N) 04.vii.2012; S11: (5N) 05.viii.2012; S12: (4N) 11.viii.2012; S13: (3N) 12.viii.2012; S16: (78N) 16.xi.2012; S18: (1N) 25.viii.2013.

***Camelobaetidius cayumba* Traver & Edmunds, 1968**

Distribuição: Colômbia; Guiana Francesa e Peru. No Brasil: CE; ES; GO; MA; MG; MS; PE; PI; RO e RR.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito e Jardim.

Material examinado: S05: (2N) 07.ix.2011; S07: (6N) 10.ix.2011; S08: (2N) 11.ix.2011; S09: (8N) 16.xii.2011; S10: (6N) 04.vii.2012; S11: (18N) 05.viii.2012; S12: (1N) 11.viii.2012; S13: (12N) 12.viii.2012; S16: (4N) 16.xi.2012.

***Camelobaetidius huarpe* Nieto, 2003**

Distribuição: Argentina (San Juan). No Brasil: MS.

Comentário: Primeiro registro no Brasil. Estado de Mato Grosso do Sul, município de Bodoquena. Apenas quatro indivíduos foram encontrados em afloramentos rochosos no S14.

Material examinado: T14: (4N) 20.x.2012.

***Camelobaetidius tuberosus* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1999**

Distribuição: Argentina (Misiones) e Paraguai (Dpto. Cordillera). No Brasil: CE; MA; MG; MT; MS e PI.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul, município de Jardim. Apenas quatro indivíduos foram encontrados em afloramentos rochosos no S09.

Material examinado: S09: (4N) 16.xii.2011.

***Cloeodes hydatation* McCafferty & Lugo-Ortiz, 1995**

Distribuição: Brasil: ES; MG; MS; MT; PE e RR.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena e Caracol. Encontrado principalmente em pacotes de folhas.

Material examinado: S06: (1N) 08.ix.2011; S11: (1N) 05.viii.2012; S18: (36N) 25.viii.2013.

***Cloeodes vaimaca* Nieto & Emmmerich, 2011**

Distribuição: Uruguai. No Brasil: MS.

Comentário: Primeiro registro no Brasil. Estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena e Bonito.

Material examinado: S03: (2N) 02.v.2011; S05: (13N) 07.ix.2011; S06: (11N) 08.ix.2011; S07: (2N) 10.ix.2011; S12: (7N) 11.viii.2012.

***Guajirolus* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, município de Bonito.

Comentário: Apenas dois indivíduos foram encontrados em bancos de folhas e areia em S04. Esses espécimes eram muito imaturos, impossibilitando a identificação da espécie.

Material examinado: S04: (2N) 02.v.2011.

***Paracloeodes ibicui* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996**

Distribuição: Argentina e Paraguai. No Brasil: MG; MS; PR; RS e SC.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S02: (66N) 01.v.2011; S05: (1N) 07.ix.2011; S06: (6N) 08.ix.2011; S08: (25N) 11.ix.2011; S09: (8N) 16.xii.2011; S10: (82N) 04.vii.2012; S11: (27N) 05.viii.2012; S14: (19N) 20.x.2012; S17: (4N) 17.xi.2012; S18: (12N) 25.viii.2013.

2. CAENIDAE

***Caenis* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena, Bonito, Caracol e Jardim.

Comentário: Esta espécie é amplamente distribuída na área de estudo, sendo encontrada principalmente em pacotes de folhas. Não foram encontradas chaves de identificação para imaturos das espécies do gênero.

Material examinado: S01: (8N) 30.iv.2011; S02: (13N) 01.v.2011; S03: (4N) 02.v.2011; S04: (1N) 02.v.2011; S07: (3N) 10.ix.2011; S08: (3N) 11.ix.2011; S10: (1N) 04.vii.2012; S11: (16N) 05.viii.2012; S12: (1N) 11.viii.2012; S14: (9N) 20.x.2012; S17: (2N) 17.xi.2012; S18: (22N) 25.viii.2013.

***Latineosus* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, município de Bodoquena.

Comentário: Apenas três indivíduos foram encontrados em areia e rochas calcárias no S06. Esta espécie é semelhante a *Latineosus cayo* Sun & McCafferty, 2008.

Material examinado: S06: (3N) 08.ix.2011.

3. EPHEMERIDAE

***Hexagenia (Pseudoeatonica) albivitta* Walker, 1853**

Distribuição: América Central, Argentina, Colômbia, Guiana, Paraguai e Uruguai. No Brasil: ES; GO; PA; PR; MS; RJ; RS e SP.

Comentário: Primeiro registro para o estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito e Jardim.

Material examinado: S01: (1N) 30.iv. 2011; S02: (2A) 27.ii.2012; S05: (1A) 28.ii.2012.

4. LEPTOHYPHIDAE

***Lumahyphes guacra* Molineri & Zunigã, 2004**

Distribuição: Argentina e Bolívia. No Brasil: MS.

Comentário: Primeiro registro no Brasil. Estado de Mato Grosso do Sul, Distrito de Águas do Miranda, município de Bonito.

Material examinado: S19: (21N) e (14A) 03.xi.2015.

***Traverhyphes* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Comentário: Ampla distribuição na área de estudo, encontrada principalmente em cascalho e pacotes de folhas. Não foram encontradas chaves de identificação para imaturos das espécies do gênero.

Material examinado: S01: (21N) 30.iv.2011; S02: (2N) 0.v.2011; S04: (28N) 02.v.2011; S06: (1N) 08.ix.2011; S07: (11N) 10.ix.2011; S08: (39N) 11.ix.2011; S11: (57N) 05.viii.2012; S12: (121N) 11.viii.2012; S13: (22N) 12.viii.2012; S14: (1N) 20.x.2012; S16: (3N) 16.xi.2012; S17: (5N) 17.xi.2012; S18: (11N) 25.viii.2013.

***Tricorythodes sallesi* Dias, Cabette & Souza, 2009**

Distribuição: Brasil: MS e MT.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. município de Bonito. Apenas quatro indivíduos encontrados no S02.

Material examinado: S02: (4N) 01.v.2011.

***Tricorythodes* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena; Bonito e Caracol.

Comentário: Encontrado em areia, cascalho e pacotes de folhas. Espécie apresenta afinidade com *Tricorythodes quizeri* (Molineri, 2002).

Material examinado: S05: (1N) 07.ix.2011; S08: (5N) 11.ix.2011; S11: (6N) 05.viii.2012; S17: (3N) 17.xi.2012; S18: (1N) 25.viii.2013.

***Tricorythodes* sp.2**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, município de Bonito.

Comentário: Apenas dois indivíduos foram encontrados no S13, sendo um muito imaturo e outro danificado durante a análise de identificação. Espécie próxima ao *T. nicholsae* (Wang, Sites & McCafferty, 1998).

Material examinado: S13: (2N) 12.viii.2012.

***Tricorythopsis minimus* Allen, 1973**

Distribuição: Argentina (Misiones) e Uruguai (Artigas). No Brasil: BA; ES; MS e RS.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S02: (4N) 01.v.2011; S13: (38N) 12.viii.2012; S18: (11N) 25.viii.2013.

***Tricorythopsis yacutinga* Molineri, 2001**

Distribuição: Argentina (Missions e Corrientes). No Brasil: ES; MS; PE e RS.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. município de Caracol. Apenas um indivíduo encontrado em cascalho no S18.

Material examinado: S18: (1N) 25.viii.2013.

5. LEPTOPHLEBIIDAE

***Farrodes xingu* Domínguez, Molineri & Peters, 1996**

Distribuição: Colômbia. No Brasil: GO; MA; MS e PA.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito; Caracol e Jardim.

Material examinado: S01: (4N) 30.iv.2011; S02: (23A) 26.ii.2012; S04: (27N) 02.v.2011; S05: (1N) 07.x.2011; S06: (1N) 08.ix.2011; S07: (34N) 10.ix.2011; S08: (13N) 11.ix.2011; S09: (3N) 16.xii.2011; S11: (97N) 05.viii.2012; S12: (22N) 11.viii.2012; S13: (16N) 12.viii.2012; S14: (61N) 20.x.2012; S16: (3A) 27.ii.2012; S17: (5N) 17.xi.2012; S18: (22N) 25.viii.2013.

***Homothraulius misionensis* Demoulin, 1955**

Distribuição: Argentina e Uruguai. No Brasil: MS; PR e RS.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena e Caracol.

Material examinado: S05: (2N) 07.ix.2011; S18: (22N) 25.viii.2013.

***Miroculis* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena e Caracol.

Comentário: Encontrado principalmente em pacotes de folhas. A taxonomia é baseada em adultos e muitas espécies são desconhecidas no estágio ninfal.

Material examinado: S05: (35N) 07.ix.2011; S06: (1N) 08.ix.2011; S14: (1N) 20.x.2012; S17: (7N) 17.xi.2012; S18: (10N) 25.viii.2013.

***Terpides sooretamae* Boldrini & Salles, 2009**

Distribuição: Brasil: ES; MT; MS e PE.

Comentário: Ocorrência nos Municípios de Bodoquena e Bonito. Encontrado principalmente em cascalho, pacotes de folhas e plantas aquáticas.

Material examinado: S01: (1N) 30.iv.2011; S04: (1N) 02.v.2011; S05: (1N) 07.x.2011; S09: (1N) 16.xii.2011; S11: (21N) 05.viii.2012; S12: (5N) 11.viii.2012; S13: (1N) 12.viii.2012; S17: (1N) 17.xi.2012; S18: (40N) 25.viii.2013.

***Thraulodes schlingeri* Traver & Edmunds, 1967**

Distribuição: Peru. No Brasil: AC; MS e SP.

Comentário: Primeiro registro da espécie no estado de Mato Grosso do Sul. Município de Bodoquena.

Material examinado: S16: (52A) 27.ii.2012.

***Thraulodes* sp.1**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena, Bonito e Jardim.

Comentário: Esta espécie é amplamente distribuída na área estudada. Encontrada principalmente em cascalho. A taxonomia do gênero baseada em machos imagos.

Material examinado: S05: (20N) 07.ix.2011; S07: (149N) 10.ix.2011; S09: (20N) 16.xii.2011; S10: (5N) 04.vii.2012; S11: (48N) 05.viii.2012; S12: (80N) 11.viii.2012; S13: (18N) 12.viii.2012; S14: (5N) 20.x.2012; S16: (23N) 16.xi.2012; S17: (38N) 17.xi.2012.

***Thraulodes* sp.2**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, municípios de Bodoquena e Bonito.

Comentário: Encontrado principalmente em cascalho. A taxonomia do gênero baseada em machos imagos.

Material examinado: S11: (14N) 05.viii.2012; S13: (5N) 12.viii.2012; S16: (15N) 16.xi.2012.

***Ulmeritoides nigribullae* Salles & Domínguez, 2012**

Distribuição: Brasil: GO; MG e MS.

Comentário: Primeiro registro no estado de Mato Grosso do Sul. Municípios de Bodoquena; Bonito e Caracol.

Material examinado: S01: (4N) 30.iv.2011; S05: (5N) 07.ix.2011. e (9A) 10.xi.2011; S08: (2N) 11.ix.2011; S11: (4N) 05.viii.2012; S12: (1N) 11.viii.2012; S17: (2N) 17.xi.2012; S18: (5N) 25.viii.2013.

***Ulmeritoides spinulipenis* Domínguez, 1995**

Distribuição: Argentina e Uruguai. No Brasil: MS.

Comentário: Primeiro registro no Brasil. Estado de Mato Grosso do Sul, município de Jardim.

Material examinado: S20: (6N) e (4A) 26.ii.2012.

6. POLYMITARCYIDAE

***Campsurus salobra* Molineri & Salles, 2017**

Ocorrência na área de estudo: Mato Grosso do Sul, município de Bodoquena.

Comentário: Material que deu origem à descrição da espécie. Apenas amostrado no S16.

Material examinado: S16: (17A) 28.ii.2012.

Discussão

Inventários de espécies promovem suporte em diversas áreas da biologia ao grupo em estudo, incluindo dados sobre sua distribuição espacial, biogeografia, ecologia de populações e comunidades. Tais dados podem ser considerados uma linha de base de informações ecológicas e de biodiversidade, permitindo uma possível aplicação futura na tomada de decisões e estratégias de conservação (Koroiva et al. 2017).

Até o presente trabalho, apenas 11 espécies distribuídas em oito gêneros e quatro famílias foram registradas para o estado de Mato Grosso do Sul (Silva e Salles 2017), nenhuma das quais possui registro de ocorrência para o Planalto da Bodoquena. Neste artigo, apresentamos novos registros de 35 espécies, representando 23 gêneros e seis

famílias, agregando informações importantes sobre o conhecimento dos Ephemeroptera de riachos cársticos da região Neotropical.

Embora o estudo tenha sido realizado em uma área pequena, comparada ao tamanho do estado de Mato Grosso do Sul, os novos registros aumentaram o conhecimento do grupo, com registro de 46 espécies, 28 gêneros e seis famílias, somado a onze espécies não identificadas até o momento. Este material também permitiu a descrição de *Campsurus salobra* (Molineri e Salles 2017). Assim a lista de espécies aqui apresentada contribui com um avanço significativo para lista de espécies registradas para Mato Grosso do Sul (318,18%) e lista inédita de 24 espécies do Planalto da Bodoquena.

Dentre os táxons coletados, não puderam ser identificadas ao nível de espécie dois morfotipos de *Baetodes* e um de *Guajirolus* (Baetidae); um de *Caenis* e um de *Latineosus* (Caenidae); um de *Traverhyphes* e dois de *Tricorythodes* (Leptohyphidae); um de *Miroculis* e dois de *Thraulodes* (Leptophlebiidae). Isso se deu principalmente pela dificuldade de identificação devido aos baixos estágios da forma imatura de alguns indivíduos (Baetidae), e principalmente para a família Caenidae e Leptophlebiidae, pois muitos gêneros têm sua taxonomia baseada na fase adulta (Dominguez et al. 2006), ou porque ainda não foram descritos. Neste último caso, a chance de encontrar ninfas de espécies descritas com base em adultos é alta, o que não elimina a possibilidade de que algumas dessas espécies sejam realmente novas.

Das 11 espécies registradas anteriormente no estado de Mato Grosso do Sul, *Callibaetis jocosus* Navás, 1912, *C. pollens* Needham e Murphy, 1924, *C. viviparus* Needham e Murphy, 1924, *Camelobaetidius cruzi* Boldrini, 2014 (Baetidae), *Amanahyphes saguassu* Salles e Molineri, 2006 (Leptohyphidae), *Hydromastodon sallesi* Polegato & Batista, 2007, *Segesta riograndensis* Siegloch & Polegatto, 2006 (Leptophlebiidae), *Asthenopus angelae* De-Souza & Molineri, 2012, *Campsurus albifilum* Walker, 1853, *C. violaceus* Needham & Murphy, 1924, e *Tortopus harrisi* Traver, 1950 (Polymitarcyidae), apenas *C. pollens* Needham e Murphy, 1924 foi amostrada neste trabalho.

Com exceção de *C. pollens*, todas as outras espécies encontradas nesses registros contribuem para o conhecimento e ampliação dos padrões de distribuição, com os primeiros registros no estado do MS e, para algumas, o primeiro registro no Brasil, como *Camelobaetidius huarpe* (Nieto 2003) e *Cloeodes vaimaca* (Nieto e Emmmerich 2011) (Baetidae), *Lumahyphes guacra* (Molineri e Zunigã 2004) (Leptohyphidae) e *Ulmeritoides spinulipenis* (Dominguez 1995) (Leptophlebiidae).

Os números aqui apresentados ainda são baixos quando comparados aos registros do grupo para estados como Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, que possuem os

maiores números de registros de espécies para o Brasil (Salles et al. 2016). No entanto, cabe destacar que esses estados possuem a maioria dos pesquisadores relacionados ao grupo no país, aliado a longos anos de pesquisa e formação de pesquisadores.

Ao comparar os valores encontrados com os registros para o Brasil onde são conhecidas 415 espécies, 84 gêneros e 10 famílias (Salles e Boldrini 2022), no Estado de Mato Grosso do Sul estão representados 1/10 das espécies, 1/3 dos gêneros e pouco mais da metade das famílias. Este fato demonstra a falta de conhecimento sobre o grupo e a importância de incentivos para novas pesquisas sobre a composição faunística de insetos aquáticos no estado.

O número de representantes da fauna de Ephemeroptera (famílias, gêneros e espécies) registrados na região deve ser ainda maior, considerando a abrangência das áreas amostradas, a dificuldade de identificação de indivíduos imaturos, o hábito críptico de algumas ninfas (ex. Caenidae e Polymitarcyidae), que vivem soterrados ou semi-enterrados (Dominguez et al. 2006; Salles et al. 2009) dificultando a amostragem, bem como o conhecimento sobre a diversidade de representantes de grupos no Brasil e na América do Sul (Salles et al. 2010b).

Considerando a vasta extensão territorial do Estado de Mato Grosso do Sul, que abrange uma área de 357.145,4 km² (Semade/MS 2015), bem como a alta disponibilidade e heterogeneidade de ecossistemas de água doce ainda não estudados, justifica-se a necessidade e a importância de estudos que possam contribuir para o conhecimento da fauna de Ephemeroptera.

No contexto da conservação, o conhecimento sobre a diversidade de espécies e suas distribuições é fundamental para a elaboração de estratégias de gestão da biodiversidade, especialmente para identificação de espécies ameaçadas de extinção e para o desenvolvimento e implementação de planos de conservação. Este estudo destaca o Planalto da Bodoquena como um importante habitat para Ephemeroptera, incluindo seu potencial para novas espécies e novos registros para o Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os funcionários da RPPN Fazenda Cabeceira do Prata, RPPN Fazenda São Geraldo, RPPN Cara da Onça, Estância Mimosa, Hotel Fazenda do Betione, Balneário Cabeceira do Betione, Balneário Águas da Bodoquena, Balneário do Anicélio e Fazenda Jenipapo, pela autorização e apoio durante as amostragens.

Agradecimentos ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

(IBAMA) pela permissão de coleta (n. 12777-1); Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) para licença de transporte de organismos aquáticos para fins científicos (n. 001/2012) e autorização ambiental para pesquisa em áreas protegidas (n. 005/2010); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida; Professor Dr. Frederico Falcão Salles e Me. Jhon Faber Marulanda Lopez pelas revisões na identificação do material biológico e do manuscrito.

Referências

- Barbour, M., J. Gerritsen, G. Griffith, R. Frydenborg, E. McCarron, J. White, & M. Bastian, 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 15: 185–211. <https://doi.org/10.2307/1467948>
- Boggiani PC, Coimbra AM, Riccomini C, Gesicki ALD (1998) Recursos Minerais Não-Metálicos do Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista do Instituto Geológico* 19: 31–41.
- Boggiani PC, Coimbra AM, Gesicki AL, Sial NA, Ferreira VP, Ribeiro FB, Flexor JM (2002) Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS - Cachoeiras petrificadas ao longo dos rios. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born MLC (Eds) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 249-259.
- Boldrini R, Pes AMO (2014) Five new species of *Camelobaetidius* Demoulin, 1966 (Ephemeroptera: Baetidae), and redescription of *Camelobaetidius mexicanus* (Traver & Edmunds, 1968). *Zootaxa* 3:545-567. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3796.3.8>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente (2007) Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília: MMA (Série Biodiversidade, 31). <http://mma.gov.br> [accessed 27 October 2021].
- Campos R, Mariano R (2019) New species of *Thraulodes* Ulmer, 1920 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae) from Northeastern Brazil. *Zootaxa* 4565(2): 213-222. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4565.2.5>
- De-Souza, M. R. & Molineri, C. 2012. The adults and nymphs of *Asthenopus angelae* new species (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) from Argentina, Bolivia, Brazil and Colombia. *Zootaxa* 3399: 45-52. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3399.1.4>

- Domínguez E, Molineri C, Pescador M, Hubbard MD, Nieto C (2006) Aquatic Biodiversity in Latin América. Volume 2. Ephemeroptera of South America. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, 646 p.
- Domínguez, E. (1995) Cladistic analysis of the *Ulmeritus*–*Ulmeritoides* group (Ephemeroptera, Leptophlebiidae), with descriptions of five new species of *Ulmeritoides*. Journal of the New York Entomological Society 103: 15–38.
- Dominguez E, Molineri C, Nieto C (2009) Ephemeroptera. In: Fernandez HR, Dominguez, E (Eds) Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Tucumán, Fundação Miguel Lillo, 55-93.
- Goncalves IC, Da-Silva ER, Nessimian JL (2013) *Thraulodes bonito* sp. nov. (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil. Zootaxa, 3669(2): 153-158. <https://doi.org/10.11646/Zootaxa.3669.2.6>
- Hamada N, Thorp JH, Rogers DC (Eds.). (2018). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Volume 3: Keys to Neotropical Hexapoda. Academic Press. pp 79-115.
- Koroiva, R, Rodrigues, ME., Valente-Neto, F, Roque, FO (2017) Odonates from Bodoquena Plateau: checklist and information about endangered species. Biota Neotropica. 17(3): e20160310. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0310>
- Molineri C (2010). A cladistic revision of *Tortopus* Needham & Murphy with description of the new genus *Tortopsis* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae). Zootaxa, 2481(1): 1-36. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2481.1.1>
- Molineri C, Salles FF (2017) Review of selected species of *Campsurus* Eaton 1868 (Ephemeroptera: Polymitarcyidae), with description of eleven new species and a key to male imagos of the genus. Zootaxa 4300(3): 301–354. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4300.3.1>
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403:853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Needham JG, Murphy HE (1924) Neotropical mayflies. Bulletin of the Lloyd Library Number 24, Entomological Series 4: 1-79.
- Nieto, C. (2003) El género *Camelobaetidius* (Ephemeroptera: Baetidae) en la Argentina. Acta Zoológica Mexicana (Nueva Série) 88: 233–255
- Nieto C, Emmmerich D (2011) Three new species of the genus *Cloeodes* Traver (Ephemeroptera: Baetidae) from Uruguay 2011 Zootaxa 2996: 57-65. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2996.1.4>

- Polegatto CM; Batista JD (2007) *Hydromastodon sallesi*, new genus and new species of Atalophlebiinae (Insecta: Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from West and North of Brazil, and notes on systematics of Hermanella. Zootaxa 1619: 53-60. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1619.1.3>
- Raimundi EA, Cabette HRS, Brasil LS, Salles FF (2017) A new species of *Miroculis* Edmunds, 1963 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from Cerrado-Amazonian forest transition zone, Brazil. Zootaxa 4299 (2): 271–278. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4299.2.7>
- Salles FF, Da-Silva ER, Hubbard MD, Serrão JE (2004a) As espécies de Ephemeroptera (Insecta) registradas para o Brasil. Biota Neotropica 4(2): 1-34. <http://www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/abstract?inventory+BN04004022004>
- Salles FF, Batista JD, Cabette SR (2004b) Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) de Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil: Novos Registros e Descrição de Uma Nova Espécie de *Cloeodes* Traver. Biota Neotropica 4 (2): 1-8. – <http://www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/abstract?article+BN02404022004>
- Salles FF, Serrão JE (2005) The nymphs of the genus *Camelobaetidius* Demoulin (Ephemeroptera: Baetidae) in Brazil: new species, new records, and key for the identification of the species. Annales de Limnologie – International Journal of Limnology 41: 267-279. <https://doi.org/10.1051/limn/2005014>
- Salles FF (2006) A ordem Ephemeroptera (Insecta) no Brasil: diversidade e taxonomia. Tese de Doutorado, Minas Gerais, Brasil: Universidade Federal de Viçosa.
- Salles FF, Molineri C (2006) *Amanahyphes saguassu*, a new genus and species of Leptohyphidae (Ephemeroptera: Ephemerelloidea) from northern Brazil. Aquatic Insects 28:1-12. <https://doi.org/10.1080/13682820500343180>
- Salles FF, Francischetti CN, Soares EDG 2009. The presence of *Homoeoneuria* s.s. (Ephemeroptera: Oligoneuriidae) in South America with the description of a new species. Zootaxa 2146:53-60. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2146.1.4>
- Salles FF, Raimundi EA, Boldrini R, Souza-Franco GM (2010a) The genus *Americabaetis* Kluge (Ephemeroptera: Baetidae) in Brazil: new species, stage description, and key to nymphs. Zootaxa 2560: 16–28. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2560.1.2>
- Salles FF, Nascimento JMC, Massariol FC, Angeli KB, Silva PB, Rúdio JÁ, Boldrini R (2010b) Primeiro levantamento da fauna de Ephemeroptera (Insecta) do Espírito Santo, Sudeste do Brasil. Biota Neotropica 10: 293–307. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000100025>

- Salles FF, Domínguez E (2012) Systematics and Phylogeny of *Ulmeritus-Ulmeritoides* revisited (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Zootaxa* 3571(1): 49-65. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3571.1.3>
- Salles FF, Molineri C, Nieto C, Lima LRC, Dias LC, Boldrini R, Mariano R, Domínguez E (2020) Ephemeroptera da América do Sul. <http://ephemeroptera.com.br/>.
- Salles FF, Boldrini R (2022) Ephemeroptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/122>> [acesso em 25 Maio 2022].
- Sartori M, Brittain JE (2015) Order Ephemeroptera. In: Thorp and Covich's freshwater invertebrates, 4th edn. Academic Press, Cambridge, pp 873–891
- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento de Mato Grosso do Sul SEMADE/MS (2015) Estudo da Dimensão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: Regiões de Planejamento. Campo Grande-MS. 91p.
- Shimano Y, Cabette SR, Salles FF, Juen L (2010) Composição e distribuição da fauna de Ephemeroptera (Insecta) em área de transição Cerrado-Amazônia, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 100(4): 301-308. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212010000400004>
- Siegloch AE, Polegatto CM, Froehlich CG (2006) *Segesta riograndensis*, new genus and species of an Atalophlebiinae (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) mayfly from southern Brazil. *Zootaxa* 1299: 35–43. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1299.1.2>
- Silva FH, Salles FF (2017) Checklist de Ephemeroptera do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 107(supl.): e2017116. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2017116>
- Souza HML, Cabette HSR, Juen L (2011) Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) em córregos do cerrado matogrossense sob diferentes níveis de preservação ambiental. *Iheringia, Série Zoologia* 101(3):181-190. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000200005>
- Souza PRB, Guillermo-Ferreira R (2015) Butterflies of the Bodoquena Plateau in Brazil (Lepidoptera, Papilionoidea). *ZooKeys* 546: 105–124. doi: 10.3897/zookeys.546.6138
- Traver JR (1950) Notes on Neotropical mayflies. Part. IV. Family Ephemeridae (continued). *Revista de Entomologia* 21: 593–614.
- Valente-Neto F, Silva FH, Covich AP, Roque FO (2019) Streams dry and ecological uniqueness rise: environmental selection drives aquatic insect patterns in a stream network prone to intermittence. *Hydrobiologia* 1:1-12. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04125-9>

Anexo

Tabela 01. Sítios de amostragem no Planalto da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brasil (RPPN = Reserva Particular de Propriedade Natural; MN = Monumento Natural, ambas são categorias de unidade de conservação).

Sítios	Municípios	Localização	Coordenadas
S01	Bonito	Córrego Água Doce, Estância Mimosa	20°59'52.5" S, 56°30'34.5" W
S02	Jardim	Córrego Olho D'água, RPPN Fazenda Cabeceira do Prata	21°26'18.4" S, 56°26'42.8" W
S03	Bonito	Rio Sucuri, RPPN Fazenda São Geraldo	21°15'59.5" S, 56°33'34.6" W
S04	Bonito	Rio Formoso, MN do Rio Formoso	21°07'17.9" S, 56°23'11.3" W
S05	Bodoquena	Rio Betione, Balneário Cabeceira do Betione	20°36'02.1" S, 56°38'46.1" W
S06	Bodoquena	Rio Betione (Cachoeira dos Pirralhos), Hotel Fazenda do Betione	20°33'03.0" S, 56°38'14.7" W
S07	Bonito	Rio Jenipapo, Fazenda Jenipapo	20°59'08.2" S, 56°27'01.5" W
S08	Bonito	Rio Mimoso, Rodovia MS-345	21°02'04.9" S, 56°27'13.3" W
S09	Jardim	Rio da Prata, Rodovia MS-178	21°26'15.3" S, 56°28'06.8" W
S10	Jardim	Rio da Prata, Balneário do Anicézio	21°26'25.6" S, 56°29'10.2" W
S11	Bodoquena	Córrego Serra (Ponte 05), Rodovia MS-339	20°30'00.1" S, 56°52'22.8" W
S12	Bonito	Córrego Saladeiro, Rodovia MS-345	21°06'17.7" S, 56°28'51.8" W
S13	Bonito	Córrego Mutum, Rodovia MS-178	21°17'59.7" S, 56°26'01.6" W
S14	Bodoquena	Rio Betione, Balneário Águas da Bodoquena	20°35'30.4" S, 56°38'48.2" W
S15	Bonito	Córrego Bonito, BNH	21°07'47.6" S, 56°28'50.2" W
S16	Bodoquena	Rio Salobra, RPPN Cara da Onça	20°44'16.5" S, 56°44'04.6" W
S17	Bodoquena	Rio Campina, Balneário do Domingos	20°32'45.1" S, 56°42'57.8" W
S18	Caracol	Córrego Azul, Rodovia BR-262/MS	21°40'51.4" S, 56°45'45.9" W
S19	Bonito	Rio Miranda, Distrito de Águas do Miranda	20°45'49.52"S, 56° 5'28.54"W
S20	Jardim	Lagoa Misteriosa, Fazenda Cabeceira do Prata	21°27'30.56"S, 56°27'11.71"W

Capítulo II

Efeito da escala e da cobertura florestal sobre a comunidade de Ephemeroptera (Insecta) de riachos em uma paisagem cárstica no Cerrado

Resumo

A determinação da escala espacial ideal para entender padrões de distribuição de espécies e processos que determinam os padrões é um grande desafio, em especial para estudos com comunidades aquáticas. Em nosso estudo, investigamos como a extensão espacial da estrutura da paisagem e a definição operacional da cobertura florestal afetam as comunidades de Ephemeroptera em riachos de paisagem cárstica no Cerrado. Usando mapas de cobertura florestal, determinamos as relações entre porcentagem da cobertura florestal, efeito da escala e a abundância de espécies. Para determinar o efeito da escala ideal para as espécies, calculamos métricas de paisagem em diferentes extensões espaciais (buffer com raios de 50, 100, 250, 500, 750 e 1000m) dos locais de coleta e para três mapas florestais, cada um usando diferentes definições de um pixel de floresta (mínimo de cobertura de árvores de 25, 50 ou 75%). Encontramos baixa correlação da riqueza taxonômica e abundância de grupos tróficos de Ephemeroptera com a escala e a definição operacional da cobertura florestal. Nossos resultados indicam que não há uma definição de escala ideal para compreender padrões de riqueza e abundância das espécies. Desta forma o uso de uma única definição do tamanho do buffer e definição operacional de floresta pode levar a interpretações equivocadas sobre as relações das espécies com o ambiente.

Palavras-Chave: insetos aquáticos, guilda alimentar, escala espacial, modelo multiescala, Planalto da Bodoquena.

Abstract

The determination of the ideal scale to study the interactions and distribution of species is a major challenge, especially for studies with aquatic communities. In our study, we investigated how the spatial extent of landscape structure and the operational definition of forest cover affect Ephemeroptera communities in streams of a karst landscape in the Cerrado. Using forest cover maps and occurrence modeling, we determined the relationships between percentage of forest cover and species occurrence. To determine the optimal scaling effect for the species, we calculated landscape metrics at different spatial

extents (50, 100, 250, 500, 750, and 1000m radii) from collection sites and for three forest maps, each using different definitions. of a forest pixel (minimum tree cover of 25, 50 or 75%). We found low correlation of Ephemeroptera richness and trophic groups with the scale and operational definition of forest cover. Our results indicate that there is no definition of the ideal scale to be worked out for richness and all species, a single definition of the size of the buffer, as well as the operational definition of forest can lead to misunderstandings about the relationships of species with the environment.

Keywords: aquatic insects, trophic guild, spatial scale, multiscale model, Bodoquena Plateau.

Introdução

O conhecimento dos padrões da biodiversidade é essencial para orientar ações de conservação e avaliação ambiental (Caro 2010). É um grande desafio, especialmente em estudos de comunidades aquáticas (Heino et al. 2004; 2015), entender a relação entre as espécies e seu ambiente (Fahrig et al. 2011; Miguet et al. 2016; 2017), incluindo identificar como elas respondem à estrutura da paisagem ou ao efeito da escala (Jackson e Fahrig 2012).

Compreender como as espécies podem responder a uma variável de paisagem específica em uma escala particular e saber a escala em que elas respondem às paisagens, pode ser muito útil para auxiliar os tomadores de decisão na gestão, manutenção e restauração da biodiversidade e seus habitats (Haines-Young 2009), pois as extensões espaciais ideais são determinadas principalmente por uma escala em que se espera que os processos ecológicos operem para os organismos estudados. As escalas espaciais são geralmente testadas pela variação da extensão espacial (e.g., o tamanho de uma zona tampão) sobre a qual o preditor de habitat (uma métrica de paisagem) é medido (Jackson e Fahrig 2012). Características biológicas e ecológicas das espécies, incluindo o tamanho, distância de dispersão, área de vida e a especialização do habitat podem afetar o efeito da escala (Miguet et al. 2016). Diferentes recursos, como diferentes coberturas de terra, podem gerar diferentes efeitos de escalas ao se relacionar com diferentes necessidades biológicas do organismo em estudo, e a simplificação excessiva da cobertura vegetal pode não ser adequada para detectar como as espécies respondem ao seu ambiente (Comber et al. 2005; Rocchini et al. 2013).

Abordagem usando diferentes limites de porcentagem da cobertura de árvore para pixels a serem classificados como floresta, provavelmente altera a relação medida entre o

habitat da floresta e a resposta de uma espécie animal (e.g., Defries et al. 2001; Hansen et al. 2010). A relação entre as métricas da paisagem e a resposta da espécie será mais forte e mais provável na escala correta quando a definição operacional da floresta usada está mais alinhada com a percepção das espécies sobre o habitat da floresta.

Alguns estudos tem avaliado o efeito da definição de florestas para mamíferos (Defries et al. 2001; Hansen et al. 2010; Hirota et al. 2011; Amiot et al. 2021), entretanto, acreditamos que tal avaliação ainda não foi realizada para a maioria dos grupos de insetos. Isto é preocupante pois o maior motivo de perda de insetos no mundo é a conversão de habitats, particularmente de florestas (Sánchez-Bayo e Wyckhuys 2019). Estudos apontam que insetos aquáticos respondem de formas diferentes à cobertura florestal ripária (Vannote et al. 1980; Shimano et al. 2012; Silva et al. 2012 Valente-Neto et al. 2018b), eles são altamente responsivos à qualidade do substrato e dependentes das zonas ribeirinhas para alimentação, refúgio e dispersão (Ruaro et al. 2016). Desta forma, mudanças na matriz florestal e nas extensões de captação podem influenciar a permeabilidade da paisagem para o movimento de insetos aquáticos adultos (Valente-Neto et al. 2016).

Diante das diferentes facetas da biodiversidade e contingências relacionadas a escala e a definição de cobertura florestal, nos deparamos com a necessidade de avaliar as respostas das espécies frente ao ambiente em contextos de habitats locais e regionais. Neste estudo, nosso objetivo foi avaliar se a mudança de escala e da definição operacional na porcentagem de cobertura florestal (quando diferentes limiares da cobertura de árvores são usados para classificar os pixels do mapa como floresta) tem efeito sobre a diversidade taxonômica e abundância de grupos tróficos da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) de riachos cársticos do Cerrado brasileiro.

Nós hipotetizamos que haveria relação entre a riqueza e abundância dos grupos tróficos dessa comunidade com a mudança de escala e da definição operacional na porcentagem de cobertura florestal. Considerando o conceito do *continuum* fluvial (Vannote et al. 1980), fragmentadores apresentariam relação positiva com o aumento da cobertura florestal e esse efeito mais forte em buffers menores, uma vez que as espécies utilizam a matéria vegetal disponível pela vegetação ripária; coletores teriam uma relação difusa e esse efeito seria indiferente em relação ao tamanho dos buffers, por não dependerem diretamente da entrada de matéria da vegetação ripária, pois as espécies podem consumir a matéria particulada produzida por fragmentadores locais, assim como dissolvidas na água e oriundas de áreas a montante; e raspadores uma relação negativa com o aumento da cobertura florestal e esse efeito mais forte em buffers maiores, considerando

que as espécies utilizam matéria a partir da produção autotrófica, que depende da entrada de luz no ambiente aquático.

Neste estudo usamos uma abordagem funcional, pois é uma forma eficiente para a caracterização da condição do ecossistema e é considerado mais apropriado do que a abordagem taxonômica (Vannote et al. 1980; Cummins et al. 2005). Os grupos funcionais alimentares, têm sido muito utilizados em estudos ecológicos de insetos aquáticos devido à amplitude de informações que representam (Francischetti et al. 2004; Motta e Uieda 2004; Kikuchi e Uieda 2005, Shimano et al. 2012, Silva et al. 2012).

A avaliação da comunidade de insetos aquáticos através de sua estrutura trófica traz algumas vantagens, permitindo a percepção de qual recurso alimentar é o que prevalece no sistema, ela possibilita observar como diferentes grupos de organismos respondem às variáveis ambientais e considerando que a identificação no nível específico requer tempo, treino e prática, a utilização de grupos funcionais alimentares diminui a magnitude de classes, sendo um método alternativo para estudos de comunidade (Allan e Castillo 2007; Cummins et al. 2008).

Material e métodos

Area de estudo

A região do Planalto de Bodoquena (20 25029.2800 a 21 44019.7200 S e 56 52024.460056 a 17023.3600 W) está localizado no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. É caracterizada por uma cadeia de montanhas (altitude 450-800 m) com clima tropical (temperatura média anual entre 20 e 22 °C e precipitação entre 1300 e 1700 mm).

Esta região destaca-se por possuir um dos mais extensos sistemas cársticos no Brasil (Filho et al. 2009) e por ser uma área de transição entre dois *hotspots* de biodiversidade, Cerrado (savana brasileira) e Mata Atlântica (Myers et al. 2000), abrigando riachos e rios que drenam para a planície de inundação do Pantanal, uma das maiores zonas úmidas do mundo (Tomas et al. 2019).

A área de estudo (Fig. 1) está dentro da área de abrangência do bioma Cerrado (savana brasileira) ao redor do Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PNSB), onde a vegetação compreende uma mistura de floresta semi-decídua aluvial e floresta decídua submontana (floresta seca), pântanos, áreas em regeneração e agricultura incluindo pastagens e monoculturas (Oliveira e Marquis 2002; Klink e Machado 2005).

O PNSB representa uma importante área protegida por atuar como um corredor ecológico da biodiversidade e mantendo em sua área remanescentes de Mata Atlântica. Durante as últimas décadas, o Cerrado vem sofrendo uma rápida expansão agrícola (Rausch

et al. 2019) levando à fragmentação da cobertura florestal nativa (Strassburg et al. 2017). Mais detalhes sobre as características dos substratos amostrados e da heterogeneidade ambiental de alguns locais de coleta podem ser observados nas Figuras 4, 5 e 6 em anexo.

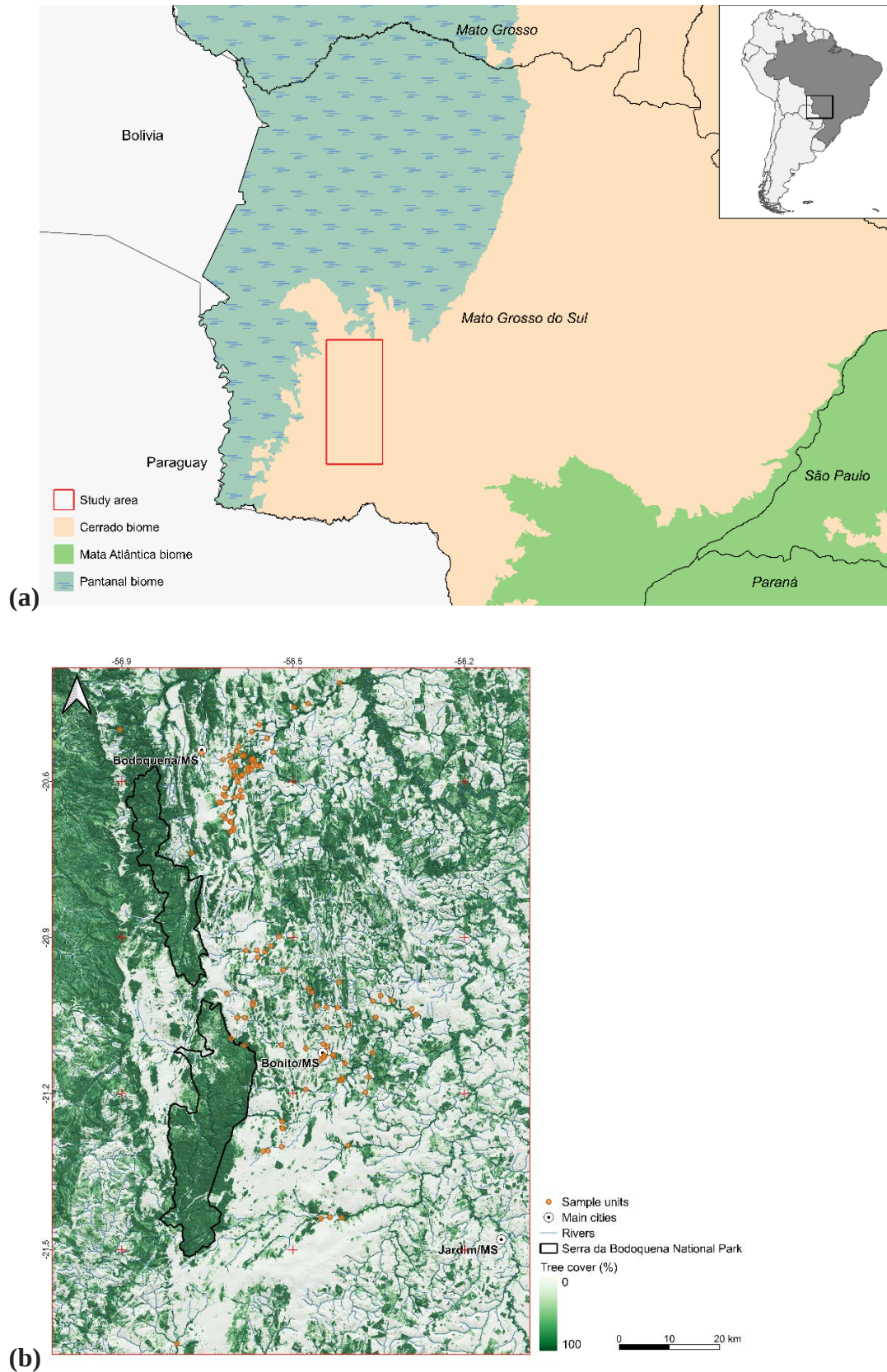


Figura 1. Mapa da área de estudo, Bodoquena, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil (a) e cobertura florestal incluindo a localização dos sítios amostrais (b).

Cobertura florestal, métricas da paisagem e extensão espacial

As métricas da paisagem foram calculadas usando mapas florestais derivados dos produtos do Global Forest Change project's (Hansen et al. 2013). Usaremos o produto "2000 por cento de cobertura de árvore" (TC), que corresponde à proporção de árvores por pixel, ou seja, o fechamento do dossel para toda a vegetação com mais de 5 m de altura. Este produto global é derivado da análise de série temporal de imagens Landsat com um espaço de 30m de resolução. Com base neste mapa, nós então produzimos três mapas florestais, aplicando três limites de porcentagem de cobertura de árvores (25, 50 e 75%).

Cada um dos três mapas florestais foi usado para derivar a métrica de composição da paisagem pela cobertura florestal (FC). O cálculo dessa métrica foi realizado usando a função ClassStat do pacote SDMTools (Vanderwal et al. 2014) em R 3.6.2 (R Development Core Team 2019).

Embora uma grande variedade de métricas de paisagens possa ser explorada, em nosso estudo nos limitamos a cobertura florestal (FC), pois é comumente usada na literatura em estudos ecológicos com insetos aquáticos, os quais não apresentam um padrão de escala e de definição operacional de floresta. Calculamos a cobertura florestal (FC) em diferentes extensões, aqui considerando como raios dos locais de amostragem: 50, 100, 250, 500, 750 e 1000m (Fig. 2). A variação nas extensões espaciais permite a investigação das interações das espécies com a paisagem (Miguet et al. 2016) e explicar a seleção de habitat pelas espécies (Johnson 1980).

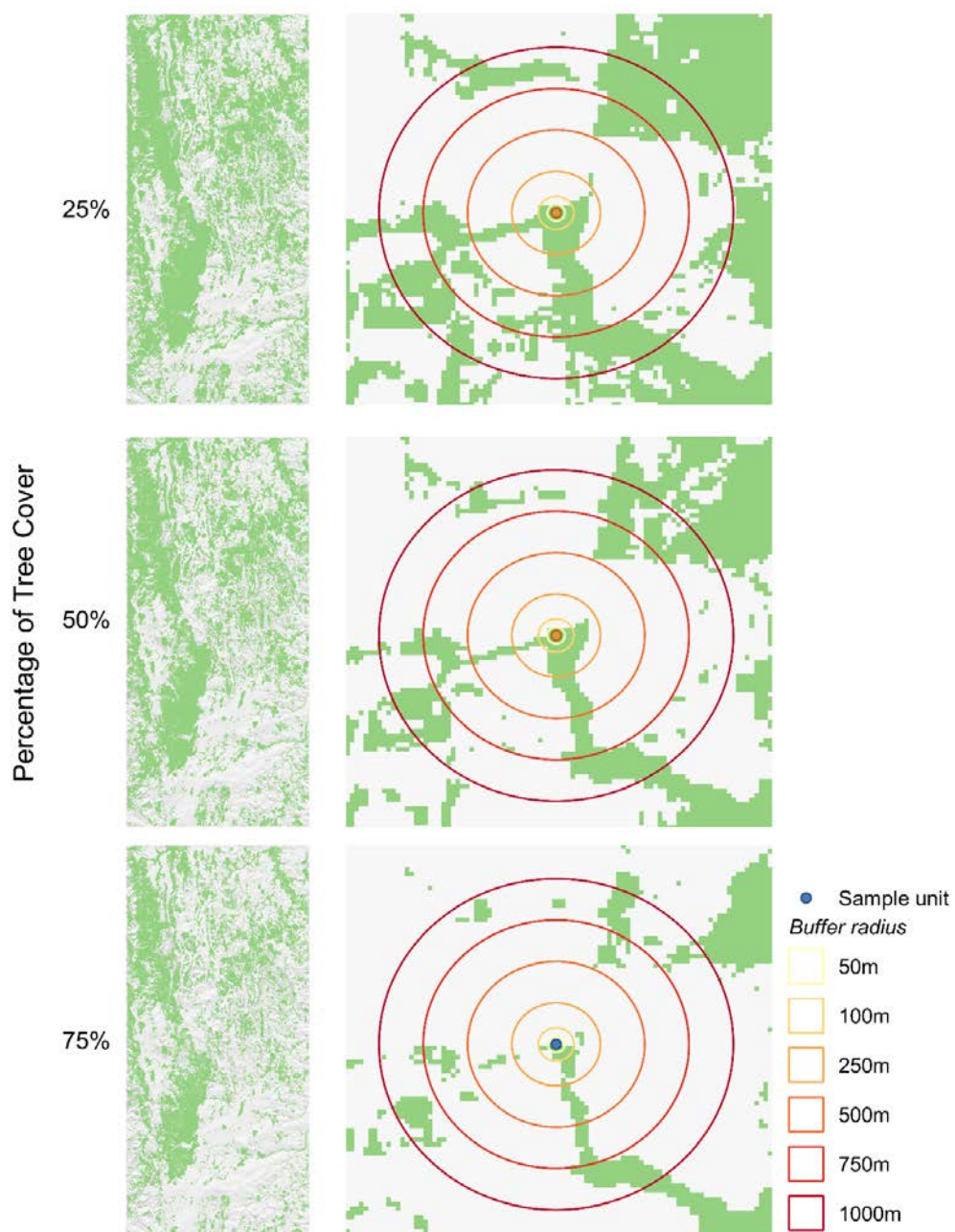


Figura 2. Exemplo de cobertura florestal avaliada para diferentes limiares de definição operacional de "floresta" (cobertura mínima de árvores por pixel de 25, 50 e 75%) em torno de um sítio amostral nos diferentes tamanhos de buffers (50, 100, 250, 500, 750, 1000 m). Os pixels da floresta são representados em verde.

Dados de espécies de Ephemeroptera

Implementamos um conjunto dados a partir de 109 locais de amostragem em um gradiente de perda de cobertura florestal na área de estudo. Amostras de insetos aquáticos foram realizadas em diferentes períodos sazonais entre os anos de 2012 e 2019. Cada amostra é composta por 20 subamostras proporcionalmente distribuídas entre todos os principais habitats disponíveis para cada sítio de coleta (Barbour et al. 1996).

Delimitamos três trechos de 10m em cada local para estimar visualmente os principais habitats, incluindo: afloramento rochoso, areia, cascalho, lodo, madeira, matéria orgânica, pacotes de folhas, raízes, rocha calcárias e vegetação aquática. Em seguida, calculamos a média da proporção de habitats a partir dos três trechos de 10m e distribuímos proporcionalmente as unidades de amostragem entre os habitats.

Cada subamostra consiste em 1m de comprimento, utilizando uma rede tipo “D” (malha de 0,5mm; cobrindo 0,3m²), totalizando um esforço de amostragem de 6m² de habitat de fundo de riacho. Em campo as sub-amostras foram devidamente identificadas, preservadas em formaldeído e transportadas para o laboratório para triagem e identificação dos táxons. No laboratório, as amostras foram processadas, os espécimes foram triados em bandejas transluminadas e identificados ao nível taxonômico de gênero.

Os gêneros identificados foram categorizados em grupos tróficos, sendo eles: fragmentadores, coletores e filtradores, dos quais foram selecionados aqueles com maior abundância de indivíduos.

Análise dos dados

Selecionamos os 12 gêneros mais abundantes para análise da relação da riqueza de gêneros e das abundâncias de espécies dos diferentes grupos funcionais alimentares, com as métricas de paisagens. Para diminuir a influência de análise ocasionada por extremos nos valores de abundância, os dados foram transformados em $\text{Log}_{10}(x+1)$.

Os modelos foram construídos, considerando três diferentes limiares de definição operacional de "floresta" (cobertura mínima de árvores por pixel de 25, 50 e 75%) para cada uma das seis escalas selecionadas (tamanhos de buffers de 50, 100, 250, 500, 750, 1000m), totalizando 234 modelos analisados, sendo 18 para riqueza de gêneros e 18 para a abundância de cada um dos 12 gêneros selecionadas. Posteriormente, verificamos os maiores valores de R^2 para obtenção dos melhores modelos e interpretação da explicação das variáveis selecionadas.

A relação entre riqueza de gêneros com as métricas de paisagem foi realizada utilizando modelo linear generalizado (GLM) com distribuição de Poisson e a relação da

abundância de espécies usando regressão linear. Extraímos o pseudo R^2 para cada GLM e o coeficiente de determinação (R^2) para cada modelo de regressão linear que indicam a porcentagem da variação da variável resposta que é explicada pelos fatores nos modelos. As análises estatísticas foram realizadas usando R 3.6.2 (R Development Core Team 2019).

Resultados

Coletamos 25.374 indivíduos pertencentes a 23 gêneros. Os 12 gêneros mais abundantes totalizaram 24.334 indivíduos, os quais foram categorizados em grupos tróficos e utilizados nas análises. Sendo *Baetodes*, *Camelobaetidius*, *Caenis*, *Farrodes* e *Thraulodes* (raspadores), *Americabaetis*, *Aturbina*, *Paracloeodes*, *Traverhyphes* e *Tricorythodes* (coletores), *Terpides* e *Ulmeritoides* (fragmentadores). Baseado na riqueza de gêneros, o modelo linear generalizado (GLM) com distribuição de Poisson foi significativo para nove modelos (metade dos modelos analisados), sendo o buffer de 750m, com definição de floresta no pixel de 25% o melhor modelo encontrado ($p = 0.0046$; $R^2 = 0,0776$).

A relação da abundância de gêneros com a cobertura florestal medida nos modelos de regressão linear foi significativa para os gêneros *Terpides* pertencente aos fragmentadores, onde o melhor modelo foi observado em buffer de 250m, com definição de floresta no pixel de 75% ($p = 0.0044$; $R^2 = 0.0830$); *Tricorythodes* dos coletores, em buffer de 50 m e definição de floresta no pixel de 50% ($p = 0.0245$; $R^2 = 0.0526$); e *Baetodes* dos raspadores, em buffer de 1000m e definição de floresta no pixel de 25% ($p = 0.0457$; $R^2 = 0.0418$) (Fig. 3 e Tab. 1). Os resultados das análises para todos os modelos, podem ser observados em material complementar anexo.

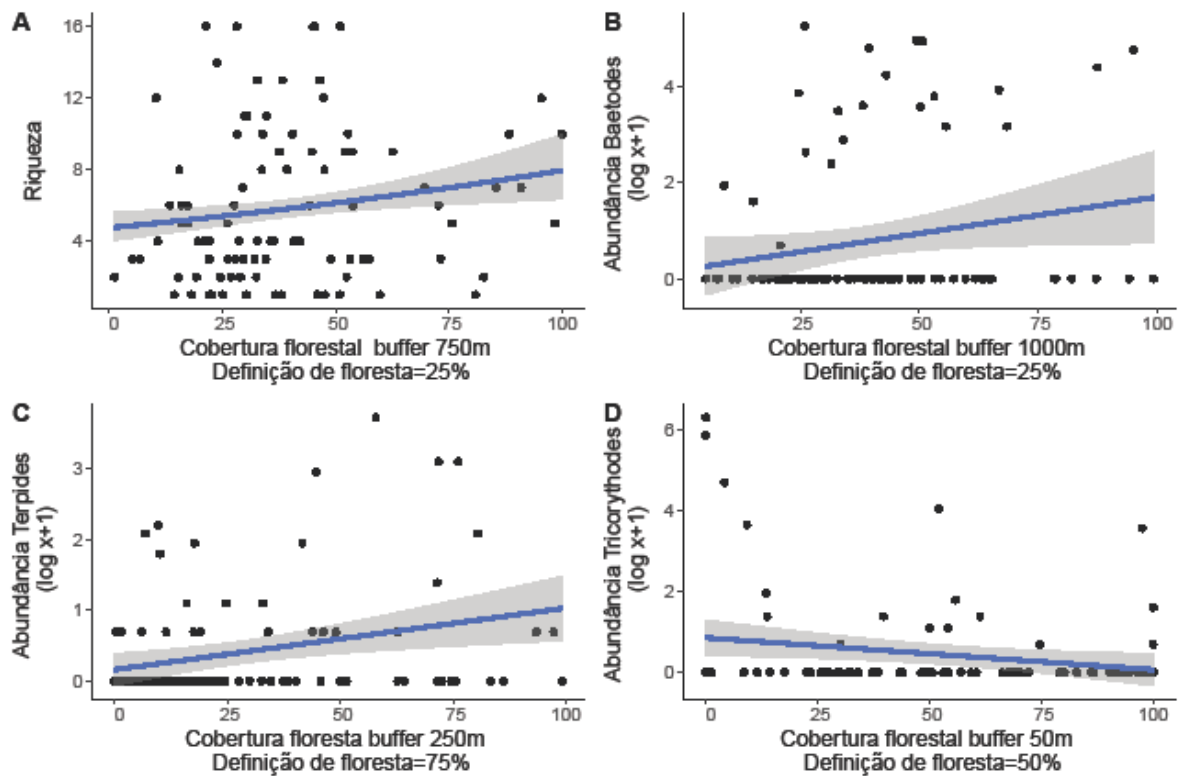


Figura 3. Relação da riqueza de espécies (a), abundância de *Terpides* (b), abundância de *Tricorythodes* (c) e *Baetodes* (d), com tamanho do buffer e % de cobertura florestal no pixel dos melhores modelos. Valores do eixo X em porcentagem (%).

Tabela 1. Resultado das análises dos melhores modelos.

	GTA	Model	R ²	p. values
Riqueza	-	BF750_.TC25	0,0776	0,0046
<i>Terpides</i>	Fragmentador	BF250_.TC75	0,0830	0,0044
<i>Tricorythodes</i>	Coletor	BF50_.TC50	0,0526	0,0245
<i>Baetodes</i>	Raspador	BF1000_.TC25	0,0418	0,0457

Discussão

Nossos resultados suportam apenas marginalmente nossas previsões, pois a porcentagem de explicação dos modelos foi relativamente baixa. Detectamos evidências fracas que os grupos de insetos que dependem diretamente de floresta, como os fragmentadores, responderam à definição operacional de floresta de 75%, enquanto para grupos que não dependem diretamente da floresta, essa definição pode ser menor, como para os coletores e raspadores, com maior relação em 50% e 25% de cobertura florestal, respectivamente. Essa mesma variação pode ser observada com o tamanho dos buffers, de modo que o grupo funcional dos fragmentadores apresentou maior relação com tamanho de buffer intermediários (250m), e o grupo funcional dos coletores apresentou maior relação

com buffers menores (50m e 100m), refletindo as condições de paisagem local. Por outro lado, os raspadores demonstraram maior relação com buffers maiores (1000m), que podem refletir a estrutura da paisagem da bacia de drenagem (i.e., uso e ocupação do solo e conectividade entre ambientes aquáticos adjacentes).

Verificamos maior relação de fragmentadores, representados pela abundância do gênero *Terpides*, com o aumento da cobertura florestal e em escala de buffers intermediários. Uma potencial explicação é que a abundância deste gênero responde a mudanças finas na paisagem, de forma que, alterações na paisagem em escalas menores a intermediárias podem alterar a dinâmica dos habitats locais e a disponibilidade de alimentos. Os fragmentadores compreendem organismos que dependem da matéria orgânica disponível da vegetação marginal para a obtenção de seus recursos alimentares, pois se alimentam de substratos orgânicos maiores (Vannote et al. 1980).

Este grupo corta ou mastiga pedaços de material vegetal vivo ou morto, incluindo todas as partes da planta como folhas, galhos e troncos. Sua principal função nos sistemas aquáticos é a quebra de grandes partículas de material vegetal em pedaços menores que são transportados pelo fluxo de água e que se tornam disponíveis para outros consumidores do ambiente aquático (Wallace e Webster 1996, Díaz Villanueva et al. 2012). Desta forma, os fragmentadores são consumidores de matéria orgânica particulada grossa e produtores de matéria orgânica particulada fina. Quanto à relação com a escala intermediária, uma potencial explicação é que este grupo responde tanto às variações das condições do habitat local, tais como disponibilidade de habitats e alimentos, quanto regional, tais como fatores históricos de especiação, extinção, dispersão, ou ainda, quanto a fatores como temperatura e precipitação, que são importantes na determinação das características ambientais, estruturação e filtro de espécies (Tolonen et al. 2016).

Já os coletores, representados pelo gênero *Tricorythodes* mostraram maior relação com a definição operacional de cobertura florestal intermediária e com escalas de buffers menores. Uma possível explicação é que este grupo funcional responda melhor a escala local, pois as variações da cobertura florestal, que podem alterar a quantidade de matéria orgânica particulada para os fragmentadores, afetam, consequentemente, o grupo dos coletores, que se alimentam peneirando ou coletando diretamente pequenas partículas (<1mm) acumuladas no fundo do ambiente aquático (Ramírez e Gutiérrez-Fonseca 2014). Desta forma, os coletores são frequentemente abundantes nos ecossistemas aquáticos e tendem a ser mais comuns em trechos com fluxo lento, onde o depósito de matéria orgânica particulada, disponibilizada pelos fragmentadores, é mais abundante (Vannote et al. 1980).

Por outro lado, os raspadores, representados pelo gênero *Baetodes*, tiveram maior relação com a menor definição operacional de cobertura florestal (25%) e com buffers maiores (1000m). Os raspadores, estão mais relacionados a áreas com maior luminosidade, onde a presença da luz favorece o desenvolvimento de seus recursos alimentares, pois consomem recursos que crescem sobre substrato, podendo consumir uma diversidade de recursos, incluindo algas sobre rochas, biofilmes bentônicos que são compostos de bactérias, fungos, algas e sua matriz de polissacarídeos, que cobrem substratos duros em ecossistemas aquáticos (Lock et al. 1984). Neste sentido, assumir a priori uma escala e definição de floresta poderia levar a uma interpretação equivocada da relação da abundância das espécies com variáveis ambientais.

Nós encontramos a melhor relação da riqueza de Ephemeroptera com buffer de 750m e definição de floresta de 25%. Essa menor porcentagem na definição da cobertura florestal traz consigo menor refinamento na classificação da imagem, não identificando diferentes formações vegetais dentro de uma paisagem (i.e., formações arbustivas e floresta densa). Entretanto, essa explicação foi baixa, com apenas 7,7 %. Essa baixa explicação da variação de macroinvertebrados com variáveis ambientais de paisagem é amplamente documentada (Heino et al. 2015). Nossos resultados acompanham um padrão conhecido, que demonstra um fraco poder preditivo e explicativo de algumas variáveis da paisagem na compreensão da estrutura da comunidade de macroinvertebrados em riachos para a Região Neotropical (Heino et al. 2007; Pyne et al. 2007; Siqueira et al. 2012; Roque et al. 2014, Roque et al. 2016).

Entre as prováveis explicações para esse fato, podemos citar: i) as variáveis preditoras utilizadas podem não representar processos e mecanismos (em uma escala apropriada) da comunidade avaliada (Heino et al., 2007; Pyne et al., 2007); ii) a estrutura das comunidades de insetos aquáticos pode responder a vários fatores em diferentes escalas; iii) os grupos taxonômicos avaliados podem não responder de forma previsível a gradientes ambientais de perturbação; iv) a resolução taxonômica utilizada pode não ser apropriada para detectar padrões na estrutura da comunidade em relação a alguns tipos de gradientes ambientais; e v) a região estudada apresenta um histórico recente de mudança de uso do solo, o que pode gerar padrões de débito de extinção e efeitos de massa que mascaram efeitos antrópicos.

Entre os potenciais motivos listados acima, acreditamos que incluímos um forte gradiente ambiental que cobre áreas com alta cobertura vegetal para áreas fortemente antropizadas, dominadas por pastagens. Quanto à resolução taxonômica, acreditamos que nossa identificação, em nível de gênero, é suficiente para detectar respostas de

macroinvertebrados a padrões ecológicos dentro de um mesmo conjunto de espécies (ver Melo 2005). Desta forma, as explicações mais aceitas seriam que a estrutura da comunidade de insetos aquáticos responde a vários fatores em diferentes escalas e que as alterações recentes nas características de uso e ocupação do solo, na região, geram gradientes que dificultam a percepção do efeito de seleção ambiental (Valente-Neto et al. 2018a)

Embora nossos dados demonstrem uma relação dos grupos funcionais alimentares da comunidade de Ephemeroptera com a definição operacional da cobertura florestal e com a escala (tamanho de buffers) utilizada nas análises, essa relação pode ser considerada fraca na determinação da estrutura da comunidade de Ephemeroptera na região do Planalto da Bodoquena. Evidências de outros estudos na região demonstram essa complexidade estrutural dos sistemas cársticos e levantam o desafio na compreensão dessas relações (Roque et al. 2017; Valente-Neto et al. 2018a e 2018b).

Como mensagem geral do nosso estudo, sugerimos que, diante do robusto banco de dados trabalhado, podemos afirmar que não há uma definição de escala ideal a ser trabalhada e uma única definição do tamanho do buffer e a definição operacional de floresta, pode levar a interpretações equivocadas. Diferentes respostas ao habitat dificultam uma definição para os diferentes grupos funcionais. Nossos dados suportam a ideia que essa complexidade nas relações entre as espécies e a paisagem são reflexo das características biológicas e ecológicas das espécies, que podem afetar o efeito da escala (Miguet et al. 2016).

Do ponto de vista prático, o caminho é incluir o procedimento de testar para diferentes métricas e classificações e não assumir a priori escalas. Nossos dados mostram que grupos funcionais distintos podem responder diferentemente as métricas de paisagem, o que fortalece a ideia de que as particularidades funcionais da biota estão relacionadas a diferentes condições ambientais da paisagem. Portanto, nossos achados têm implicações para o planejamento amostral e para a conservação, pois demonstra a necessidade de se testar as escalas a serem trabalhadas e de descrever qual a definição operacional de floresta utilizada em cada análise, a fim de evitar erros de interpretações e resultados equivocados, assim como na comparação de resultados em trabalhos futuros.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os funcionários da RPPN Fazenda Cabeceira do Prata, RPPN Fazenda São Geraldo, RPPN Cara da Onça, Estância Mimosa, Hotel Fazenda do Betione, Balneário Cabeceira do Betione, Balneário Águas da Bodoquena, Balneário do Anicézio, Fazenda Jenipapo, Fazenda Novo Horizonte, Chácara Trindade e Pousada Canto do Bambu pela autorização e apoio durante as amostragens.

Ao Laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela logística durante os trabalhos de campo, processamento do material biológico coletado e disponibilização de informações do seu banco de dados. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida.

Referências

- Allan JD, Castillo MM (2007) Stream ecology: structure and function of running waters. Dordrecht, Springer. 436p.
- Amiot C, Santos CC, Arvor D, Bellón B, Fritz H, Harmange C, Holland JD, Melo I, Metzger J-P, Renaud P-C, Roque FO, Souza FL, Pays O (2021) The scale of effect depends on operational definition of forest cover—evidence from terrestrial mammals of the Brazilian savanna. *Landscape Ecology* 36: 973–987 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01196-9>
- Barbour, M., J. Gerritsen, G. Griffith, R. Frydenborg, E. McCarron, J. White, & M. Bastian, 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 15: 185–211.
- Boesing AL, Nichols E, Metzger JP (2018) Biodiversity extinction thresholds are modulated by matrix type. *Ecography*, 41:1520-1533. <https://doi.org/10.1111/ecog.03365>
- Boscolo D, Metzger JP (2009) Is bird incidence in Atlantic forest fragments influenced by landscape patterns at multiple scales? *Landsc Ecol* 24:907–918.
- Brito JG, Roque FO, Martins RT, Nessimian JL, Oliveira VC, Hughes RM, De Paula FR, Ferraz SFB, Hamada N (2020) Small forest losses degrade stream macroinvertebrate assemblages in the eastern Brazilian Amazon. *Biol. Conserv.* 241, 108263 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108263>.
- Caro T (2010). Conservation by proxy: indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species. Island Press, Washington, DC, 400p.
- Chaplin-Kramer R, de Valpine P, Mills NJ, Kremen C (2013) Detecting pest control services across spatial and temporal scales. *Agric Ecosyst Environ* 181:206–212.

- Comber A, Fisher P, Wadsworth R (2005) You know what land cover is but does anyone else? An investigation into semantic and ontological confusion. *Int J Remote Sens* 26:223–228.
- Cummins KW, Merritt RW, Andrade PCN (2005) The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environmental* 40(1):71-90.
- Cummins KW, Merritt RW, Berg MB (2008) Ecology and distribution of aquatic insects. In: Merritt RW, Cummins KW, Berg MB (eds). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p.105-122.
- Dala-Corte RB, Melo AS, Siqueira T, Bini LM, Martins RT, Cunico AM, Pes AM, Magalhães ALB, Godoy BS, Leal CG, Monteiro-Júnior CS, Stenert C, Castro DMP, Macedo DS, Lima D, Gubiani ÉA, Massariol FC, Teresa FB, Becker FG, Souza FN, Valente-Neto F, Souza FL, Salles FF, Brejão GL, Brito JG, Vitule JRS, Simião-Ferreira J, Dias-Silva K, Albuquerque L, Juen L, Maltchik L, Casatti L, Montag L, Rodrigues ME, Callisto M, Nogueira MAM, Santos MR, Hamada N, Pamplin PAZ, Pompeu PS, Leitão RP, Ruaro R, Mariano R, Couceiro SRM, Abilhoa V, Oliveira VC, Shimano Y, Moretto Y, Suarez YR, Roque FO (2020) Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. *Journal of Applied Ecology*, 57(7):1391-1402. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13657>
- Defries RS, Hansen MC, Townshend JRG, Janetos AC, Loveland TR (2001) A new global 1-km dataset of percentage tree cover derived from remote sensing. *Global Change Biol* 6:247–254.
- Díaz Villanueva, V., Albariño, R., & Canhoto, C. (2012). Positive effect of shredders on microbial biomass and decomposition in stream microcosms. *Freshwater Biology*, 57, 2504-2513.
- Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel FG, Crist TO, Fuller RJ, Martin JL (2011) Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol Lett* 14:101–112
- Filho, W.S, Karmann, I., Boggiani, P.C., Petri, S., Souza, P.A. (2009) Deposição de Tufas Quaternárias no Estado de Mato Grosso do Sul: Proposta de Definição da Formação Serra da Bodoquena. *Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo*, 9(3), 47-60.
- Francischetti CN, Da-Silva ER, Salles FF, Nessimian JL (2004) A efemeroptero fauna (Insecta: Ephemeroptera) do trecho ritral inferior do Rio Campo Belo, Itatiaia, RJ: composição e mesodistribuição. *Lundiana* 5(1):33-39.

- Haines-Young R (2009) Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy* 26:178–186.
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A (2013) High-resolution global maps of 21 st-century forest cover change. *Science* 342:850–853.
- Hansen MC, Stehman SV, Potapov PV (2010) Quantification of global gross forest cover loss. *Proc Natl Acad Sci USA* 107:8650–8655.
- Heino J, louhi P, muotka T (2004) Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. *Freshwater Biology* (2004) 49, 1230–1239 doi:10.1111/j.1365-2427.2004.01259.x
- Heino J, Melo AS, Bini LM, Altermatt F, Al-Shami SA, Angeler DG, Bonada N, Brand C, Callisto M, Cottenie K, Dangles O, Dudgeon D, Encalada A, Göthe E, Grönroos M, Hamada N, Jacobsen D, Landeiro VL, Ligeiro R., Martins RT, Miserendino ML, Rawi CSM, Rodrigues ME, Roque FO, Sandin L, Schmera D, Sgarbi LF, Simaika JP, Siqueira T, Thompson RM, Townsend CR (2015) A comparative analysis reveals weak relationships between ecological factors and beta diversity of stream insect metacommunities at two spatial levels. *Ecology and Evolution*. 5(6):1235–1248. <https://doi.org/10.1002/ece3.1439>
- Heino J, Mykra H, Hamalainen H, Aroviita J, Muotka T (2007) Response of taxonomic distinctness and species diversity indices to anthropogenic impacts and natural environmental gradients in stream macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 52(9):1846–1861. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01801.x>.
- Hirota M, Holmgren M, Van Nes EH, Scheffer M (2011) Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions. *Science* 334:232–235
- Jackson HB, Fahrig L (2012) What size is a biologically relevant landscape? *Landsc Ecol* 27:929–941.
- Johnson DH (1980) The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61:65–71
- Kikuchi RM, Uieda VS (2005) Composição e distribuição dos macroinvertebrados em diferentes substratos de fundo de um riacho no município de Itatinga, São Paulo, Brasil. *Entomología y Vectores* 12(2):193-231.
- Klink CA, Machado RB (2005) Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv Biol* 19:707–713.
- Lock, M., Costerton, J., Ventullo, R., Wallace, R., & Charlton, S. (1984). River epilithon: toward a structuralfunctional model. *Oikos*, 42, 10-22.

- Miguet P, Fahrig L, Lavigne C (2017) How to quantify a distance- dependent landscape effect on a biological response. *Methods Ecol Evol* 8:1717–1724.
- Miguet P, Jackson HB, Jackson ND, Martin AE, Fahrig L (2016) What determines the spatial extent of landscape effects on species? *Landsc Ecol* 31:1177–1194.
- Motta RL, Uieda VS (2004) Diet and trophic groups of an aquatic insect community in a tropical stream. *Brazilian Journal of Biology* 64(4):809-817.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. Da Fonseca & J. Kent, 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Oliveira PS, Marquis RJ (2002) The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. Columbia University Press, New York, p 373p.
- Pyne MI, Rader BR, Christensen WF (2007). Predicting local biological characteristics in streams: a comparison of landscape classifications. *Freshwater Biology*, vol. 52, no. 7, p. 1302-1321. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01767.x>.
- R Development Core Team (2019) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing
- Ramírez A, Gutiérrez-Fonseca PE. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature, *Rev. Biol. Trop.* 62 (Suppl. 2): 155-167.
- Rausch LL, Gibbs HK, Schelly I, Branda~o A, Morton DC, Filho AC, Strassburg B, Walker N, Noojipady P, Barreto P, Meyer D (2019) Soy expansion in Brazil’s Cerrado. *Conserv Lett* 12:e12671.
- Roque FO, Corrêa EC, Valente-Neto F, Stefan G, Schulz G, Barbosa Souza PR, Motta C M, Oliveira Bavutti LL, Colzani E, Demétrio MF, Escarpinati SC, Silvestre R, Vaz-de-Mello FZ, Siqueira T, Ochoa Quintero JM (2017) Idiosyncratic responses of aquatic and terrestrial insects to different levels of environmental integrity in riparian zones in a karst tropical dry forest region. *Austral Entomology*, 56: 459–465. doi:10.1111/aen.12259.
- Roque FO, Guimarães EA, Ribeiro MC, Escarpinati SC, Suriano MT, Siqueira T (2014) The taxonomic distinctness of macroinvertebrate communities of Atlantic Forest streams cannot be predicted by landscape and climate variables, but traditional biodiversity indices can. *Braz. J. Biol.* 74(4): 991-999. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.04413>
- Roque FO., Zampiva NK, Valente-Neto F, Menezes JFS, Hamada N, Pepinelli M, Swan CM (2016). Deconstructing richness patterns by commonness and rarity reveals bioclimatic and spatial effects in black fly metacommunities. *Freshwater Biology*, 61, 923–932. <https://doi.org/10.1111/fwb.2016.61.issue-6>

- Ruaro R, Gubiani ÉA, Cunico AM, Moretto Y, Piana PA (2016). Comparison of fish and macroinvertebrates as bioindicators of Neotropical streams. *Environ. Monit. Assess.* 188, 45. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5046-9>.
- Sánchez-Bayo F, Wyckhuys KAG, (2019) Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers, *Biological Conservation*, 232: 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>.
- Shimano Y, Salles FF, Faria LRR, Cabette HSR, Nogueira DS (2012). Distribuição espacial das guildas tróficas e estruturação da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) em córregos do Cerrado de Mato Grosso, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, Porto Alegre, 102(2):187-196.
- Silva FH, Favero S, Sabino J (2012) Functional groups of entomofauna associated to aquatic macrophytes in Correntoso river, Rio Negro sub-region, Pantanal, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 34(1): 59-68. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v34i1.7822>
- Siqueira T, Bini LM, Roque F.O, Couceiro SEM, Trivinho-Strixino S, Cottenie K (2012). Common and rare species respond to similar niche processes in macroinvertebrate metacommunities. *Ecography*, 35, 183–192. <https://doi.org/10.1111/ecog.2012.35.issue-2>
- Strassburg BBN, Brooks T, Feltran-Barbieri R, Iribarrem A, Crouzeilles R, Loyola R, Latawiec AE, Oliveira Filho FJB, Scaramuzza CAM, Scarano FR, Soares-Filho B, Balmford A (2017) Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nat Ecol Evol* 1:99.
- Tolonen KE, Tokola L, Grönroos M et al (2016) Hierarchical decomposition of trait patterns of macroinvertebrate communities in subarctic streams. *Freshw Sci* 35:1032–1048. <https://doi.org/10.1086/687966>
- Tomas WM, Roque FO, Morato RG, Medici PE, Chiaravalloti RM, Tortato FR, Penha JMF, Izzo TJ, Garcia LC, Lourival RFF, Girard P, Albuquerque NR, Almeida-Gomes M, Andrade MHS, Araujo FAS, Araujo AC, Arruda EC, Assunção VA, Battirola LD, Benites M, Bolzan FP, Boock JC, Bortolotto IM, Brasil MS, Camilo AR, Campos Z, Carniello MA, Catella AC, Cheida CC, Crawshaw PG, Crispim SMA, Junior GAD, Desbiez ALJ, Dias FA, Eaton DP, Faggioni GP, Farinaccio MA, Fernandes JFA, Ferreira VL, Fischer EA, Fragoso CE, Freitas GO, Galvani F, Garcia AS, Garcia CM, Graciolli G, Guariento RD, Guedes NMR, Guerra A, Herrera HM, Hoogesteijn R, Ikeda SC, Juliano RS, Kantek DLZK, Keuroghlian A, Lacerda ACR, Lacerda ALR, Landeiro VL, Laps RR, Layme V, Leimgruber P, Rocha FL, Mamede S, Marques DKS, Marques MI, Mateus LAF, Moraes RN, Moreira TA, Mourão GM, Nicola RD, Nogueira DG,

- Nunes AP, Cunha CN, Oliveira MD, Oliveira MR, Paggi GM, Pellegrin AO, Pereira GMF, Peres IAHFS, Pinho JB, Pinto JOP, Pott A, Provete DB, Reis VDA, Reis LK, Renaud P-C, Ribeiro DB, Rossetto OC, Sabino J, Rumiz D, Salis SM, Santana DJ, Santos SA, Sartori ÂL, Sato M, Schuchmann K-L, Scremin-Dias E, Seixas GHF, Severo-Neto F, Sigrist MR, Silva A, Silva CJ, Siqueira AL, Soriano BMA, Sousa LM, Souza FL, Strussmann C, Sugai LSM, Tocantins N, Urbanetz C, Valente-Neto F, Viana DP, Yanosky A, Junk WJ (2019) Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. *Tropical Conservation Science* 12: 1–30. [https://DOI: 10.1177/1940082919872634](https://doi.org/10.1177/1940082919872634).
- Valente-Neto F, Durães L, Siqueira T, Roque FO (2018a) Metacommunity detectives: Confronting models based on niche and stochastic assembly scenarios with empirical data from a tropical stream network. *Freshwater Biol.* 63: 86–99. <https://doi.org/10.1111/fwb.13050>
- Valente-Neto F, Rodrigues ME, Roque FO (2018b) Selecting indicators based on biodiversity surrogacy and environmental response in a riverine network: bringing operationality to biomonitoring. *Ecological Indicators* 94: 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.066>
- Valente-Neto F, Roque FO, Rodrigues ME, Juen L, Swan CM (2016) Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: testing congruence across taxonomic resolution and life stages. *Ecological Indicator*, 61, 952-959. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.052.
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980) The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37:130-137.
- Wallace JB, Webster JR (1996) The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 41: 115-139.

Anexos

Tabela 2. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Americabaetis*.

Model	R ²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00350492	-0,3519692	0,56666702
BF50_.TC50	0,01154649	-0,5692442	0,29738172
BF50_.TC75	0,00010103	0,05072959	0,92257074
BF100_.TC25	0,00531606	0,46622233	0,48021036
BF100_.TC50	2,01E-05	0,02641729	0,96544881
BF100_.TC75	0,00128082	0,213621	0,72921379
BF250_.TC25	0,01636098	0,90382698	0,2142554
BF250_.TC50	0,00646662	0,53582756	0,43606994
BF250_.TC75	0,00514165	0,50009951	0,48752131
BF500_.TC25	0,01981005	1,08260265	0,1713748
BF500_.TC50	0,01335699	0,86642656	0,26215904
BF500_.TC75	0,00900507	0,75238051	0,35774234
BF750_.TC25	0,02648423	1,38237141	0,1131458
BF750_.TC50	0,0210867	1,21256102	0,15805488
BF750_.TC75	0,01554759	1,09461493	0,22611248
BF1000_.TC25	0,02215021	1,32481583	0,14784193
BF1000_.TC50	0,02017691	1,24671626	0,16742185
BF1000_.TC75	0,01660187	1,1960248	0,21088519

Tabela 3. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Aturbina*.

Model	R ²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00148185	0,11200687	0,70961908
BF50_.TC50	2,06E-07	0,00117683	0,99649804
BF50_.TC75	0,00176821	0,10386682	0,68416385
BF100_.TC25	0,00066434	0,08066251	0,80314869
BF100_.TC50	0,00016665	0,03725806	0,90065576
BF100_.TC75	0,00090866	0,08805994	0,77063328
BF250_.TC25	9,11E-07	0,00330067	0,99263644
BF250_.TC50	0,00038815	-0,0642489	0,84889742
BF250_.TC75	0,0001651	-0,0438585	0,9011169
BF500_.TC25	0,00053411	0,08699986	0,82314461
BF500_.TC50	1,04E-05	0,01183635	0,97511471
BF500_.TC75	0,00017905	-0,0519221	0,89704698
BF750_.TC25	0,00044115	0,08731749	0,83904233
BF750_.TC50	5,97E-06	0,00998434	0,98115257
BF750_.TC75	1,98E-05	-0,0191266	0,9656642
BF1000_.TC25	0,00014299	-0,0520943	0,90794579
BF1000_.TC50	0,00052303	-0,0982387	0,82495827
BF1000_.TC75	0,00038419	-0,0890456	0,84966161

Tabela 4. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Baetodes*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00342082	-0,2917174	0,57136734
BF50_.TC50	0,00763026	-0,3882178	0,39740046
BF50_.TC75	3,53E-05	-0,0251694	0,95416238
BF100_.TC25	0,0072503	0,45678117	0,40945432
BF100_.TC50	0,00054731	0,11574173	0,82100807
BF100_.TC75	0,00037875	0,09745585	0,85071792
BF250_.TC25	0,02452288	0,92832119	0,12759446
BF250_.TC50	0,01290235	0,63496942	0,27049322
BF250_.TC75	0,00996564	0,58410358	0,33318491
BF500_.TC25	0,03045631	1,12615137	0,08901972
BF500_.TC50	0,02247331	0,94285057	0,14488657
BF500_.TC75	0,01778188	0,88698207	0,19524326
BF750_.TC25	0,04125054	1,447364	0,04718265
BF750_.TC50	0,03391269	1,29006705	0,07247995
BF750_.TC75	0,0297887	1,27112291	0,09265388
BF1000_.TC25	0,04179954	1,52680723	0,04570532
BF1000_.TC50	0,03684065	1,41330475	0,06100818
BF1000_.TC75	0,03408595	1,43774279	0,07174163

Tabela 5. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Caenis*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	1,25E-05	0,01990142	0,97276141
BF50_.TC50	0,00416305	-0,324026	0,5322656
BF50_.TC75	0,01955003	-0,66897	0,17424063
BF100_.TC25	0,01512664	-0,7455378	0,23255315
BF100_.TC50	0,02678371	-0,9149052	0,11110086
BF100_.TC75	0,03144271	-1,0033694	0,08392569
BF250_.TC25	0,03304998	-1,2177733	0,07627755
BF250_.TC50	0,0291791	-1,0790029	0,09611116
BF250_.TC75	0,01861868	-0,9021524	0,18496205
BF500_.TC25	0,02400433	-1,1297211	0,13174348
BF500_.TC50	0,02023407	-1,0109257	0,16681528
BF500_.TC75	0,01408915	-0,8921473	0,24938768
BF750_.TC25	0,02086701	-1,1632185	0,16026159
BF750_.TC50	0,02071327	-1,1392625	0,16182636
BF750_.TC75	0,0182493	-1,1242247	0,18942169
BF1000_.TC25	0,01806469	-1,13418	0,19169669
BF1000_.TC50	0,01707789	-1,0873203	0,20440609
BF1000_.TC75	0,01335104	-1,0167621	0,26226604

Tabela 6. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Camelobaetidius*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00036549	-0,07942	0,85332434
BF50_.TC50	0,01129101	-0,3933391	0,30281976
BF50_.TC75	0,00194219	-0,1554195	0,66985319
BF100_.TC25	2,26E-06	0,00671148	0,98841151
BF100_.TC50	0,00551155	-0,3059177	0,47222529
BF100_.TC75	0,00196373	-0,1848285	0,66813429
BF250_.TC25	0,00022188	0,07354749	0,88546624
BF250_.TC50	0,00024812	-0,0733399	0,87893289
BF250_.TC75	2,30E-08	-0,0007391	0,99882986
BF500_.TC25	0,00123501	0,18888148	0,73391527
BF500_.TC50	0,00060466	0,12881349	0,81202787
BF500_.TC75	0,00181097	0,2357638	0,68057252
BF750_.TC25	0,00513821	0,42546526	0,48766715
BF750_.TC50	0,00460328	0,39587657	0,51129936
BF750_.TC75	0,00770212	0,53834662	0,3951784
BF1000_.TC25	0,00836033	0,56872899	0,37561896
BF1000_.TC50	0,00799072	0,54822683	0,38642973
BF1000_.TC75	0,01199019	0,71023447	0,28822789

Tabela 7. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Farrodes*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00268904	-0,2205118	0,61583283
BF50_.TC50	0,00882728	-0,3560039	0,36255308
BF50_.TC75	0,00091384	0,10912777	0,76999837
BF100_.TC25	0,00393792	0,28701128	0,54358924
BF100_.TC50	0,00061181	0,10433198	0,81094043
BF100_.TC75	0,00433256	0,28102206	0,52401657
BF250_.TC25	0,00501132	0,35778657	0,49310509
BF250_.TC50	0,00185946	0,20551705	0,67655977
BF250_.TC75	0,00108831	0,16456964	0,7496633
BF500_.TC25	0,00242236	0,27077759	0,63393036
BF500_.TC50	0,00125477	0,18994434	0,73187603
BF500_.TC75	0,0001108	0,05969309	0,9189274
BF750_.TC25	0,00865847	0,56535243	0,36720317
BF750_.TC50	0,00576733	0,45358019	0,46209509
BF750_.TC75	0,00226577	0,2988859	0,64513166
BF1000_.TC25	0,00862777	0,5914028	0,36805772
BF1000_.TC50	0,00699512	0,52505581	0,41785017
BF1000_.TC75	0,00352945	0,39444148	0,56531044

Tabela 8. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Paracloeodes*.

Model	R ²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00394517	-0,2357775	0,54321772
BF50_.TC50	0,0036413	-0,2018396	0,55920165
BF50_.TC75	0,00010986	-0,0334016	0,91926772
BF100_.TC25	0,00142647	0,15248722	0,71485915
BF100_.TC50	9,53E-05	0,03634787	0,92479466
BF100_.TC75	0,00155957	0,14883587	0,70244989
BF250_.TC25	0,00097393	0,13923542	0,76277265
BF250_.TC50	0,00023479	0,06446653	0,88220391
BF250_.TC75	0,00081744	0,1259031	0,78214972
BF500_.TC25	0,00218889	0,22721806	0,65080333
BF500_.TC50	0,00222309	0,22318288	0,64826548
BF500_.TC75	0,00298092	0,27332149	0,59726759
BF750_.TC25	0,00627121	0,42472827	0,4431104
BF750_.TC50	0,00622578	0,41600698	0,44477209
BF750_.TC75	0,00884688	0,52134999	0,36201842
BF1000_.TC25	0,0071472	0,47515887	0,41281666
BF1000_.TC50	0,00837226	0,50706771	0,37527732
BF1000_.TC75	0,01308413	0,6704068	0,26712244

Tabela 9. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Terpides*.

Model	R ²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00024882	-0,0405284	0,87876325
BF50_.TC50	0,00043031	0,04749181	0,84100571
BF50_.TC75	0,00695559	0,18190884	0,41917352
BF100_.TC25	0,02003104	0,39111465	0,16898114
BF100_.TC50	0,02947259	0,43752591	0,09442975
BF100_.TC75	0,03744802	0,49919389	0,05887675
BF250_.TC25	0,0690489	0,80244103	0,009695
BF250_.TC50	0,07456006	0,78630984	0,00710869
BF250_.TC75	0,08308273	0,86878984	0,00440112
BF500_.TC25	0,05158486	0,75499046	0,02605712
BF500_.TC50	0,05118302	0,73298398	0,02666125
BF500_.TC75	0,050288	0,76838757	0,02805878
BF750_.TC25	0,0437627	0,76795747	0,04080269
BF750_.TC50	0,04399491	0,75692799	0,04025985
BF750_.TC75	0,03973106	0,75622144	0,05153535
BF1000_.TC25	0,0308529	0,67572282	0,08693311
BF1000_.TC50	0,03235116	0,68224334	0,07950788
BF1000_.TC75	0,03091098	0,70529705	0,08663193

Tabela 10. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Thraulodes*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00585562	-0,353024	0,45867803
BF50_.TC50	0,01001328	-0,4113528	0,33202643
BF50_.TC75	0,00049053	-0,0867394	0,8304011
BF100_.TC25	4,01E-06	0,00993977	0,98454576
BF100_.TC50	0,00076603	-0,1266532	0,78894598
BF100_.TC75	7,24E-06	0,01245943	0,97924869
BF250_.TC25	0,00225504	0,26038135	0,64591667
BF250_.TC50	0,00061379	0,12810047	0,81064016
BF250_.TC75	0,00079882	0,15296148	0,78458374
BF500_.TC25	0,0006374	0,15069029	0,80710248
BF500_.TC50	0,0003074	0,10199645	0,86536418
BF500_.TC75	0,00072826	0,16603176	0,79409617
BF750_.TC25	0,00163467	0,26650121	0,69571371
BF750_.TC50	0,00181053	0,27571142	0,68060945
BF750_.TC75	0,00279095	0,35988037	0,60921309
BF1000_.TC25	0,00149874	0,26741301	0,70804294
BF1000_.TC50	0,00223779	0,32218319	0,64718202
BF1000_.TC75	0,00417712	0,46553505	0,53157251

Tabela 11. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Traverhyphes*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,01314259	-0,6608165	0,26604923
BF50_.TC50	0,02546909	-0,819701	0,12038747
BF50_.TC75	0,00586909	-0,3748809	0,45815987
BF100_.TC25	0,0019982	-0,2771358	0,66540731
BF100_.TC50	0,00936816	-0,5534045	0,34818314
BF100_.TC75	0,00223406	-0,2735412	0,6474572
BF250_.TC25	0,00180806	0,29131442	0,68081566
BF250_.TC50	1,09E-05	0,02135086	0,97450646
BF250_.TC75	1,11E-05	0,02250451	0,97432772
BF500_.TC25	0,00426121	0,48681942	0,5274607
BF500_.TC50	0,00199203	0,32441494	0,66589306
BF500_.TC75	0,00074691	0,21008949	0,79153555
BF750_.TC25	0,00892357	0,77799231	0,35993678
BF750_.TC50	0,00513427	0,58011436	0,48783461
BF750_.TC75	0,00167932	0,34879585	0,69179357
BF1000_.TC25	0,00812545	0,77797413	0,38243924
BF1000_.TC50	0,00480153	0,58966493	0,50231968
BF1000_.TC75	0,00158114	0,3578676	0,70049617

Tabela 12. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Tricorythodes*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,02703326	-0,6313305	0,10942742
BF50_.TC50	0,05262423	-0,78489	0,02455847
BF50_.TC75	0,0233078	-0,4976518	0,13755204
BF100_.TC25	0,02455034	-0,6470966	0,12737878
BF100_.TC50	0,04148695	-0,7757799	0,0465405
BF100_.TC75	0,01870334	-0,5272329	0,18395699
BF250_.TC25	0,01376877	-0,5355135	0,2548807
BF250_.TC50	0,01976463	-0,6050246	0,17187157
BF250_.TC75	0,0117451	-0,4881754	0,2932394
BF500_.TC25	0,00838861	-0,455002	0,37480949
BF500_.TC50	0,00892978	-0,4575516	0,35976881
BF500_.TC75	0,00529433	-0,3725991	0,4811113
BF750_.TC25	0,00136511	-0,2027017	0,7208004
BF750_.TC50	0,00166811	-0,2202693	0,69277186
BF750_.TC75	0,00056428	-0,1346854	0,81830111
BF1000_.TC25	2,97E-07	-0,0031307	0,99579869
BF1000_.TC50	4,84E-06	-0,0124744	0,98302328
BF1000_.TC75	0,00027231	0,0989323	0,87321357

Tabela 13. Resultado das análises dos diferentes modelos com o gênero *Ulmeritoides*.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00170027	0,17097749	0,68997459
BF50_.TC50	0,00275321	0,1938688	0,61164676
BF50_.TC75	0,00264298	0,18096494	0,61887668
BF100_.TC25	0,00121433	-0,1554111	0,73606998
BF100_.TC50	0,00213247	-0,1899316	0,65504206
BF100_.TC75	0,00034754	-0,0776096	0,8569331
BF250_.TC25	0,0039005	-0,3077908	0,54551367
BF250_.TC50	0,0037832	-0,2858452	0,55162973
BF250_.TC75	0,00284194	-0,259315	0,60595733
BF500_.TC25	0,00496125	-0,3778651	0,49527812
BF500_.TC50	0,00449543	-0,3505725	0,5163004
BF500_.TC75	0,00310794	-0,30828	0,5895486
BF750_.TC25	0,00320549	-0,3354231	0,58375751
BF750_.TC50	0,00411605	-0,3736408	0,53459431
BF750_.TC75	0,00415891	-0,394852	0,53247012
BF1000_.TC25	0,00241214	-0,3049178	0,63464726
BF1000_.TC50	0,00391365	-0,3829533	0,54483618
BF1000_.TC75	0,0043872	-0,428815	0,52140558

Tabela 14. Resultado das análises dos diferentes modelos com a Riqueza.

Model	R²	Estimates	p. values
BF50_.TC25	0,00278209	0,07007427	0,60623138
BF50_.TC50	0,00079825	-0,0332663	0,78204346
BF50_.TC75	0,01939801	0,15517278	0,16831953
BF100_.TC25	0,02756362	0,23837794	0,10239697
BF100_.TC50	0,01168395	0,14171206	0,28801028
BF100_.TC75	0,03337118	0,24010525	0,06896811
BF250_.TC25	0,04978992	0,34922494	0,02581775
BF250_.TC50	0,03278068	0,26542042	0,07140339
BF250_.TC75	0,03347701	0,27877055	0,06743546
BF500_.TC25	0,05575774	0,39819849	0,01748901
BF500_.TC50	0,04382052	0,34225149	0,03552391
BF500_.TC75	0,02982407	0,29793115	0,08412815
BF750_.TC25	0,07767984	0,5173335	0,00460419
BF750_.TC50	0,06181898	0,45086572	0,01174554
BF750_.TC75	0,04428184	0,40009453	0,03391312
BF1000_.TC25	0,06377174	0,49199331	0,01072026
BF1000_.TC50	0,05553909	0,4499463	0,01727547
BF1000_.TC75	0,04550266	0,42890968	0,03146343

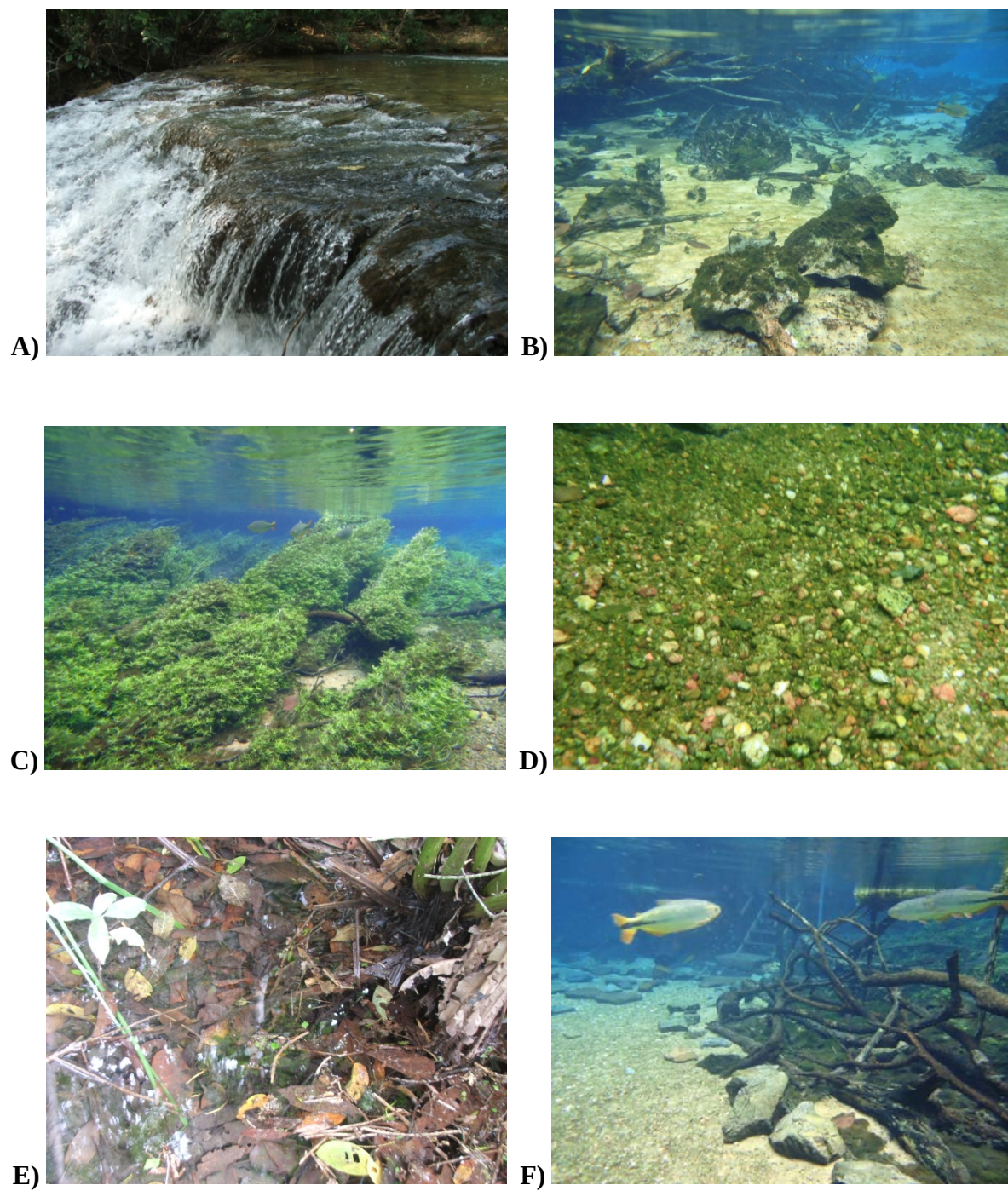


Figura 4. Tipos de substratos amostrados nos diferentes sítios de coleta. A) afloramento rochoso, B) rochas calcárias, C) plantas aquáticas, D) cascalho, E) banco de folhas e F) galhos e troncos. Fotos: Fabio Henrique da Silva.

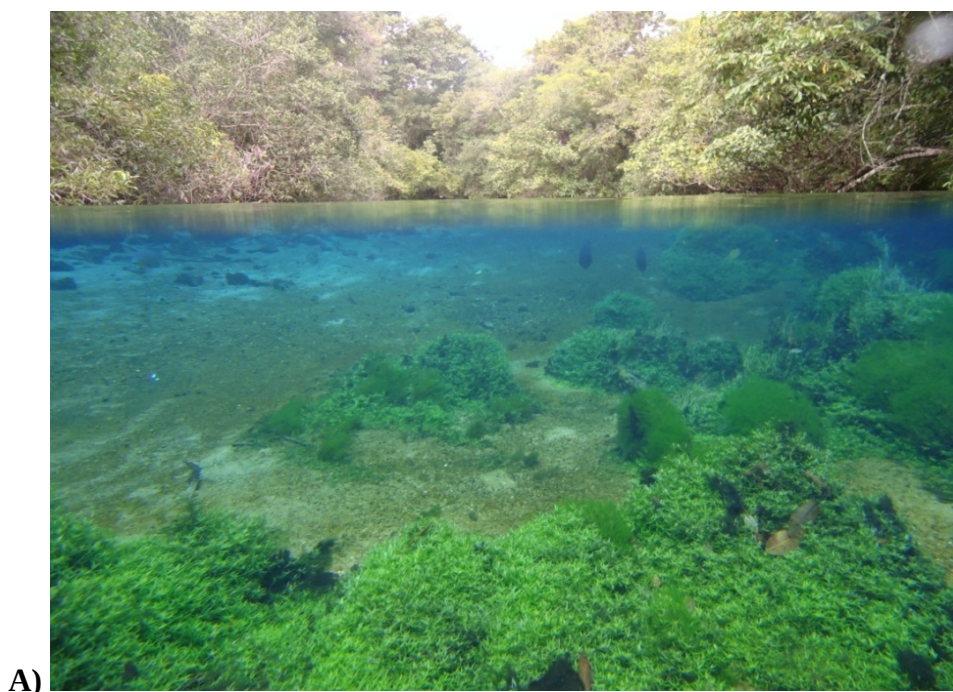


Figura 5. Heterogeneidade ambiental em sítios de coleta. A) Rio Olho d'água, Jardim - MS e B) Rio Mimoso, Bonito – MS. Fotos: Fabio Henrique da Silva.



A)



B)

Figura 6. Heterogeneidade ambiental em sitios de coleta. A) Rio Sucuri, Bonito - MS e B) Rio Betione, Bodoquena – MS. Fotos: Fabio Henrique da Silva.

Considerações Finais

O presente trabalho contribui com um avanço significativo para lista de espécies registradas para Mato Grosso do Sul e lista inédita de espécies do Planalto da Bodoquena, ressaltando a área estudada como um importante habitat para Ephemeroptera, incluindo seu potencial para novas espécies e novos registros para o Brasil.

Os resultados do estudo suportam marginalmente suas predições, considerando que a porcentagem de explicação dos modelos foi relativamente baixa. Detectamos evidências fracas que os grupos de insetos que dependem diretamente de floresta, como os fragmentadores, responderam à uma maior definição operacional de floresta, enquanto para grupos que não dependem diretamente da floresta, como os coletores e raspadores essa definição pode ser menor.

Essa mesma variação foi observada com o tamanho dos buffers, de modo que o grupo funcional dos fragmentadores apresentou maior relação com tamanho de buffer intermediários, e o grupo funcional dos coletores apresentou maior relação com buffers menores, refletindo as condições de paisagem local. Por outro lado, os raspadores demonstraram maior relação com buffers maiores, que podem refletir a estrutura da paisagem da bacia de drenagem.

Verificamos que não há uma definição de escala ideal a ser trabalhada e uma única definição do tamanho do buffer e a definição operacional de floresta, pode levar a interpretações equivocadas. Diferentes respostas ao habitat dificultam uma definição para os diferentes grupos funcionais. Deste modo, nossos resultados suportam a idéia que a complexidade nas relações entre as espécies e a paisagem são reflexo das características biológicas e ecológicas das espécies, que podem afetar o efeito da escala. Assim, recomendamos incluir o procedimento de testar para diferentes métricas e classificações e não assumir a priori escalas.

O trabalho traz implicações para o planejamento amostral e para a conservação, demonstrando a necessidade de se testar as escalas a serem trabalhadas e a necessidade de descrever qual a definição operacional de floresta utilizada em cada análise, a fim de evitar erros de interpretações e resultados equivocados, assim como na comparação de resultados em trabalhos futuros.