

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS
MISSÕES

URI – CAMPUS DE ERECHIM

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

WANESSA DELIBERALLI

ASPECTOS ECOLÓGICOS DE ASSEMBLEIAS DE CHIRONOMIDAE (INSECTA,
DIPTERA) EM RIACHOS SUBTROPICAIS

ERECHIM, MARÇO 2019.

WANESSA DELIBERALLI

ASPECTOS ECOLÓGICOS DE ASSEMBLEIAS DE CHIRONOMIDAE (INSECTA,
DIPTERA) EM RIACHOS SUBTROPICAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ecologia (Área de Concentração: Gestão e Conservação Ambiental).

Linha de Pesquisa: Ecologia e conservação da biodiversidade

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rozane Maria Restello;

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Silvia Vendruscolo Milesi

ERECHIM, MARÇO 2019.

D353a Deliberalli Wanessa

Aspectos ecológicos de assembleias de chironomidae (Insecta, Diptera)
em riachos subtropicais / Wanessa Deliberalli. - 2019.
68 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai
e das Missões, Erechim, 2019.

“Orientação: Rozane Maria Restello; Silvia Vendruscolo Milesi”

1. Biodiversidade 2. Variáveis ambientais 3. Escala temporal 4. Ecologia
I. Título

C.D.U.: 504.06

Catálogo na fonte: bibliotecária Sandra Milbrath CRB 10/1278

WANESSA DELIBERALLI

ASPECTOS ECOLÓGICOS DE ASSEMBLEIAS DE CHIRONOMIDAE (INSECTA,
DIPTERA) EM RIACHOS SUBTROPICAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ecologia. Área de Concentração: Gestão e Conservação Ambiental.

BANCA EXAMINADORA

ROZANE MARIA RESTELLO

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim

SILVIA VENDRUSCOLO MILESI

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim

SÓNIA RAQUEL QUINÁS SERRA

Universidade de Coimbra, Portugal

CRISTIANE BIASI

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim

RODRIGO FORNEL

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim

Erechim, março 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família. Minha mãe, que as vezes não compreendia, mas sempre aceitava minhas ausências ao longo desses anos de estudo. Ao meu pai (*in memoriam*), cuja força de vontade que me ensinou a ter em vida fez com que eu chegasse até o fim de mais essa jornada. Ao meu irmão, com quem eu sempre compartilho todas alegrias e tristezas. À minha prima Paula, que sempre me recebe de braços abertos e me ajudou em tantos momentos. À minha prima Viviana, que com a frase “que não se tenha pressa, mas que não se perca tempo” me abriu as portas de um novo mundo.

Agradeço a minha orientadora de tantos anos, Profa. Rozane M. Restello. Obrigada por esses seis anos carregados de ensinamentos e paciência que tanto me ajudaram a crescer. Ao Prof. Luiz U. Hepp, que ao longo desses mesmos seis anos tanto me ensinou com seus comentários de revisão. À Profa. Silvia V. Milesi, minha coorientadora, obrigada por ter aceitado embarcar nesse barco. Espero ser uma profissional tão incrível quanto vocês!

De forma geral, agradeço a CAPES pela concessão da bolsa e aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ecologia da URI, essenciais para a minha formação ao longo destes anos.

Agradeço à Maiane e Rayana que aguentaram, sempre com uma palavra de apoio na ponta da língua, minhas crises existenciais. Não é exagero quando eu falo que não estaria aqui hoje se não fosse por vocês. Obrigada por desde o início terem me convencido de que eu era capaz. Vocês são os presentes que a vida acadêmica me deu. Amo vocês!

Aos meus amigos de laboratório, que eu levo pra vida. Cristiane, Lucas, Mariana, Mayara, Patrícia e Rafael. Obrigada por todos os mates frescos e bem feitos, pelas risadas, almoços, jantas, presentes de amigo secreto... Esses anos teriam sido muito mais duros de enfrentar se não fosse a presença de vocês.

Às minhas colegas de mestrado, pelos ombros amigos disponíveis a qualquer momento para chorar as dores e alegrias da pós-graduação. Em especial, Priscila e Isabel, amizades que carrego desde a graduação e que só se fortaleceram nesses dois anos. Que o caminho de vocês daqui pra frente seja ainda mais lindo, meninas. Bom início de vida nova para vocês!

Às minhas amigas “de longe”, que com o advento da internet se fazem tão presentes quanto as “de perto”. Ana Luisa, Chiara, Ellen, Emilly, Mariana, Marianny e Yasmin. Prometo que logo eu paro de falar sobre a dissertação e volto a ter papo sobre o novo episódio do seriado que é o “hype” mais recente. Obrigada por me mostrarem que distância não existe quando se tem carinho, por terem aparecido quando eu mais precisei e por continuarem por perto. Eu amo vocês!

Enfim... Meu muito obrigada a todos que de alguma forma ou de outra, científica ou não cientificamente, me ajudaram na construção deste trabalho.

Aspectos ecológicos de assembleias de Chironomidae (Insecta, Diptera) em riachos subtropicais

Discente: Wanessa Deliberalli

Orientadora: Rozane Maria Restello

Coorientadora: Silvia Vendruscolo Milesi

22 de Março, 2019

Resumo – O declínio na biodiversidade das comunidades aquáticas tem sido frequentemente relatado como resultado das diversas atividades humanas. Como a fauna de invertebrados nos ecossistemas lóticos é composta por diferentes grupos de insetos aquáticos, várias facetas da diversidade têm sido simultaneamente quantificadas dentro de uma mesma comunidade (e.g. diversidade taxonômica e funcional). Em escalas espaciais, a variação de insetos aquáticos depende da distribuição de recursos. No entanto, distinções claras na diversidade de macroinvertebrados bentônicos também podem ser encontradas ao longo de escalas temporais, como quando avaliados períodos de chuva e seca. Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos efeitos da escala temporal sobre a distribuição de organismos pertencentes à família Chironomidae utilizando abordagens relacionadas a diversidade taxonômica e atributos funcionais. Para tanto, foram desenvolvidos dois estudos. O primeiro teve como objetivo analisar se há variação temporal nas variáveis ambientais assim como nas assembleias de Chironominae, Orthocladiinae e Tanypodinae e determinar a contribuição da diversidade alfa e beta numa escala temporal sobre estas subfamílias. Turbidez, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total variaram temporalmente, assim como a abundância e riqueza de Chironominae e Tanypodinae. A escala temporal explicou significativamente a variação de Chironominae, enquanto para Tanypodinae foram a escala temporal, precipitação, condutividade e OD. O ano de 2014 apresentou maior contribuição para a diversidade β nas três subfamílias. Para a diversidade α , 2013 apresentou maior contribuição para Chironominae, 2011 para Orthocladiinae e 2011 e 2013 apresentaram contribuição igual para Tanypodinae. O segundo trabalho teve como objetivo verificar se os atributos funcionais de Chironomidae variam ao longo do tempo e analisar quais características ambientais e morfológicas dos riachos exercem influência sobre os atributos em uma escala temporal. Cinco categorias de atributos apresentaram variação temporal: relação com o substrato pedra e folha; estação de emergência no inverno, verão e outono. Os anos de 2010 e 2012 estiveram relacionados a presença de pastagem/pousio, vegetação e organismos com emergência no verão. Já 2011, 2013 e 2014 estiveram relacionados a turbidez, oxigênio dissolvido, declividade média, agricultura e organismos com emergência no outono, tubo ausente, relação com o substrato folha e hábito alimentar filtrador.

Palavras-chave: atributos funcionais, variáveis ambientais, escala temporal.

Ecological aspects of Chironomidae (Insecta, Diptera) assemblages in subtropical streams

Student: Wanessa Deliberalli

Advisers: Rozane Maria Restello (Silvia Vendruscolo Milesi)

March 22, 2019

Abstract – The decline in biodiversity of aquatic communities has been often reported as a result of different human activities. As the invertebrate fauna in lotic ecosystems are composed from different group of aquatic insects, different facets of diversity have been simultaneously quantified (e.g. taxonomic and functional diversity). In spatial scales, the aquatic insects variation depends on the distribution of resources. However, distinctions can also be found along time scales, such as when evaluating rainy and dry periods. The aim of this work was to evaluate the influence of temporal scale on the distribution of Chironomidae family using approaches based in taxonomic diversity and functional attributes. Therefore, two studies were developed. The first one had as objective to analyze if there is temporal variation in the environmental variables as well as in the assemblages of Chironominae, Orthocladiinae and Tanypodinae and to determine the contribution of the alpha and beta diversity in a temporal scale in this subfamilies. Turbidity, dissolved oxygen and total organic carbon varied temporarily, as the abundance and richness of Chironominae and Tanypodinae. The temporal scale significantly explained the variation of Chironominae, while for Tanypodinae were the temporal scale, precipitation, conductivity and OD. The year of 2014 showed greater contribution to the β diversity in the three subfamilies. For the α diversity, 2013 presented the highest contribution to Chironominae, 2011 for Orthocladiinae and 2011 and 2013 presented equal contribution to Tanypodinae. The second work had as objective verify if the functional attributes of Chironomidae vary over time and to analyze which environmental and morphological characteristics of the streams exert influence on the attributes in a temporal scale. 5 categories of attributes presented significant variation between the years: relation with the substrate: stone and leaf; emergence season: winter, summer and fall. The years of 2010 and 2012 were related to the presence of pasture / fallow, vegetation and organisms with emergence in the summer. While 2011, 2013 and 2014 were related to turbidity, dissolved oxygen, declivity, agriculture and organisms with emergence in the fall, tube absent, relation with leaf substrate and filtering habit. Negative and positive relationships between the environmental and morphological variables were observed for organisms that inhabit the sludge and those who has winter emergence.

Key-words: functional attributes, environmental variables, temporal scale.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Média $\pm$ erro padrão das variáveis ambientais mensuradas nos riachos estudados entre os anos de 2010 a 2014. Os valores de pluviosidade são apresentados como o acumulado para o período de 30 dias que antecederam as coletas. CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; COT: Carbono orgânico total..... 31

Tabela 2: Seleção de variáveis físico-químicas significativas para explicar a variação na composição de Chironominae, Orthocladiinae e Tanypodinae definidas a partir de testes de permutação..... 35

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Atributos funcionais, respectivas categorias e códigos utilizados para os gêneros de Chironomidae coletados em riachos do Alto Uruguai/RS entre 2010 e 2014..... 50

Tabela 2: Resultado das análises de variância para os atributos funcionais em relação aos anos de coleta. * indica variação significativa ($p < 0,05$)..... 52

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1: Localização geográfica dos riachos onde realizamos o estudo entre os anos de 2010 a 2014. Erechim (E), Faxinalzinho (F), Três Arroios (TA) e Marcelino Ramos (MR)..... 29

Figura 2: Box-plots da variação na abundância e riqueza de organismos pertencentes as subfamílias A e B) Chironominae; C e D) Orthocladiinae e E e F) Tanypodinae entre os anos de 2010 a 2014 nos riachos de Erechim, Faxinalzinho, Marcelino Ramos e Três Arroios. RS..... 32

Figura 3: Porcentagem de contribuição das diversidades alpha e beta para a diversidade regional amostrada durante o período de estudo (2010-2014). A) Subfamília Chironominae; B) Subfamília Orthocladiinae; C) Subfamília Tanypodinae..... 33

Figura 4: Análise de Redundância (RDA) entre a composição de cada subfamília os anos de estudo e as variáveis físico-químicas. Precipitação; Temperatura; Condutividade Elétrica; Carbono orgânico total (COT), Oxigênio Dissolvido (OD); Turbidez. A) Subfamília Chironominae; B) Subfamília Orthocladiinae; C) Subfamília Tanypodinae..... 34

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização dos riachos nos municípios de Erechim (E), Faxinalzinho (F), Marcelino Ramos (MR) e Três Arroios (TA), Rio Grande do Sul, onde o estudo foi realizado..... 47

Figura 2: Análise de RLQ definida pelo eixo 1 e eixo 2, onde: A) Anos de estudo; B) Variáveis morfológicas e ambientais dos riachos; C) Atributos funcionais; D) Gêneros de Chironomidae..... 51

Figura 3: Box-plots entre os atributos funcionais e os anos. A) Relação substrato folha; B) Relação substrato pedra; C) Estação de emergência inverno; D) Estação de emergência verão; E) Estação de emergência outono..... 53

Figura 4: Análise *fourth-corner* demonstrando a relação entre os atributos funcionais e as variáveis ambientais/morfológicas. Quadrados vermelhos expressam relação positiva. Quadrados azuis expressam relação negativa. O significado dos códigos dos atributos funcionais pode ser encontrado na tabela 1..... 54

SUMÁRIO

1 Introdução geral.....	13
2 Objetivo e estrutura da dissertação.....	17
 Capítulo I Efeito da escala temporal sobre a diversidade biológica de subfamílias de Chironomidae (Insecta, Diptera) em riachos subtropicais.....	
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Área de estudo.....	28
2.2 Coleta e identificação dos Chironomidae.....	29
2.3 Variáveis ambientais.....	29
2.4 Análise dos dados.....	30
3 RESULTADOS.....	31
3.1 Variáveis ambientais.....	31
3.2 Assembleia de Chironomidae e diversidade.....	31
3.3 Efeito temporal das variáveis ambientais.....	33
4 DISCUSSÃO.....	35
5 AGRADECIMENTOS.....	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
 Capítulo II Relacionando atributos funcionais de Chironomidae (Insecta, Diptera) com características morfológicas e ambientais de riachos ao longo de 5 anos.....	
1 INTRODUÇÃO.....	45
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Área de estudo.....	46
2.1.1 Caracterização limnológica.....	47
2.2 Coleta e identificação dos organismos.....	47
2.3 Dados morfométricos.....	48
2.4 Análise dos dados.....	48
2.4.1 Estrutura da assembleia de Chironomidae.....	48
2.4.2 Chironomidae e atributos funcionais.....	48
3 RESULTADOS.....	50
4 DISCUSSÃO.....	54

5 AGRADECIMENTOS.....	57
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
Conclusão geral e Perspectivas.....	63
Apêndices.....	64
Apêndice 1: Média $\pm$ erro padrão das variáveis ambientais mensuradas nos riachos estudados entre os anos de 2010 a 2014. Os valores de pluviosidade são apresentados como o acumulado para o período de 30 dias que antecederam as coletas. CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; COT: Carbono orgânico total.....	65
Apêndice 2: Lista de gêneros identificados durante o período de estudo.....	66
Apêndice 3: Parâmetros morfométricos das áreas de drenagem dos riachos estudados entre os anos de 2010 a 2014. Solo Ex.: Solo Exposto; Agri: Agricultura; Vege: Vegetação; Área D.: Área de drenagem (Km ²); G: Gradiente do canal principal; Dm: Declividade média; RN: Coeficiente de rugosidade.....	68

1. INTRODUÇÃO GERAL

O declínio na biodiversidade das comunidades aquáticas tem sido frequentemente relatado como resultado das diversas atividades humanas (BUDKE et al., 2012). Dentre estas atividades estão as práticas agrícolas, responsáveis por influenciarem negativamente os ecossistemas aquáticos, pois aumentam o aporte de sedimento e a concentração de nutrientes e pesticidas (ALLAN, 2004). Outros fatores, como a ocorrência de eventos climáticos (e. g. *El Niño* e *La Niña*), também podem se relacionar com alterações na diversidade de organismos já que apresentam efeitos significativos sobre as características físico-químicas dos corpos d'água (BLANCO, 2003). Tais características, quando combinadas com dados espaciais (e.g. distância geográfica entre os pontos de coleta), contribuem na explicação da diversidade biológica e na interação dos organismos aquáticos com o ambiente em que estão inseridos (HEPP & MELO, 2013).

Diversidade biológica, segundo Magurran & McGill (2011), é a variação dos organismos vivos de todas as origens dentro de um ecossistema, compreendendo a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas. Uma das maneiras mais antigas de quantificar a diversidade é através da riqueza, abordagem que consiste em identificar o número de espécies registrados para uma comunidade ou área de interesse (PEET, 1974). No entanto, não é fácil saber o número exato de espécies, obtendo-se geralmente apenas uma estimativa de diversidade (MELO, 2009). Em uma bacia hidrográfica, por exemplo, as variações nas comunidades podem ser analisadas sob diferentes hierarquias, como: habitats, ao longo de trechos, por segmentos ou microbacias (HEPP & MELO, 2013). Neste caso, a importância dos fatores (ambientais, espaciais, temporais) para a estruturação das assembleias aquáticas variam de acordo com a escala adotada (COLLIER & CLEMENTS, 2011). Whittaker (1960) foi um dos primeiros pesquisadores a reconhecer esta relação entre a diversidade e a escala espacial, propondo então, o conceito de partição da diversidade em alfa, beta e gama.

De acordo com Whittaker (1960) a diversidade gama é aquela que compreende toda a região geográfica de interesse, podendo ainda ser dividida em dois componentes: alfa e beta. Enquanto o primeiro componente (alfa) seria a diversidade de um determinado local, o segundo componente (beta) seria a variação na composição de espécies entre dois ou mais locais dentro de uma mesma região. De um modo geral, a diversidade beta refere-se à diferenciação das comunidades ao longo de gradientes, ou à taxa de substituição de espécies entre locais (COSTA & MELO, 2008). Esta, podendo representar por meio de

medidas de presença e ausência, a variação dos *taxa* espacialmente e temporalmente (KOLEFF et al., 2003).

Fatores como tipo de substrato, qualidade da água e disponibilidade de alimento são chave na distribuição de organismos em pequenas escalas espaciais (ZILLI et al., 2008; TEJERINA & MALIZIA, 2012; KÖNIG et al., 2013). Já em escalas temporais, a pluviosidade aparece como um dos principais fatores que afetam a distribuição dos organismos aquáticos (NAVA et al., 2015; KIM et al., 2018). Mudanças nos parâmetros ambientais devido ações antropogênicas, ou intensos períodos de chuva, podem levar estes a atuarem como filtros, selecionando assim espécies com atributos específicos, ou seja, características que lhes forneçam a capacidade de permanecer em ambientes degradados e com recursos escassos (RESTELLO et al., 2014). A seleção de organismos resistentes pode diminuir a diversidade beta em escalas menores, o que indica a homogeneização dos habitats, servindo como um bom indicativo para a necessidade de ações de conservação da biodiversidade (WINDBERG et al., 2007). No entanto, como a fauna de invertebrados nos ecossistemas lóticos é composta por diferentes espécies, várias facetas da diversidade têm sido simultaneamente quantificadas dentro de uma mesma assembleia (DEVICTOR et al., 2010).

Dentre estas facetas a diversidade taxonômica é a mais comumente considerada, embora esta não seja capaz de representar totalmente as diferenças funcionais existentes entre as espécies (SCHMERA et al., 2017). Sendo assim, no intuito de fornecer uma ligação entre o funcionamento do ecossistema e a sua biodiversidade, a diversidade funcional (expressada através do uso de atributos funcionais) surge como uma abordagem a ser estudada em conjunto com outras medidas de diversidade (e.g. riqueza, índice de shannon, equitabilidade, etc) (PETCHEY & GASTON, 2006). Segundo McGill et al. (2006) um atributo pode ser caracterizado como uma propriedade bem definida e mensurável de organismos, geralmente medida a nível individual e usada comparativamente entre espécies. De um modo geral, estes atributos são um conjunto de características capazes de determinar onde uma espécie pode viver (LAVOREL et al., 1997). Ou seja, características biológicas como tamanho e formato do corpo, formas de dispersão e hábito alimentar dos macroinvertebrados, podem ser utilizadas como indicadores em sistemas aquáticos (PETCHEY & GASTON, 2006; VIEIRA et al., 2006). Isto porque, tais características são capazes de refletir aspectos como a capacidade de estabilidade ou a resiliência das assembleias em resposta à algum distúrbio ambiental (MAYOTTE et al., 2010; CADOTTE et al., 2011).

Em escalas espaciais, a variação de atributos comportamentais de insetos aquáticos depende da distribuição de recursos (e.g. alimento e abrigo) os quais são claramente influenciados pela heterogeneidade do substrato (MILESI et al., 2016). Para Costa & Melo (2008), os dois principais fatores que afetam a diversidade de organismos são a diferença nas condições ambientais e a distância geográfica. No entanto, distinções claras na diversidade taxonômica e funcional de organismos aquáticos também podem ser encontradas ao longo de escalas temporais, como quando avaliados períodos de chuva e seca (SCHMITT et al., 2016). Aumento nos níveis de água, induzidos pela precipitação, causaram perdas significativas nas comunidades de invertebrados para Feeley et al. (2012) e maior riqueza e densidade foi encontrada durante a estação seca para Ríos-Touma et al. (2011). Para Aspin et al. (2018), atributos como dispersão, locomoção e dieta, foram sensíveis à períodos de seca moderados.

No entanto, poucos estudos levam em consideração escalas de tempo maiores do que um ano. Para a região subtropical pode-se citar o trabalho desenvolvido por Nava et al. (2015), aonde foi avaliada a variação intra e interanual das assembleias de Chironomidae ao longo de três anos. Sabe-se que variações temporais nas comunidades biológicas estão ligadas principalmente a mudanças climáticas (e.g. temperatura e precipitação). Resultados como os citados anteriormente mostram que eventos climáticos severos podem agir como grandes fontes de distúrbio, desempenhando um papel importante na estruturação temporal das comunidades aquáticas, tanto funcionalmente quanto taxonomicamente, uma vez que a composição das espécies pode variar devido suas preferências ambientais. (SIQUEIRA et al., 2012; SALLES et al., 2014).

A abundância e diversidade da fauna de macroinvertebrados são comumente avaliados em estudos de ecologia que levam em consideração a presença destes organismos como ferramenta para avaliar, em especial, a qualidade da água em rios e lagos (TELES et al., 2013; GÓES-SILVA, 2014). Organismos da família Chironomidae (Insecta: Diptera) são conhecidos pela abundância e alta diversidade na maioria dos ecossistemas aquáticos (FERRINGTON, 2008; RESTELLO et al., 2012). Estes organismos participam ativamente do metabolismo intermediário e formam um elo importante entre produtores e consumidores nas cadeias alimentares (HENRIQUES-OLIVEIRA et al., 2003). Além do mais, são organismos capazes de responder a alterações ambientais em escalas locais (riachos), regionais (áreas de drenagem) (DE TONI et al., 2014) e também temporais (NAVA et al., 2015).

O sucesso dessa família em explorar diferentes condições tróficas em ecossistemas aquáticos é consequência, principalmente, da sua grande capacidade de adaptação morfológica, fisiológica e comportamental (TRIVINHO-STRIXINO, 2011). Gêneros pertencentes à essa família podem ocupar uma variedade de nichos com diferentes espécies exibindo diferentes estilos de vida e comportamentos alimentares (FERRINGTON, 2008). Isso ocorre basicamente pela existência de *taxa* tolerantes a variações nos mais diferentes parâmetros como salinidade, pH, profundidade, temperatura e concentração de oxigênio (SCHMIDT et al., 2010). Porém, apesar da capacidade destes organismos em gerar diferentes respostas aos mais variados gradientes ambientais, trabalhos de biomonitoramento geralmente utilizam uma resolução taxonômica ampla para descrever suas assembleias, na maioria das vezes devido à dificuldade na identificação morfológica de larvas além da família e subfamília (HAWKINS & NORRIS, 2000; SERRA et al., 2015).

Em estudos de biomonitoramento, diversos autores tendem a generalizar a categorização da família Chironomidae como indicador apenas para má qualidade ambiental (CALLISTO, 2001; MAUL et al., 2004; BUCKUP et al., 2007). Entretanto, alguns gêneros como *Rheopelopia* (Fittkau, 1962), *Orthocladius* (van der Wulp, 1874) e *Zavrelimyia* (Fittkau, 1962), ocorrem em águas com boa qualidade (MARZIALI et al., 2010; PILLOT, 2013). Outros como *Chironomus* (Meigen, 1803), *Rheocricotopus* (Thienemann & Harnish, 1932) e *Procladius* (Skuse, 1889) são generalistas e podem ser observados em áreas com alta contaminação orgânica e baixos níveis de oxigênio dissolvido (MARZIALI et al., 2010; PRAT et al., 2013). Ou seja, embora a plasticidade desta família seja amplamente conhecida, variáveis ambientais como altitude, temperatura da água, condutividade e pH podem ser fatores limitantes para alguns gêneros ao longo da sua distribuição espacial e temporal (TEJERINA & MALIZIA, 2012).

Sabe-se que em pequenas escalas temporais, fatores que agem localmente (e.g. maiores concentrações de carbono orgânico total e nitrogênio total pela presença de agricultura) tem maior influência sobre a composição das assembleias de Chironomidae (NAVA et al., 2015). Contudo, quando avaliadas escalas espaciais, como bacias hidrográficas, poucos estudos levam em consideração a estrutura dendrítica da paisagem e que muitas vezes acaba influenciando a distribuição das comunidades aquáticas (BENDA et al., 2004). A partir disto, abordagens que utilizem as características funcionais, ou seja, a presença de atributos que permitam um determinado organismo de viver em um determinado ambiente, são cada vez mais utilizadas como alternativa à

avaliação da integridade biológica através da distribuição dos organismos nos ambientes aquáticos (DOLÉDEC & STATZNER, 2010).

Ainda assim, são poucos os trabalhos que discutem a influência temporal e espacial sobre a assembleia de Chironomidae no sul do Brasil. Citam-se trabalhos mais recentes de Restello et al. (2014) que avaliaram a distribuição espacial e temporal de Chironomidae em rios subtropicais no período de um ano, Nava et al. (2015) que avaliaram a variação intra e interanual nas assembleias de Chironomidae ao longo de três anos e Da Silva et al. (2015), que avaliaram se as mudanças nas características abióticas e na dominância de macrófitas, em um período de 11 anos, apresentam influência sobre a assembleia de Chironomidae.

Em relação à diversidade funcional, os atributos podem ajudar a revelar as causas de alguns distúrbios e possibilitar uma visão indireta sobre quais funções do ecossistema podem estar sendo afetadas por perturbações humanas (FEIO & DOLÉDEC, 2012). Isto porque, a compreensão das características funcionais das comunidades permite uma melhor compreensão do funcionamento dos ambientes aquáticos (VIEIRA et al., 2006). Todavia, poucos pesquisadores tentaram quantificar estas informações em relação as assembleias de Chironomidae. Entre eles citam-se trabalhos para regiões da Europa (SERRA et al., 2015) e América do Norte. (POFF et al., 2006). Para o Brasil, cita-se o trabalho de Gomes et al. (2018), que utilizou atributos funcionais de Chironomidae para detectar impactos antropogênicos em reservatórios no estado da Paraíba.

Sendo assim, no intuito de fornecer respostas quanto a diversidade da assembleia de Chironomidae frente a mudanças ambientais em riachos subtropicais, esta proposta visa avaliar a diversidade taxonômica e as características funcionais destes organismos em uma escala temporal de 5 anos (2010 a 2014).

2. OBJETIVO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo geral avaliar a influência dos efeitos da escala temporal sobre a distribuição de organismos pertencentes à família Chironomidae (Diptera), utilizando abordagens relacionadas a diversidade taxonômica e atributos funcionais.

A dissertação apresenta uma Introdução Geral contendo informações conceituais sobre o tema do trabalho e dois capítulos apresentados na forma de manuscritos. O primeiro capítulo **“Efeito da escala temporal sobre a diversidade biológica de subfamílias de Chironomidae (Insecta, Diptera) em riachos subtropicais”** teve como

objetivo analisar a variação temporal nas variáveis ambientais, assim como, nas assembleias de Chironominae, Orthoclaadiinae e Tanypodinae, além de determinar a contribuição da diversidade alfa e beta numa escala temporal sobre estas subfamílias. Este trabalho foi preparado conforme as normas do periódico *Hydrobiologia* (Qualis/CAPES A1 na área de biodiversidade).

O segundo capítulo “**Relacionando atributos funcionais de Chironomidae (Insecta, Diptera) com características morfológicas e ambientais de riachos ao longo de 5 anos**” teve como objetivo verificar se os atributos funcionais de Chironomidae variam ao longo do tempo, e analisar quais características ambientais e morfológicas dos riachos exercem influência sobre os atributos em uma escala temporal. Este trabalho será submetido ao periódico *Freshwater Biology* (Qualis/CAPES A1 na área de biodiversidade).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 35, p. 257-84, 2004.

BENDA, L.; POFF, N. L.; MILLER, D.; DUNNE, T.; REEVES, G.; PESS, G.; POLLOCK, M. The network dynamics hypothesis: how channel networks structure riverine habitats. **Bioscience**, v. 54, n. 5, p. 413–427, 2004.

BUCKUP, L.; BUENO, A. A. P.; BOND-BUCKUP, G.; CASAGRANDE, M.; MAJOLO, F. The benthic macroinvertebrates fauna of highland streams in southern Brazil: Composition, diversity and structure. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 2, p. 294-301, 2007.

BUDKE, J. C.; HEPP, L. U.; DECIAN, V. S.; ZANIN, E. M. Influência dos usos da terra sobre a composição e funcionalidade de comunidades de macroinvertebrados bentônicos: integrando processos entre paisagens, interface ribeirinha e comunidades biológicas. In: SANTOS, J. E.; ZANIN, E. M.; MOSCHINI, L. E. (Org.). **Faces da Polisssemia da Paisagem: Ecologia, Planejamento e Percepção**. São Carlos: Rima, v. 4, p. 311-322, 2012.

CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHEV, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 5, p. 1079-1087, 2011.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001.

- COLLIER, K. J.; CLEMENTS, B. L. Influences of catchment and corridor imperviousness on urban stream macroinvertebrate communities at multiple spatial scales. **Hydrobiologia**, v. 664, p. 35-50, 2011.
- CORTEZZI, S. S.; BISPO, P. C.; PACIENCIA, G. P.; LEITE, R. C. Influência da ação antrópica sobre a fauna de macroinvertebrados aquáticos em riachos de uma região de cerrado do sudoeste do Estado de São Paulo. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 99, n. 1, p.36-43, 2009.
- COSTA, S. S.; MELO, A. S. Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. **Hydrobiologia**, v. 598, n. 1, p. 131-138, 2008.
- DA SILVA, J. S.; ALBERTONI, E. F.; PALMA, C. Temporal variation of phytophilous Chironomidae over a 11-year period in a shallow Neotropical lake in Southern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 742, n. 3, p. 335-342, 2015.
- DE TONI, K.; NAVA, D.; RESTELLO, R. M.; DECIAN, V.; ROVANI, I. L.; HEPP, L. U. Integridade da paisagem e sua influência sobre a composição da comunidade de Chironomidae (Diptera) em riachos de pequena ordem. **Ecologia Austral**, v. 24, n. 3, p. 335-342, 2014.
- DEVICTOR, V.; MOUILLOT, D.; MEYNARD, C.; JIGUET, F.; THUILLER, W.; MOUQUET, N. Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. **Ecology Letters**, v. 13, n. 8, p. 1030-1040, 2010.
- DOLÉDEC, S.; STATZNER, B. Responses of freshwater biota to human disturbances: contribution of J-NABS to development in ecological integrity assessment. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 1, p. 286-311, 2010.
- FEELEY H. B.; DAVIS S.; BRUEN M.; BLACKLOCKE S.; KELLY-QUINN M. The impact of a catastrophic storm event on benthic macroinvertebrate communities in upland headwater streams and potential implications for ecological diversity and assessment of ecological status. **Journal of Limnology**, v. 71, n.2, p. 309–318, 2012.
- FEIO, M.J.; DOLÉDEC, S. Integration of invertebrate traits into predictive models for indirect assessment of stream functional integrity: a case study in Portugal. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 236–247, 2012.
- FERRINGTON, L. C. Global diversity of non-biting midges (Chironomidae: Insecta-Diptera) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, n. 1, p. 447-455, 2008.
- GÓES-SILVA, L. R. Macroinvertebrados como Bioindicadores da Qualidade da Água nos Pontos de Captação para o Abastecimento Urbano no Município de ouro Fino (MG). **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 3, p. 83-91, 2014.
- HANSKI, I. Extinction debt at different spatial scales. **Animal Conservation**, v. 16, n. 1, p. 12-13, 2013.

HAWKINS, C. P.; NORRIS, R. H. Effects of taxonomic resolution and use of subsets of fauna on the performance of RIVPACS-Type models, p.217-228. In: WRIGHT, J. F.; SUTCLIFFE, D. W.; FURSE, M. T. (Eds.) **Assessing the Biological Quality of Freshwater RIVPACS and Other Techniques**. Freshwater Association, Ambleside, Cumbria, UK, 2000.

HAYBACH, A.; SCHÖLL, F.; KÖNIG, B.; KOHMANN, F. Use of biological traits for interpreting functional relationships in large rivers. **Limnologica**, v. 34, n. 4, p. 451-459, 2004.

HENRIQUES-OLIVEIRA, A. L.; NESSIMIAN, J. L.; DORVILLÉ, L. F. M. Feeding habits of Chironomid larvae (Insecta:Diptera) from a stream in the floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 2, p. 269-281, 2003.

HEPP, L. U.; MELO, A. S. Dissimilarity of stream insect assemblages: effects of multiple scales and spatial distances. **Hydrobiologia**, v. 703, n. 1, p. 239-246, 2013.

KIM, D. G.; YOON, T. J.; BAEK, M. J.; BAE, Y. J. Impact of rainfall intensity on benthic macroinvertebrate communities in a mountain stream under the Eas Asian monsoon climate. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 30, n. 1, p. 489-501, 2018.

KOLEFF, P.; GASTON, K. J.; LENNON, J. J. Measuring beta diversity for presence absence data. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, p. 367-382, 2003.

KÖNIG, R.; SANTOS, S. Chironomidae (Insecta: Diptera) of different habitats and microhabitats of the Vacacaí-Mirim River microbasin, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 975-985, 2013.

LAVOREL, S.; MCINTYRE S.; LANDSBERG, J.; FORBES, T. D. A. Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 12, n. 12, p. 474-478, 1997.

MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B. J. **Biological Diversity: Frontiers in measurement and assessment**. Oxford University Press, p. 368, 2011.

MARZIALI, L.; ARMANINI, D. G.; CAZZOLA, M.; ERBA, S.; TOPPI, E.; BUFFAGNI, A.; ROSSARO, B. Responses of Chironomid larvae (Insecta, Diptera) to ecological quality in mediterranean river mesohabitats (South Italy). **River Research and Applications**, v. 26, n. 8, p. 1036-1051, 2010.

MAUL, J. D.; J. L. FARRIS; C. D. MILAM; C. M. COPERS; S. TESTA; D. L. FELDMAN. The influence of stream habitat and water quality on macroinvertebrate communities in degraded streams of northwest Mississippi. **Hydrobiologia**, v. 518, n. 1-3, p. 79-94, 2004.

MCGILL, B.J.; ENQUIST, B. J.; WEIHER, E.; WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 21, n. 4, p. 178-185, 2006.

- MELO, A. S. Explaining dissimilarities in macroinvertebrate assemblages among stream sites using environmental variables. **Zoologia**, v. 26, n. 1, p. 79-84, 2009.
- MENDOZA, G. de; TRAUNSPURGER, W.; PALOMO, A.; CATALAN, J. Nematode distributions as spatial null models for macroinvertebrate species richness across environmental gradients: A case from mountain lakes. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 9, p. 3016-3028, 2017.
- MILESI, S. V.; DOLÉDEC, S.; MELO, A. S. Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. **Freshwater Science**, v. 35, n. 4, p. 1321-1329, 2016.
- NAVA, D.; RESTELLO, R. M.; HEPP, L. U. Intra- and inter-annual variations in Chironomidae (Insecta: Diptera) communities in subtropical streams. **Zoologia**, v. 32, n. 3, p. 207-214, 2015.
- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 37, p. 637-669, 2006.
- PEET, R. K. The Measurement of Species Diversity. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 5, p. 285-307, 1974.
- PETCHEY O. L.; GASTON K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006.
- PILLOT, H. K. M. M. **Chironomidae Larvae- Biology and Ecology of the Aquatic Orthocladinae**, KNNV Publishing, The Netherlands, 320pp, 2013.
- POFF, N. L.; OLDEN, J. D.; VIEIRA, N. K. M.; SIMMONS, M.P.; KONDRATIEFF, B. C. Functional trait niches of North American lotic insects: traits-based ecological applications in light of phylogenetic relationships. **Journal of the American Benthological Society**, v. 25, n. 4, p. 730-755, 2006.
- PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; BARATA, C.; MUNNÉ, A. The combined use of metrics of biological quality and biomarkers to detect the effects of reclaimed water on macroinvertebrate assemblages in the lower part of a polluted Mediterranean river (Llobregat River, NE Spain). **Ecological Indicators**, v. 24, p. 167-176, 2013.
- RESTELLO, R. M.; BIASI, C.; MOUTINHO, P. F.; MORAES, B. de; GABRIEL, G.; HEPP, L. U. Composition and diversity of the Chironomidae in subtropical streams: effects of environmental predictors and temporal analysis. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 2, p. 215-226, 2014.
- RESTELLO, R. M.; HEPP, L. U.; MENEGATTI, C.; DECIAN, V.; HENKE-OLIVEIRA, C. Efeito das características da área de drenagem sobre a distribuição de Chironomidae (Diptera) em riachos do Sul do Brasil. In: SANTOS, J. E.; ZANIN, E. M.; MOSCHINI, L. E. (Eds.). **Faces da Polissemia da Paisagem: Ecologia, Planejamento e Percepção**. São Carlos: Rima, v. 4, p. 324-340, 2012.

- RÍOS-TOUMA, B.; ENCALADA, A. C.; FORNELLS, N. P. Macroinvertebrate Assemblages of an Andean High-Altitude Tropical Stream: The Importance of Season and Flow. **International Review of Hydrobiology**, v. 96, n. 6, p. 667–685, 2011.
- SALLES, F. F.; FERREIRA-JÚNIOR, N. Hábitat e Hábitos, p.39-49. In: HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. (Eds.). **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus, INPA, 724p., 2014.
- SCHEMERA, D.; HEINO, J.; PODANI, J.; ERŐS, T.; DOLÉDEC, S. Functional diversity: a review of methodology and current knowledge in freshwater macroinvertebrate research. **Hydrobiologia**, v. 787, n. 1, p. 27-44, 2017.
- SCHMIDT, S.; WAGNER, B.; HEIRI, O.; KLUG, M.; BENNIKE, O.; MELLES, M. Chironomids as indicators of the Holocene climatic and environmental history of two lakes in Northeast Greenland. **Boreas**, v. 40, n. 1, p. 116–130, 2010.
- SCHMITT, R.; SIEGLOCH, A. E.; DA SILVA, A. L. L.; LISBOA, L. K.; PETRUCIO, M. M. Temporal variation in the Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera community in response to environmental drivers in a subtropical stream. **Journal of Insect Biodiversity**, v. 4, n. 19, p. 1-12, 2016.
- SERRA, S. R. Q.; COBO, F.; GRAÇA, M. A. S.; DOLÉDEC, S.; FEIO, M. J. Synthesising the trait information of European Chironomidae (Insecta: Diptera): Towards a new database. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 282-292, 2015.
- TEJERINA, E. G.; MALIZIA, N. J. Chironomidae (Diptera) larvae assemblages differ along an altitudinal gradient and temporal periods in a subtropical montane stream in Northwest Argentina. **Hydrobiologia**, v. 686, n. 1, p. 41-54, 2012.
- TELES, H. F.; LINARES, M. S.; ROCHA, P. A.; RIBEIRO, A. S. Macroinvertebrados Bentônicos como Bioindicadores no Parque Nacional da Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 15, n. 1,2,3, p. 123-137, 2013.
- TRIVINHO-STRIXINO, S. Chironomidae (Insecta, Diptera, Nematocera) from São Paulo State, Southeast of Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 675-684, 2011.
- VIEIRA, N. K. M.; POFF, N. L.; CARLISLE, D. M.; MOULTON, S. R.; KOSKI, M. L.; KONDRATIEFF, B. C. A database of lotic invertebrate traits for North America: U.S. **Geological Survey Data Series**, 187p., 2006.
- WHITTAKER, R. H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. **Ecological Monographs**, v. 30, n. 3, p. 279-338, 1960.
- WINDBERG, P. C.; LYNCH, T. P.; MURRAY, A.; JONES, A. R.; DAVIS, A. R. The importance of spatial scale for the conservation of tidal flat macrobenthos: an example from New South Wales, Australia. **Biological Conservation**, v. 34, n. 3, p. 310-320, 2007.

ZILLI, F. L.; MONTALTO, L.; MARCHESE, M. R. Benthic invertebrate assemblages and functional feeding groups in the Parana River floodplain (Argentina). **Limnologica**, v. 38, n. 2, p. 159-171, 2008.

CAPÍTULO I

EFEITO DA ESCALA TEMPORAL SOBRE A DIVERSIDADE BIOLÓGICA DE SUBFAMÍLIAS DE CHIRONOMIDAE (INSECTA, DIPTERA) EM RIACHOS SUBTROPICAIS

Wanessa Deliberalli; Luiz U. Hepp; Silvia V. Milesi; Rozane M. Restello.

Manuscrito que será submetido a revista *Hydrobiologia* (Qualis A1, Área de biodiversidade)

Efeito da escala temporal sobre a diversidade biológica de subfamílias de Chironomidae (Insecta, Diptera) em riachos subtropicais

Resumo: Quando analisamos as comunidades temporalmente, as variáveis ambientais são extremamente importantes para a compreensão da distribuição dos organismos. Este trabalho teve como objetivo analisar se há variação temporal nas variáveis ambientais e assembleias de Chironominae, Orthocladiinae e Tanypodinae em riachos do sul do Brasil e determinar a contribuição da diversidade alfa e beta sobre estas subfamílias. Larvas de Chironomidae foram coletadas e valores de temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica e turbidez mensurados nos verões de 2010 a 2014, além de valores de pluviosidade. Também foram coletadas amostras de água para quantificação do teor de Carbono Orgânico Total (COT). Dentre as variáveis ambientais, turbidez, OD e COT variaram temporalmente. O ano 2012 apresentou o menor acumulado de chuva, enquanto o maior foi observado em 2013. Os Orthocladiinae foram os mais abundantes, no entanto sua abundância e riqueza não variaram temporalmente. Chironominae apresentou maior riqueza e assim como a sua abundância, variou significativamente entre os anos de estudo. Para Tanypodinae também foi possível observar variação significativa na abundância e na riqueza. O ano de 2014 apresentou maior contribuição para a diversidade β nas três subfamílias. Para a diversidade α , 2013 apresentou maior contribuição para Chironominae, 2011 para Orthocladiinae e 2011 e 2013 apresentaram contribuição igual para Tanypodinae. Os anos explicaram significativamente a variação de Chironominae, enquanto para Tanypodinae foram os anos, precipitação, condutividade e OD. A variação temporal das subfamílias de Chironomidae indica eficientemente a capacidade destes em serem utilizados como bioindicadores.

Palavras-chave: Variáveis ambientais, Chironominae, Orthocladiinae, Tanypodinae.

Effect of temporal scale on the biological diversity of Chironomidae (Insecta, Diptera) subfamilies in subtropical streams

Abstract: When we analyzed communities temporally, the environmental variables are important for understanding the distribution of organisms. The aims of this work was to analyze if there is temporal variation in environmental variables and Chironominae, Orthocladiinae and Tanypodinae assemblages as well as determinate the contribution of alpha and beta diversity on these subfamilies. Chironomidae larvae were collected and values of temperature, dissolved oxygen (OD), electrical conductivity, turbidity and rainfall values were measured in the summers from 2010 to 2014. Water samples were also collected for quantification of Total Organic Carbon (TOC). Among the environmental variables, turbidity, OD and TOC vary temporarily. 2012 presented the lowest accumulated rainfall, while the highest was observed in 2013. Orthocladiinae were the most abundant, however their abundance and richness did not change temporarily. Chironominae presented greater richness and as well as its abundance, varied significantly between the years of study. For Tanypodinae it was also possible to observe significant variation in abundance and richness. 2014 showed greater contribution to the beta diversity in the three subfamilies. For the alpha diversity, 2013 presented the highest contribution to Chironominae, 2011 for Orthocladiinae and 2011 and 2013 presented equal contribution to Tanypodinae. The years significantly explained the variation of Chironominae, while for Tanypodinae were the years, precipitation, conductivity and OD. The temporal variation of the Chironomidae subfamilies efficiently indicates their ability to be used as bioindicators.

Key-words: Environmental variables, Chironominae, Orthocladiinae, Tanypodinae.

1 Introdução

As comunidades aquáticas são influenciadas por processos que atuam em escalas espaciais e temporais (Restello et al., 2014; Gutiérrez-Fonseca et al., 2018). Em escalas espaciais, a intensa pressão antrópica é a principal responsável pela modificação dos corpos hídricos e das suas comunidades (Hepp et al., 2010; Conroy et al., 2016). Já em escalas temporais, variáveis ambientais como temperatura da água, condutividade e pH atuam frequentemente sobre a distribuição dos organismos (Tejerina & Malizia, 2012). A precipitação também possui efeito decisivo sobre as comunidades, uma vez que afeta a estabilidade e persistência dos organismos no ambiente (Salles et al., 2014). Em relação aos Chironomidae, por exemplo, a capacidade de adaptação morfológica, fisiológica e comportamental destes, em relação a parâmetros como temperatura, pH e concentração de oxigênio dissolvido (Trivinho-Strixino, 2011), podem influenciar sua distribuição ao longo do tempo.

Então, uma vez que as comunidades aquáticas podem ser influenciadas por fatores ambientais que variam entre os anos como as características limnológicas (Nava et al., 2015; Ongaratto et al., 2018), pode-se dizer que alterações nestes ecossistemas irão influenciar a diversidade das suas assembleias. Porém, a relação entre a estrutura da comunidade e fatores ambientais geralmente varia de acordo com o tipo de ecossistema e grupo de organismo estudado (Wu & Loucks, 1995). Assim, estudar a diversidade de uma forma particionada como o proposto por Whittaker (1960), aonde a diversidade total de uma região (gama) pode ser dividida ainda em outros dois componentes: alfa (diversidade local) e beta (variação entre dois locais dentro de uma mesma região), se torna de grande importância para compreender como os fatores espaciais e temporais influenciam o ambiente aquático e moldam suas comunidades (Suárez, 2008).

Quando analisadas em uma escala temporal, alterações na diversidade são normalmente referidas como “*turnover*”, ou seja, a substituição ou a perda de espécies (Baselga, 2010; Magurran, 2013). Segundo Korhonen et al. (2010), a diversidade beta quando analisada em uma escala temporal é influenciada tanto por variáveis ecológicas, físicas e geográficas (e.g. duração da coleta, tamanho e tipo do ecossistema e latitude). Assim, quanto maior a heterogeneidade ambiental, maior será a taxa de substituição de espécies e menor a similaridade entre os locais (Anderson et al., 2011). E isto pode estar relacionado muitas vezes às preferências ecológicas dos organismos, já que grupos específicos podem apresentar características biológicas específicas (Milesi et al., 2016).

Neste sentido, até mesmo para os Chironomidae, grupo que apresenta ampla distribuição e capacidade de tolerância à estressores ambientais (Tokeshi, 1995; Trivinho-Strixino, 2011), torna-se necessário levar em consideração suas particularidades.

Um exemplo disto, é a distinção de preferências ambientais de organismos pertencentes as 3 principais subfamílias de Chironomidae encontradas na região subtropical. Os Chironominae por exemplo, estão relacionados ao funcionamento dos ecossistemas, uma vez que são os processos de decomposição (os quais variam em relação a presença de vegetação, por exemplo) que determinam a disponibilidade de alimento para este grupo (Pillot, 2014). Quanto aos Orthocladiinae, a necessidade de que a disponibilidade de oxigênio e proteção contra a correnteza estejam no seu “ótimo”, faz com que fatores ambientais sejam os principais parâmetros a influenciar estes organismos (Pillot, 2014). E em relação aos Tanypodinae, em sua maioria predadores, ocorrendo em todos os tipos de corpos d’água, as interações entre organismos (e.g predação) parecem ser os principais moduladores destas assembleias (Pillot, 2014). Outro fator importante para a estruturação destas assembleias é a pluviosidade. Isto porque alterações no fluxo da água são uma das principais fontes de variação temporal das assembleias de Chironomidae (Nava et al., 2015; Ríos-Touma et al., 2012).

Sendo assim, temos como objetivos: i) analisar se há variação temporal nas variáveis ambientais, assim como, nas assembleias de Chironominae, Orthocladiinae e Tanypodinae; ii) determinar a contribuição da diversidade alfa e beta numa escala temporal sobre estas subfamílias. Para tanto, testaremos duas hipóteses: i) As variáveis ambientais irão apresentar variação ao longo do tempo e consequentemente influenciarão a composição e estrutura das assembleias; ii) A diversidade beta apresentará maior contribuição para a diversidade gama ao longo dos anos.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

Realizamos o estudo em 10 riachos de pequena ordem ($\leq 2^a$ ordem) localizados no sul do Brasil (27°12' 59" e 28°00' 47" S; 52°48' 12" e 51°49' 34" W) (Figura 1). Todos os riachos estão situados em matriz agrícola (Decian et al., 2009). O clima da região é classificado como subtropical temperado (tipo Cfb de Köppen), com chuvas regulares (precipitação média anual varia entre 1900 e 2200 mm³) e estações bem definidas (temperatura média anual de 18±1°C) (Alvares et al., 2013). A área de estudo pertence ao Bioma Mata Atlântica, sendo caracterizada com uma área de transição entre Floresta

Estacional Sempre Verde com Araucária e Estacional Semidecídua (Oliveira-Filho et al., 2015).

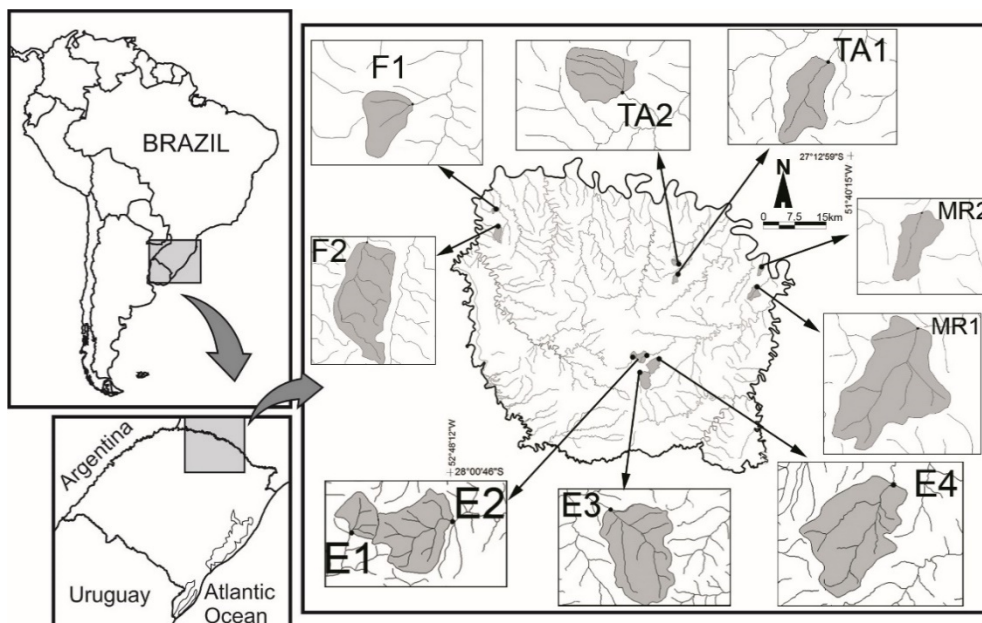


Figura 1. Localização geográfica dos riachos onde realizamos o estudo entre os anos de 2010 a 2014. Erechim (E), Faxinalzinho (F), Três Arroios (TA) e Marcelino Ramos (MR).

2.2 Coleta e Identificação dos Chironomidae

Os organismos foram coletados nos anos de 2010 a 2014 durante o verão, com o auxílio de um amostrador do tipo Surber, com malha de 250 μm e área de 0,09 m^2 , sendo acondicionados ainda em campo em frascos contendo etanol 80%. Após a coleta as amostras foram triadas a fim de separar os organismos da família Chironomidae dos demais grupos. Posteriormente, foram confeccionadas lâminas semipermanentes com solução de Hoyer (Trivinho-Strixino, 2011) e os organismos foram analisados em microscopia óptica com aumento de 1000 vezes. A identificação foi feita até nível taxonômico de gênero utilizando chave de Trivinho-Strixino (2011). O material identificado foi depositado na coleção de Invertebrados Bentônicos do MuRAU (Museu Regional do Alto Uruguai).

2.3 Variáveis Ambientais

Concomitantemente a coleta do material biológico foram mensuradas, com o auxílio de um analisador multiparâmetros Horiba® U50 as seguintes variáveis ambientais: oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), condutividade elétrica (mS cm^{-1}), turbidez (UNT) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$). Também foram coletadas amostras de água para a análise do teor de carbono orgânico total em um Determinador de Carbono Orgânico Total TOC-

VCSH (Shimadzu®). As metodologias para a análise destes parâmetros são descritas em APHA (2012). Para pluviosidade apresentamos o valor acumulado dos 30 dias que antecederam a coleta (INMET).

2.4 Análise dos Dados

As matrizes biológica e ambiental foram transformadas em $\log(x+1)$ a fim de evitar distorções. Para verificar se houve diferença entre as variáveis físico-químicas ao longo dos anos utilizou-se uma Análise de Variância de Medidas Repetidas (RM-ANOVA) com teste Tukey *a posteriori* ($p < 0,05$). Uma Análise de Redundância (RDA) também foi performada a fim de observar quais são as variáveis ambientais que influenciam a variação das assembleias das subfamílias Chironominae, Orthocladiinae e Tanypodinae. Para esta análise foram retirados os gêneros com $< 1\%$ de abundância relativa e a matriz biológica foi transformada usando o método de Hellinger. O Critério de Informação de Akaike (AIC), que é baseado em um teste de permutação, foi utilizado posteriormente a RDA para buscar a identificação de um modelo mais simples que possa explicar a variação na composição de gêneros (Akaike, 1973; Blanchet et al., 2008).

Analizamos a estrutura da comunidade de Chironomidae a partir da abundância (número total de larvas amostradas) e riqueza (número de gêneros identificados). Para observar se estas métricas variaram entre os anos nas assembleias realizamos uma Análise de Variância de Medidas Repetidas (RM-ANOVA) com teste Tukey *a posteriori* ($p < 0,05$).

A fim de determinarmos o percentual de contribuição de cada escala de diversidade (alfa- α e beta- β) para a variação da diversidade total (gama- γ), em cada ano de estudo, utilizamos a abordagem de Contribuição da Diversidade (ContribDiv) (Lu et al., 2007). Tal abordagem baseia-se na diferenciação da diversidade (neste caso medida através da riqueza de espécies), dentro e entre cada unidade de amostragem partindo da ideia de partição da diversidade (Lu et al., 2007). Diferentemente de Whittaker (1960) que propõe que a diversidade gama seria obtida através da multiplicação dos componentes alfa e beta, impossibilitando a atribuição de pesos de maneira equitativa aos diferentes componentes da diversidade (Lande, 1996), a abordagem aditiva permite calcular a contribuição relativa de alfa e beta nas diferentes escalas estudadas (Allan 1975; Lande, 1996). Neste caso, a diversidade alfa é tratada como a média de diversidade dentro da unidade de estudo, enquanto a diversidade beta, ou seja, a diversidade entre unidades é a quantidade média de diversidade não encontrada em uma única unidade escolhida aleatoriamente

(Veech et al., 2002). Sendo assim, a diversidade alfa e beta são proporcionais e podem ser comparadas diretamente (Lu et al., 2007). Todas as análises foram realizadas no ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2015), com auxílio do pacote “vegan” (Oksanen et al., 2017).

3 Resultados

3.1 Variáveis ambientais

Observamos variação temporal apenas para turbidez, oxigênio dissolvido (OD) e carbono orgânico total (COT) ($F_{(4,42)} = 10,0$; $p < 0,001$; $F_{(4,42)} = 6,7$; $p < 0,001$ e $F_{(4,42)} = 7,1$; $p < 0,001$, respectivamente) (Tabela 1). A turbidez e OD apresentaram menores valores em 2010, enquanto COT apresentou menor concentração em 2011 (Tabela 1). A pluviosidade apresentou o maior valor acumulado de chuva em 2011 (Tabela 1).

Tabela 1: Média $\pm$ erro padrão das variáveis ambientais mensuradas nos riachos estudados entre os anos de 2010 a 2014. Os valores de pluviosidade são apresentados como o acumulado para o período de 30 dias que antecederam as coletas. CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; COT: Carbono orgânico total.

Variáveis limnológicas	2010	2011	2012	2013	2014
Temperatura da água (°C)	22,2 $\pm$ 0,8 ^a	20,7 $\pm$ 0,3 ^a	21,5 $\pm$ 1 ^a	22,8 $\pm$ 0,6 ^a	23 $\pm$ 0,8 ^a
CE (mS cm ⁻¹)	0,06 $\pm$ 0,01 ^a	0,07 $\pm$ 0,01 ^a	0,01 $\pm$ 0,002 ^a	0,09 $\pm$ 0,003 ^a	0,012 $\pm$ 0,01 ^a
Turbidez (UNT)	1,3 $\pm$ 0,4 ^a	13,4 $\pm$ 5,5 ^b	6,3 $\pm$ 0,9 ^b	15,7 $\pm$ 6,3 ^b	12 $\pm$ 4 ^b
OD (mg L ⁻¹)	8,2 $\pm$ 0,7 ^a	10,4 $\pm$ 0,3 ^{a,b,c}	9,6 $\pm$ 0,8 ^b	11,9 $\pm$ 1 ^{a,b,c}	14,1 $\pm$ 1 ^c
COT (mg L ⁻¹)	68,4 $\pm$ 40 ^{a,b,c}	17,1 $\pm$ 1,7 ^{a,b}	83,9 $\pm$ 0,09 ^{a,b}	61,28 $\pm$ 18,4 ^{a,b,c}	68,1 $\pm$ 4,6 ^c
Pluviosidade (mm ³)	126,5	194,4	91,2	176,3	152,6

* Médias seguidas de letras diferentes possuem diferença significativa pelo Teste Tukey ($p < 0,05$)

3.2 Assembleia de Chironomidae e Diversidade

Coletamos um total de 5961 larvas de Chironomidae pertencentes a 60 gêneros (Material Suplementar). Deste total, 2540 (42,6%) pertencem a subfamília Orthocladiinae, 2468 (41,4%) a Chironominae e 953 (16%) a Tanypodinae. Especificamente, Orthocladiinae foi mais abundante no ano de 2010 (1679 indivíduos, 54,4% do total), porém não apresentou variação entre os anos ($F_{(4,42)} = 2,11$; $p = 0,09$) (Figura 2C). A abundância de Chironominae foi maior no ano de 2012 (981 indivíduos), apresentando variação entre os anos de 2012 e 2013 ($F_{(4,42)} = 4,8$; $p = 0,002$) (Figura 2A). Tanypodinae foi mais abundante em 2012 (389 indivíduos) e também apresentou variação significativa entre os anos ($F_{(4,42)} = 2,11$; $p = 0,0002$) (Figura 2E).

Do total de gêneros identificados, 23 gêneros pertencem a subfamília Chironominae, 20 são Orthocladiinae e 17 Tanypodinae. Para a subfamília Chironominae, 2012 foi o ano com maior riqueza (10 gêneros). Para Orthocladiinae e Tanypodinae 2014 foi o ano mais rico (18 e 11 gêneros respectivamente). A riqueza de Chironominae variou significativamente entre os anos de estudo ($F_{(4,12)} = 24,3$; $p < 0,0001$) (Figura 2B), assim como Tanypodinae ($F_{(4,12)} = 7,4$; $p = 0,003$) (Figura 2F). Para Orthocladiinae a riqueza não apresentou variação temporal ($F_{(4,12)} = 1,4$; $p = 0,28$) (Figura 2D).

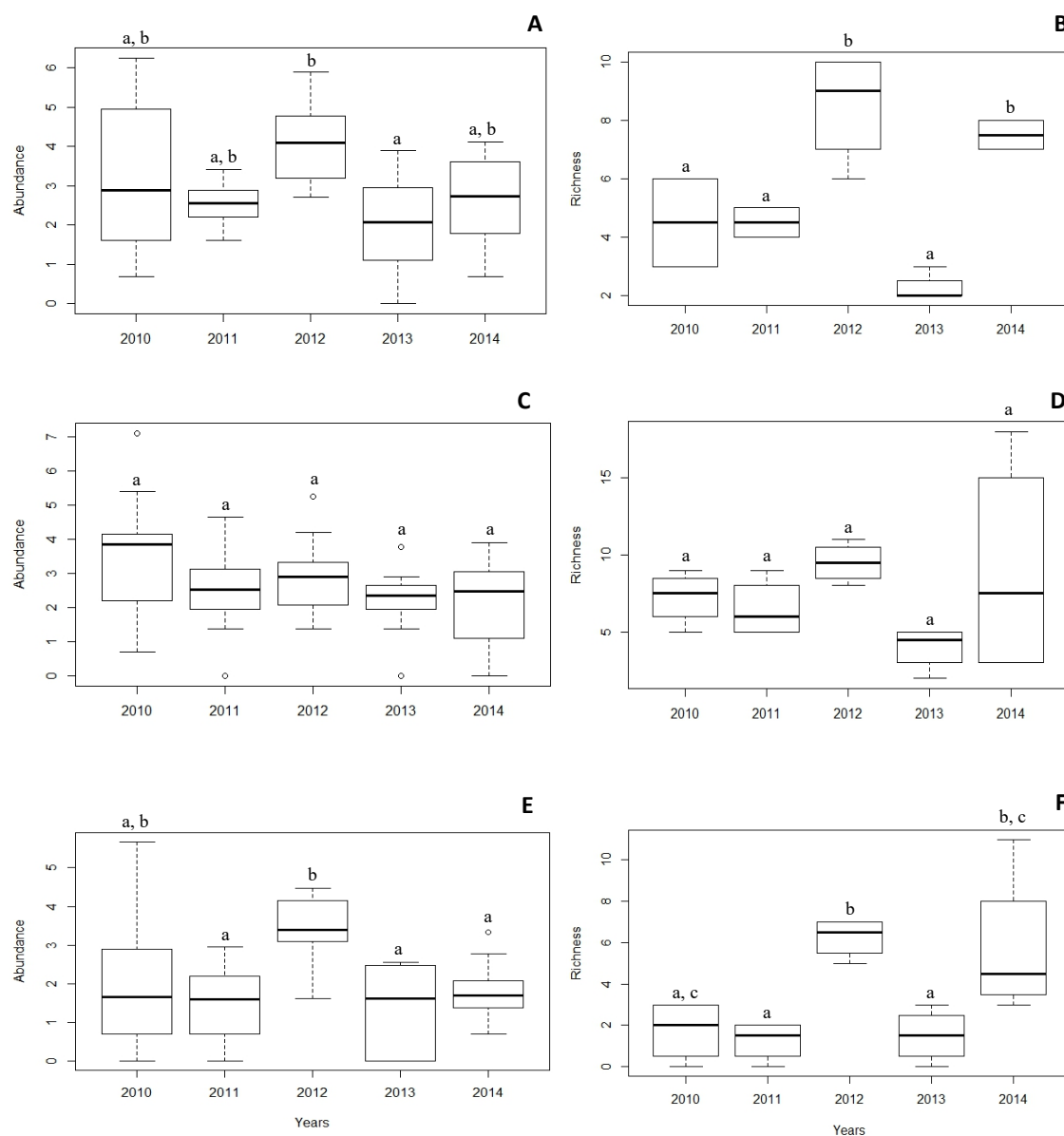


Figura 2: Box-plots da variação na abundância e riqueza de organismos pertencentes as subfamílias A e B) Chironominae; C e D) Orthocladiinae e E e F) Tanypodinae entre os anos de 2010 a 2014 nos riachos de Erechim, Faxinalzinho, Marcelino Ramos e Três Arroios. RS.

* Letras diferentes sobre os box-plot indicam diferença significativa pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

O ano de 2013 apresentou maior contribuição para a diversidade alpha (α) na subfamília Chironominae (77,3%), enquanto 2014 apresentou maior contribuição para a diversidade beta (β) (63,3%) (Figura 3A). Para Orthoclaadiinae, 2011 apresentou maior contribuição para a diversidade α (87%), enquanto 2014 apresentou maior contribuição para a diversidade β (48,9%) (Figura 3B). Em relação a subfamília Tanypodinae, 2011 e 2013 apresentaram contribuição igual para a diversidade α (77,4%) enquanto 2014 apresentou maior contribuição para a diversidade β (68,8%) (Figura 3C).

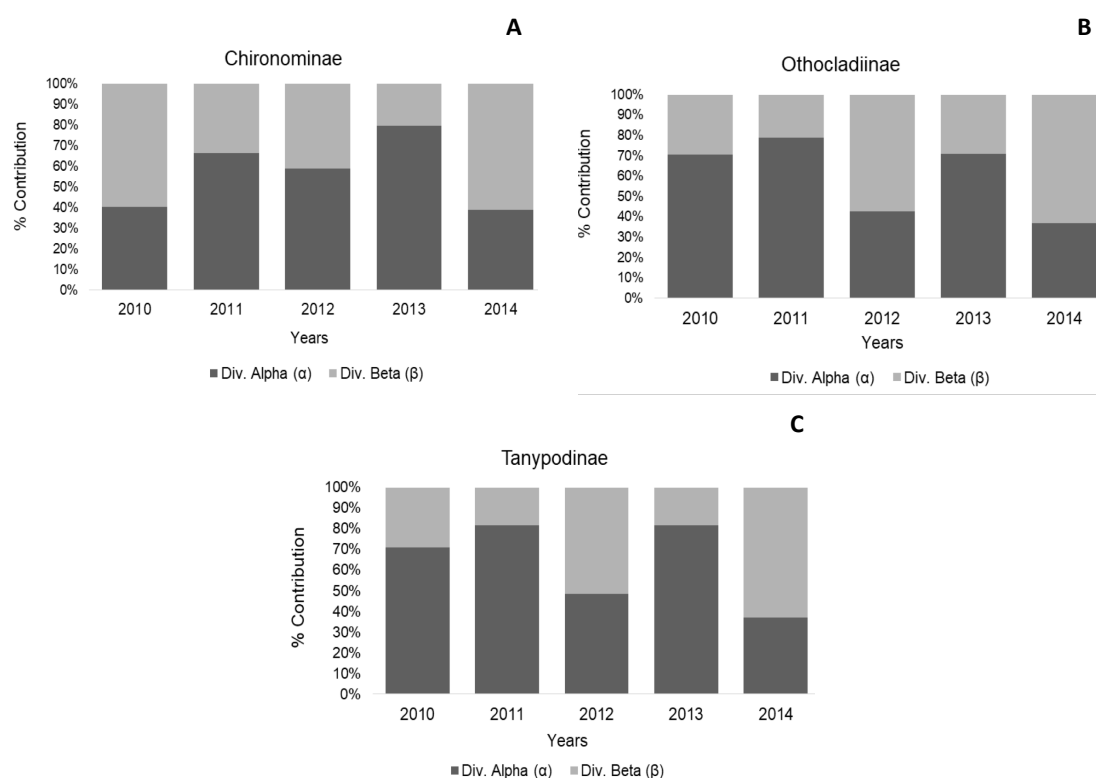


Figura 3: Porcentagem de contribuição das diversidades alpha e beta para a diversidade regional amostrada durante o período de estudo (2010-2014). A) Subfamília Chironominae; B) Subfamília Orthoclaadiinae; C) Subfamília Tanypodinae.

3.3 Efeito temporal das variáveis ambientais

As variáveis ambientais explicaram 72,6% da variação na composição de Chironominae ($RDA1= 47\%$ e $RDA2=25,6\%$; Figura 4A). Para Orthoclaadiinae, as variáveis ambientais explicaram 57,8% da variação dos dados ($RDA1= 36,7\%$ e $RDA2=21,1\%$; Figura 4B). Para Tanypodinae as variáveis ambientais explicaram 69,5% da variação dos dados ($RDA1=44,5 \%$ e $RDA2= 21,1\%$; Figura 4C).

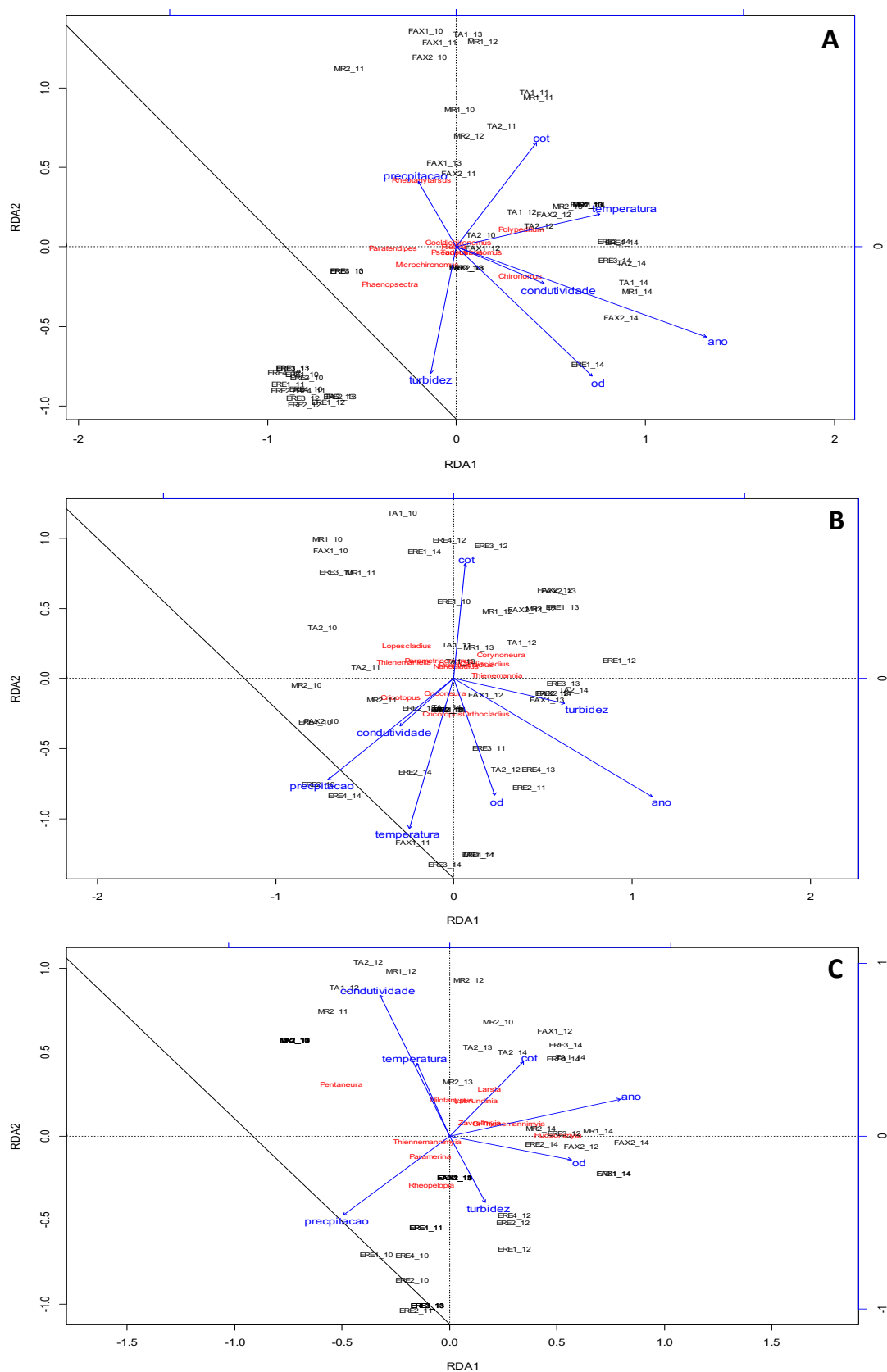


Figura 4: Análise de Redundância (RDA) entre a composição de cada subfamília os anos de estudo e as variáveis físico-químicas. Precipitação; Temperatura; Condutividade Elétrica; Carbono orgânico total (COT), Oxigênio Dissolvido (OD); Turbidez. A) Subfamília Chironominae; B) Subfamília Orthoclaadiinae; C) Subfamília Tanyptodinae.

De acordo com o teste de AIC as assembleias de Chironominae e Orthoclaadiinae foram influenciadas pela escala temporal (Tabela 2). Já para Tanypodinae, sua variação foi explicada pela escala temporal, precipitação, condutividade elétrica e concentração de oxigênio (Tabela 2).

Tabela 2: Seleção de variáveis físico-químicas significativas para explicar a variação na composição de Chironominae, Orthoclaadiinae e Tanypodinae definidas a partir de testes de permutação.

Subfamílias	Variáveis	GL	AIC	F	P
Chironominae	Anos	1	-24,2	4,3	0,015
Orthoclaadiinae	Anos	1	-22,9	2,5	0,015
	Anos	1	-19,0	4,1	0,005
	Precipitação	1	-18,1	3,2	0,005
Tanypodinae	Condutividade	1	-17,9	2,9	0,020
	Oxigênio Dissolvido	1	-17,3	2,3	0,025

4 Discussão

A escala temporal foi importante para explicar a variação das subfamílias Chironominae, Orthoclaadiinae e Tanypodinae. A variação significativa de alguns parâmetros como OD, COT e turbidez ao longo do tempo podem explicar esta influência. Esta observação também corrobora nossa hipótese de que, a variação das variáveis ambientais influenciaria a distribuição destas assembleias. A agricultura, principalmente pelo uso de fertilizantes e adubos, facilita o enriquecimento de nutrientes e outros compostos (e.g. carbono) no ambiente aquático por meio de processos como a erosão, que são influenciados pela pluviosidade que pode variar temporalmente (Molinero & Burke, 2007; Egler et al., 2012; Nava et al., 2015).

Em relação a variação que observamos para o COT a decomposição do material orgânico pode alterar o ciclo deste composto, ocasionando variações nos seus teores (Solomon et al., 2007). Sendo assim, as mudanças na paisagem em função do tempo (Carus, 2014) (e.g. retirada da mata ciliar para expansão de áreas cultiváveis), a prática de rotação no plantio de grãos (culturas de verão e inverno) e a pecuária observadas na região de estudo, podem explicar esta observação. Molinero & Burke (2009) observaram que altas concentrações de carbono possuem correlações com a utilização da agricultura, principalmente em locais que apresentavam pastagens no entorno dos riachos. Quanto a

turbidez, a erosão pode gerar aumento na quantidade de partículas orgânicas e inorgânicas sedimentadas, que tendem a ficar em suspensão após períodos de chuva, ocasionando alterações significativas (Almeida & Schwarzbald, 2003). Já em relação a variação na concentração de OD, estas podem ser relacionadas a presença de altas concentrações de matéria orgânica (MO) e outros nutrientes, como o nitrogênio e fósforo (Galloway et al., 2003). Ou seja, a variação destes parâmetros podem gerar alterações nas concentrações de OD.

Tais observações, quando relacionadas à importantes eventos da história de vida dos Chironomidae (e.g. reprodução e época de emergência), podem auxiliar na compreensão da distribuição destas assembleias no espaço e no tempo (Trivinho-Strixino, 2011; Serra et al., 2017). As larvas de Tanypodinae são aparentemente intolerantes a poluição orgânica (Oliveira et al., 2010), o que neste estudo pode explicar sua menor abundância quando comparadas a Chironominae e Orthocladiinae, assim como a influência da condutividade elétrica e OD sobre a sua distribuição. A sua capacidade de se alimentar tanto de presas, quanto de detrito (Silveira-Manzotti et al., 2016), também podem auxiliar na explicação da variação temporal desta subfamília. Isto porque ambos são fatores influenciados por variáveis ambientais, conhecidas por afetar tanto a disponibilidade de alimento tipo detrito, quanto a quantidade de presas disponíveis (Smith et al., 2003).

A precipitação, que apresentou significância para os Tanypodinae, também pode estar relacionada a importância dos anos na distribuição dos Chironominae. Já que a pluviosidade pode gerar alterações nos parâmetros físico-químicos da água, que são conhecidos por influenciar a densidade e distribuição espaço-temporal destes organismos (Peralta & Martin, 2015). Um exemplo disso, é o ano de 2012, que apresentou maior abundância, além de ser o responsável pela variação desta entre os demais anos para tais subfamílias. Este ano apresentou acumulado de chuva ($91,2 \text{ mm}^3$) abaixo da média histórica (165 mm^3) (INMET), o que pode facilitar a estabilidade das comunidades e reprodução dos indivíduos. A variação observada na riqueza de Chironominae e Tanypodinae, que também se deu principalmente entre 2012 e os demais anos, pode corroborar esta informação. Em relação aos Chironominae, as características dos gêneros mais abundantes no período de estudo, e possivelmente os estruturadores dos padrões observados para esta assembleia (*Polypedilum* (Kieffer, 1912), *Rheotanytarsus* (Thienemann & Bause, 1913) e *Phaenopsectra* (Kieffer, 1921)), também podem ser os responsáveis pela sua variação ao longo do tempo. A preferência de *Polypedilum* e *Rheotanytarsus* por ambientes com sedimento fino e maior teor de matéria orgânica, e a

preferência de *Phaenopsectra* por águas paradas (Maitland, 1979; Ferrington et al., 1995) pode vir a corroborar o observado neste trabalho.

Quanto aos Orthoclaadiinae, sua dominância sobre Chironominae e Tanypodinae corrobora trabalhos realizados na região (Biasi et al., 2013; Restello et al., 2014). Porém, uma observação atípica foi registrada para esta subfamília em 2010, onde o gênero *Cricotopus* (van der Wulp, 1874) com 1318 organismos representou mais de 70% da assembleia total coletada para o ano, e 52% do total dos Orthoclaadiinae amostrados em todo o período. Contudo, a elevada abundância deste gênero em 2010, não influenciou a distribuição dos Orthoclaadiinae ao longo do tempo, já que esta não apresentou variação significativa. Segundo Armitage et al. (1995), a flutuação no número de larvas de Orthoclaadiinae no verão é relativamente baixa, uma vez que estes organismos são multivoltinos, reproduzindo várias vezes ao ano e apresentando sobreposição de gerações. A capacidade de algumas espécies de Orthoclaadiinae em realizarem diapausa durante o verão, sobrevivendo a períodos de seca sem consequências (Pillot, 2014), também pode explicar o porquê da abundância e riqueza destes organismos não variar.

A influência das variáveis ambientais sobre os organismos também pode ser destacada quando analisada a contribuição das diferentes escalas de diversidade, para a diversidade total de Chironominae, Orthoclaadiinae e Tanypodinae. Isto porque, a heterogeneidade ambiental, (geralmente influenciada por alterações físico-químicas da água e tipo de substrato disponível), aparece muitas vezes como a hipótese de maior importância para explicar a variação dos organismos aquáticos (Anderson et al., 2006). Neste estudo, a maior contribuição do ano de 2014 para a diversidade beta, ou seja, a variação da diversidade entre locais em Chironominae, Orthoclaadiinae e Tanypodinae pode estar diretamente relacionada a variação de fatores ambientais como turbidez, OD e COT.

Fatores abióticos são os principais responsáveis por prover maior heterogeneidade ao ambiente e comumente variam entre locais, aumentando a contribuição da diversidade beta sobre a diversidade total, já que a taxa de substituição de espécies será maior e a similaridade entre os locais irá diminuir (Anderson et al., 2011). Já em relação a diversidade local (alfa), em muitos casos o efeito das interações biológicas entre espécies (e.g. competição e predação) podem influenciar a diversidade de organismos aquáticos (Sousa et al., 2015). Chironominae e Orthoclaadiinae aparentam ocupar um nicho muito similar dentro do ambiente, a partir disto, interações como a competição, podem explicar

a maior contribuição da diversidade alfa para a assembleia de Chironominae, assim como em 2014 para Orthoclaadiinae e Tanypodinae.

Sendo assim, concluímos que a importância da escala temporal sobre a distribuição dos organismos, assim como as variações de turbidez, COT e OD, corroboram nossa hipótese de que, parâmetros ambientais influenciariam indiretamente as assembleias ao longo do tempo. A influência da escala temporal para a estruturação das assembleias também corrobora nossa segunda hipótese, que leva em consideração a importância da pluviosidade sobre estes ambientes, já que a maior contribuição do ano de 2014 para as três subfamílias pode estar diretamente relacionada a heterogeneidade causada pelas alterações nas condições dos riachos.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe do Laboratório de Biomonitoramento da URI Erechim pelo auxílio no trabalho de campo. WD agradece a concessão de bolsa (CAPES – PROSUC) vinculada ao PPG Ecologia da URI Erechim. RMR recebeu apoio financeiro do CNPq (nº 477274/2011.0).

6 Referências Bibliográficas

- Akaike, H., 1973. Factor analysis and AIC. In Parzen, E., K. Tanabe & G. Kitagawa. (eds), *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. New York: Springer 371:386. 1 ed.
- Allan, J. D., 1975. Components of diversity. *Oecologia*, 18, 359:367.
- Almeida, M. A. B. & A. Schwarzbald. 2003. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8, 81:97.
- Alvares, C. A., J. L. Stape, P. C. Sentelhas, J. L. M. Gonçalves & G. Sparovek. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711:728.
- Anderson M. J., K. E. Ellingsen & B. H. Mcardle. 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters* 9, 683:693.
- Anderson, M. J., T. O. Crist, J. M. Chase, M. Vellend, B. D. Inouye, A. L. Freestone, N. J. Sanders, H. V. Cornell, L. S. Comita, K. F. Davies, S. P. Harrison, N. J. B. Kraft, J. C. Stegen & N. G. Swenson. 2011. Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters* 14, 19:28.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th ed. Washington: APHA.
- Armitage, P. D. 1995. Behaviour and ecology of adults. In Armitage, P. D., P. S. Cranston & L. C. V. Pindes (eds), *The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges*. London: Chapman & Hall 194:224.

- Arthington, A.H., S. E. Bunn, N. L. Poff & R. J. Naiman. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications* 16, 1311-1318.
- Baselga, A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19, 134:143.
- Biasi, C., A. M. Tonin, R. M. Restello & L. U. Hepp. 2013. The colonization of leaf litter by Chironomidae (Diptera): The influence of chemical quality and exposure duration in a subtropical stream. *Limnologia* 43, 427:433.
- Blanchet, F. G., P. Legendre & D. Borcard. 2008. Forward selection of explanatory variables. *Ecology* 89, 2623:2632.
- Carus, C. 2015. Parâmetros morfométricos e dinâmica da paisagem em áreas de drenagem do sul do Brasil. In: Carus, C. *A dinâmica da paisagem altera a comunidade de Chironomidae em riachos do sul do Brasil?* Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Erechim. 93pp.
- Conroy, E., J. N. Turner, A. Rymszewicz, J. J. O'Sullivan, M. Bruen, D. Lawler & M. Kelly-Quinn. 2016. The impact of cattle access on ecological water quality in streams: Examples from agricultural catchments within Ireland. *Science of the Total Environment* 15, 17:29.
- Decian, V. S., C. H. Oliveira, E. M. Zanin, F. Rosset, & C. A. Ferrari. 2009. Uso da terra na região Alto Uruguai do Rio Grande do Sul e obtenção de banco de dados relacional de fragmentos de vegetação arbórea. *Perspectiva* 33, 165:176.
- Egler, M., D. F. Buss, J. C. Moreira & D. F. Baptista. 2012. Influence of agricultural land-use and pesticides on benthic macroinvertebrate assemblages in an agricultural river basin in southeast Brazil. *Ecology* 72, 437:443.
- Ferrington Jr., L. C., R. G. Kavanaugh, F. J. Schmidt & J. L. Kavanaugh. 1995. Habitat separation among Chironomidae (Diptera) in Big Springs. *Journal of the Kansas Entomological Society* 68, 152:165.
- Galloway, J. N., J. D. Aber, J. W. Erisman, S. P. Seitzinger, R. W. Howarth, E. B. Cowling & J. Cosby. 2003. The nitrogen cascade. *BioScience* 53, 341:356.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., A. Ramírez & C. M. Pringle. 2018. Large-Scale climatic phenomena drive fluctuation in macroinvertebrate assemblages in lowland tropical streams, Costa Rica: The importance of ENSO events in determining long-term (15y) patterns. *Plos One* 13, e0191781.
- Hepp, L. U., S. V. Milesi, C. Biasi & R. M. Restello. 2010. Effects of agricultural and urban impacts on macroinvertebrates assemblages in streams (Rio Grande do Sul, Brazil). *Revista Brasileira de Zoologia* 27, 106:113.
- Korhonen, J. J., J. Soininen & H. Hillebrand. 2010. A quantitative analysis of temporal turnover in aquatic species assemblages across ecosystems. *Ecology* 91, 508:517.
- Lande, R. 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos* 76, 5:13.

- Lu, H. P., H. H. Wagner & X. Y. Chen. 2007. A contribution diversity approach to evaluate species diversity. *Basic and Applied Ecology* 8, 1:12.
- Magurran, A. E. 2013. Diversidade no espaço (e no tempo). In Magurran, A. E. (eds), *Medindo a diversidade biológica*. Curitiba: Editora UFPR 173:195.
- Maitland, P. S. 1979. The distribution of zoobenthos and sediments in Loch Leven, Kinross, Scotland. *Archiv fur Hydrobiologie* 85, 98:125.
- Milesi, S. V., S. Dolédec & A. S. Melo. 2016. Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. *Freshwater Science* 35, 1321:1329.
- Molinero, J. & R. A. Burke. 2009. Effects of land use on dissolved organic matter biogeochemistry in piedmont headwater streams of the Southeastern United States. *Hydrobiologia*, 635, 289:308.
- Nava, D., R. M. Restello & L. U. Hepp. 2015. Intra- and inter-annual variations in Chironomidae (Insecta: Diptera) communities in subtropical streams. *Zoologia* 32, 207:214.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, D. Mcglinn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs & H. Wagner. 2017. *Vegan: Community Ecology Package*. R Package version 2.4-3. Available in: <https://github.com/vegandevs/vegan>.
- Oliveira-Filho, A. T., J. C. Budke, J. A. Jarencow, P. V. Eisenlohr & D. R. M. Neves. 2015. Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *Journal of Plant Ecology* 8, 242:260.
- Ongaratto, R. M., R. C. Loureiro, R. M. Restello & L. U. Hepp. 2018. Effects of land use and limnology variables on the dissimilarity of common and rare aquatic insects in Atlantic Forest streams. *Revista de Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology and Conservation)* 66, 1221:1231.
- Peralta, R. H. L & G. M. T. MARTÍN. 2015. Densidad larval de Chironomidae (Insecta: Diptera) em un meandro del río Bogotá (Cajicá, Colombia) durante *La Niña* 2011. *Revista Facultad de Ciencias*, 11, 48:67.
- Pillot, H. K. M. M. 2014. Chironomidae larvae of the Netherlands and adjacent lowlands. General ecology and Tanypodinae. KNNV Publishing: The Netherlands, 144p.
- R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. <https://www.R-project.org>
- Restello, R. M., C. Biasi, P. F. Moutinho, B. De Moraes, G. Gabriel & L. U. Hepp. 2014. Composition and diversity of the Chironomidae in subtropical streams: effects of environmental predictors and temporal analysis. *Acta Limnologica Brasiliensia* 26, 215:226.
- Ríos-Touma, B., N. Prat & A. C. Encalada, 2012. Invertebrate drift and colonization processes in a tropical Andean stream. *Aquatic Biology* 14, 233–246.

- Salles, F. F. & N. Ferreira-Júnior. 2014. Hábitat e Hábitos. In Hamada, N., J. L. Nessimian & R. B. Querino (eds), *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: INPA 39:49.
- Serra, S. R. Q. M. A. S. Graça, S. Dolédec & M. J. Feio. 2017. Chironomidae traits and life strategies as indicators of anthropogenic disturbance. *Environmental Monitoring and Assessment* 189, 326.
- Silveira-Manzotti, B. N., A. R. Manzotti, M. Caneviva-Bastos & L. Casatti. 2016. Trophic structure of macroinvertebrates in tropical pasture streams. *Acta Limnologica Brasiliensia* 28, e15.
- Smith, H., P. J. Wood & J. Gunn. 2003. The influence of habitat structure e flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologia* 510, 53:66.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. M. B. Tignor, H. L. Miller Jr. & Z. Chen. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Sousa, A. C. & J. Simião-Ferreira. 2015. Diversidade alfa e beta de macroinvertebrados aquáticos em lagoas do Rio Araguaia-GO. *Anais do II Congresso de ensino, pesquisa e extensão da UEG*. Pirenópolis, Goiás, Brasil. 20 a 22 de outubro, 2015.
- Suárez, Y. R. 2008. Spatial and temporal variation in fish species diversity and composition in streams of Ivinhema River basin, upper Paraná River. *Biota Neotropica* 8, 197:204.
- Tejerina, E. G. & N. J. Malizia. 2012. Chironomidae (Diptera) larvae assemblages differ along an altitudinal gradient and temporal periods in a subtropical montane stream in Northwest Argentina. *Hydrobiologia* 686, 41:54.
- Tokeshi, M. 1995. Species interactions and community structure. In Armitage, P. D., P. S. Cranston & L. C. V. Pinder (eds), *The Chironomidae: biology and ecology of non-biting midges*. London: Chapman & Hall 297:335.
- Trivinho-Strixino, S. 2011. Larvas de Chironomidae. Guia de identificação. São Carlos, Depto. Hidrobiologia/Lab. Entomologia Aquática/ UFSCar.
- Veech, J. A., K. S. Summerville, T. O. Crist & J. C. Gering. 2002. The additive partitioning of species diversity: Recent revival of an old idea. *Oikos* 99, 3:9.
- Whittaker, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon e California. *Ecological Monographs* 30, 279:338.
- Wu, J. & O. L. Loucks. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology* 70, 439:466.

CAPÍTULO II

“RELACIONANDO ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE CHIRONOMIDAE (INSECTA, DIPTERA) COM CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E AMBIENTAIS DE RIACHOS AO LONGO DE 5 ANOS”

Wanessa Deliberalli; Patrícia L. Lazari; Silvia V. Milesi; Rozane M. Restello.

Manuscrito que será submetido a revista *Freshwater Biology* (Qualis A1, Área de biodiversidade)

**RELACIONANDO ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE CHIRONOMIDAE
(INSECTA, DIPTERA) COM CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E
AMBIENTAIS DE RIACHOS AO LONGO DE 5 ANOS**

Resumo: Avaliar as respostas dos organismos aquáticos a partir do uso de atributos funcionais apresenta diversas vantagens, uma vez que a avaliação de características biológicas permite respostas mais estáveis do que a composição taxonômica, que pode variar naturalmente em grandes escalas espaciais. Dentre as famílias de insetos aquáticos destacam-se os Chironomidae. Esta possui *taxa* tolerantes à diferentes parâmetros, o que possibilita essa família a ocupar uma variedade de nichos. Este trabalho tem como objetivo, verificar se os atributos funcionais de Chironomidae variam ao longo do tempo e analisar quais características ambientais e morfológicas dos riachos exercem influência sobre estes atributos. A coleta dos organismos foi realizada nos verões de 2010 a 2014, concomitantemente à coleta das variáveis ambientais. Também foram utilizados dados morfométricos das áreas de drenagem. Cinco atributos funcionais foram selecionados para a análise: relação com o substrato, hábito alimentar, habitação, construção de tubos e estação de emergência. Orthocladiinae foi a subfamília mais abundante, enquanto Chironominae obteve maior riqueza. Em relação aos anos, 2010 foi o ano mais abundante e 2012 o ano com maior riqueza. Os anos de 2010 e 2012 estiveram relacionados a presença de pastagem/pousio, vegetação e organismos com emergência no verão. Os anos de 2011, 2013 e 2014 estiveram relacionados a turbidez, OD, declividade, agricultura, organismos com emergência no outono, construção de tubo ausente, relação com o substrato folha e hábito filtrador. Cinco categorias apresentaram variação significativa entre os anos: relação com substrato pedra e folha e estação de emergência no inverno, verão e outono. Observamos relações positivas e negativas entre variáveis ambientais e morfológicas para organismos que habitam o lodo e para aqueles que emergem no inverno. A relação de diferentes categorias de atributos, com anos que apresentaram menor e maior pluviosidade além de diferentes características ambientais e morfológicas, indica a influência temporal sobre as assembleias de Chironomidae.

Palavras-chave: insetos aquáticos, morfologia de riachos, variação temporal.

RELATING FUNCTIONAL ATTRIBUTES OF CHIRONOMIDAE (INSECTA, DIPTERA) WITH MORPHOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL STREAMS CHARACTERISTICS ALONG 5 YEARS

Abstract: Evaluate the response of aquatic organisms using functional attributes has several advantages, once the evaluation of biological characteristics allows more stable responses than the taxonomic composition, which can vary naturally in large spatial scales. The Chironomidae are among the aquatic insects families, and the existence of *taxa* tolerant to different parameters allow this family to occupy a variety of niches. This work aims to verify if the functional attributes of Chironomidae vary over time and analyze which environmental and morphological streams characteristics influence on these attributes. Organisms were collected in the summers from 2010 to 2014 concomitantly to the collection of environmental variables. Morphometric data from drainage areas were also used. Five functional attributes were selected: relationship with substrate, feeding habit, general habitation, tube construction and emergency station. Orthocladiinae was the most abundant subfamily while Chironominae presented more richness. 2010 was the most abundant year and 2012 was the year with more richness. The 2010 and 2012 years were related to the presence of pasture/fallow, vegetation and organisms with summer emergence. The years 2011, 2013 and 2014 were related to turbidity, OD, declivity, agriculture, organisms with emergence in the fall, tub absent, leaf substrate and filtering habit. Five categories presented significant variation between the years: relationship with stone and leaf substrate and emergency season in winter, summer and fall. We observed positive and negative relationships between environmental and morphological variables for organisms that inhabit the sludge and for those that emerge in winter. The relationship of different attribute categories, with years that presented lower and higher rainfall and different environmental and morphological characteristics, indicates the temporal influence on the assemblages of Chironomidae.

Key-words: aquatic insects, streams morphology, temporal variation.

1 Introdução

O uso e ocupação inadequado da terra é uma das principais causas de degradação nos ecossistemas aquáticos (Hepp & Santos, 2008). Devido ao crescente acúmulo de pressões humanas sobre os recursos hídricos, foram criadas ferramentas que auxiliam na detecção do nível de comprometimento destes locais (Dolédec & Statzner, 2010). A principal função destas ferramentas é fornecer respostas sobre alterações tanto em componentes estruturais (composição taxonômica), quanto funcionais das comunidades (Minshall, 1996; Niemi & McDonald, 2004).

A análise dos componentes funcionais das comunidades aquáticas refere-se à observação de taxas (e.g. decomposição), padrões (e.g. mortalidade) e a importância relativa dos processos biológicos, os quais podem ser avaliados nas comunidades aquáticas por meio de medidas como abordagens baseadas em atributos funcionais (Corkum & Ciborowski, 1988; Dolédec & Statzner, 2010). Avaliar as respostas dos organismos frente a diferentes pressões a partir do uso de atributos apresenta diversas vantagens, uma vez que a avaliação de características biológicas permite uma maior compreensão das causas de alterações nas comunidades aquáticas, além de fornecer respostas mais estáveis, do que a composição taxonômica que pode variar naturalmente em grandes escalas espaciais (Bonada, Dolédec & Statzner, 2007; Verberk, Van Noordwijk & Hildrew, 2013). Um exemplo disto é que fatores relacionados a integridade ambiental tais como velocidade de fluxo, heterogeneidade do substrato e teor de matéria orgânica podem influenciar atributos como o tamanho e a forma do corpo e o hábito alimentar dos organismos (Encalada, Calles, Ferreira, Canhoto & Graça, 2010; Milesi, Dolédec & Melo, 2016).

Outra vantagem importante é que em escalas temporais, como quando avaliados períodos de chuva e seca ou a ocorrência de eventos climáticos que afetam a hidrologia dos riachos (i.e. *El Niño* e *La Niña*), as características funcionais são capazes de refletir a capacidade de estabilidade ou resiliência da comunidade (Blanco, Vásquez, Ramírez & Navarrete, 2003; Cadotte, Carscadden & Mirotchnick, 2011). Isto porque, alterações no fluxo da água são conhecidas como as principais fontes de variação temporal das comunidades aquáticas, o que pode refletir em diferenças na composição funcional destas ao longo do tempo (Beche, McElravy & Resh, 2006; Arthington, Bunn, Leroy & Naiman, 2006). Alterações hidromorfológicas (e.g. erosão, barramentos, regulação do fluxo de água) também podem gerar modificações aos canais dos riachos e serem responsáveis por

ameaçar a biodiversidade (Feld, Bello & Dolédec, 2014). Isto é, assim como as alterações hidrológicas, a perda de biodiversidade gerada pelas modificações causadas a partir de fatores hidromorfológicos, também podem levar a perda de funções ecossistêmicas, já que estas são produtos indiretos das características das espécies que habitam um ecossistema (Vandewalle et al., 2010; Vaughn, 2010).

A composição de atributos das comunidades de macroinvertebrados possibilita um melhor entendimento do funcionamento dos riachos (Vieira, Poff, Carlisle, Moulton, Koski & Kondratieff, 2006). Dentre estas, as assembleias de Chironomidae podem se destacar se utilizadas para avaliar a integridade ambiental (Bird, 2006). A existência de *taxa* tolerantes a variações nos mais diferentes parâmetros como pH, profundidade, temperatura da água e concentração de oxigênio, possibilita essa família a ocupar uma variedade de nichos, com diferentes espécies exibindo diferentes estilos de vida e comportamentos alimentares (Ferrington, 2008; Schmidt, Wagner, Heiri, Klug, Bennike & Melles, 2010). Porém, apesar da capacidade destes organismos em gerar diferentes respostas aos mais variados gradientes ambientais, ainda são poucos os trabalhos que levem em consideração as características funcionais deste grupo, destacando-se principalmente alguns trabalhos realizados na Europa (e.g. Serra, Cobo, Graça, Dolédec & Feio, 2016; Serra, Graça, Dolédec & Feio, 2017¹; Serra, Graça, Dolédec & Feio, 2017²). Para o Brasil, cita-se o trabalho desenvolvido por Gomes, Jovem-Azevêdo, Paiva, Milesi e Molozzi (2018) que utilizou atributos funcionais para detectar impactos antropogênicos em reservatórios da Paraíba, nordeste do país.

Pelas informações que se tem a cerca de atributos funcionais de Chironomidae no Brasil e visando a utilização desta ferramenta para auxiliar na obtenção de respostas sobre as condições de ambientes aquáticos, frente a diferentes pressões antrópicas (usos da terra) e ambientais (variação temporal), este trabalho tem como objetivos: i) verificar se os atributos funcionais de Chironomidae variam ao longo do tempo e ii) analisar quais características ambientais e morfológicas dos riachos exercem influência sobre estes atributos em uma escala temporal.

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O presente estudo utilizou uma base de dados de coletas realizadas em 10 riachos de pequena ordem (<2ª ordem) no sul do Brasil (27°12' 59" e 28°00' 47" S; 52°048 12" e 51°49' 34" W) (Figura 1). O clima da região é caracterizado como subtropical temperado

(tipo Cfb de Köppen), com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (média anual $\pm 1.912,3\text{mm}$) e estações bem definidas (temperatura média anual $18\pm 1^\circ\text{C}$) (Alvares, Stape, Sentelhas, Gonçalves & Sparovek, 2013). A área de estudo pertence ao Domínio Mata Atlântica, sendo caracterizada como uma área de transição entre Floresta Estacional Sempre Verde com Araucária e Estacional Semidecídua (Oliveira-Filho, Budke, Jarencow, Eisenlohr & Neves 2015). A região possui sua área ocupada por atividades antrópicas, em especial pela intensa prática agrícola ($\sim 77\%$ do total da área), com cultivos de soja, milho e trigo (Decian, Oliveira, Zanin, Rosset & Ferrari, 2009).

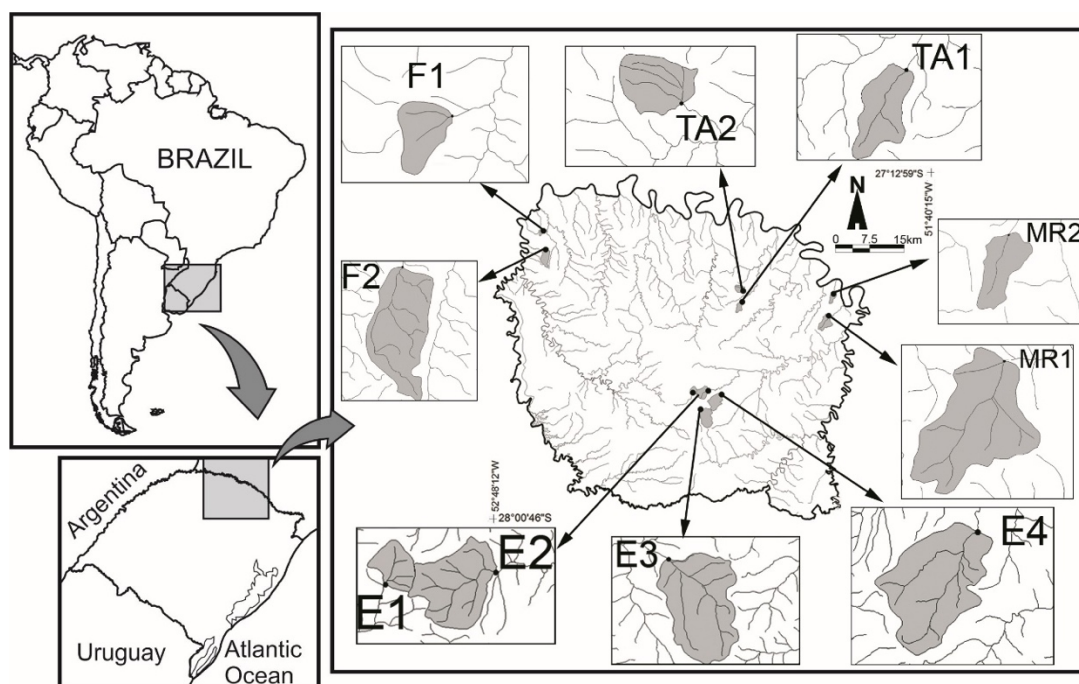


Figura 1: Localização dos riachos nos municípios de Erechim (E), Faxinalzinho (F), Marcelino Ramos (MR) e Três Arroios (TA), Rio Grande do Sul, onde o estudo foi realizado.

2.1.1 Caracterização limnológica

Durante o período de estudo a média de temperatura da água foi de $22\pm 0,3^\circ\text{C}$. As águas se mostraram bem oxigenadas ($10\pm 3,04\text{ mg L}^{-1}$), com uma média de $9,7\pm 1,9\text{UNT}$ de turbidez e com valores de condutividade elétrica oscilando entre $0,012\pm 0,01$ e $0,09\pm 0,003\text{mS cm}^{-1}$. A concentração média de COT na água foi de $59,7\pm 8,03\text{ mg L}^{-1}$ (Anexo 1). Os valores de precipitação ao longo dos anos variaram de $91,2\text{mm}^3$ (2012) à $194,4\text{mm}^3$ (2014) (Apêndice 1; Figura 2).

2.2 Coleta e identificação dos organismos

A coleta dos organismos foi realizada no verão dos anos de 2010 a 2014 com o auxílio de um amostrador do tipo Surber (malha de $250\mu\text{m}$ e área de $0,09\text{m}^2$) em substrato

pedregoso. Ainda em campo os organismos foram acondicionados em frascos contendo etanol 80%. Após a coleta as amostras foram triadas a fim de separar os organismos da família Chironomidae dos demais grupos. Posteriormente, foram confeccionadas lâminas semipermanentes com solução de Hoyer para auxiliar na identificação dos organismos até nível taxonômico de gênero utilizando chave de Trivinho-Strixino (2011). O material identificado foi depositado na coleção de Invertebrados Bentônicos do MuRAU (Museu Regional do Alto Uruguai).

2.3 Dados morfométricos

Os dados morfométricos das áreas de drenagem dos riachos foram obtidos a partir do trabalho realizado por Carus (2015). Para este estudo, foram selecionados os parâmetros que apresentaram variação significativa entre os locais de coleta, sendo eles: percentual de solo exposto, pastagem/pousio, vegetação e agricultura, tamanho da área de drenagem (km²), gradiente do canal principal, declividade média e coeficiente de rugosidade (Apêndice 2). A metodologia empregada para determinar os citados parâmetros morfométricos seguiu os procedimentos apresentados por Christofolletti (2007).

2.4 Análise dos dados

2.4.1 Estrutura da assembleia de Chironomidae

A estrutura da comunidade de Chironomidae foi determinada a partir da abundância, dada pelo número total de organismos coletados, e a riqueza foi estimada pelo número de gêneros identificados.

2.4.2 Chironomidae e atributos funcionais

Foram selecionados cinco atributos funcionais relacionados com os Chironomidae e com o ecossistema onde vivem. Os organismos foram caracterizados quanto a relação com o substrato do fundo, hábitos alimentares, habitação geral (ambientes lóticos e/ou lênticos), construção de tubos e em relação a estação de emergência (Tabela 1). Estes atributos foram obtidos através da literatura de acordo com dados disponíveis para a região neotropical (Trivinho-Strixino, 2011; Saulino, Leite-Rossi & Trivinho-Strixino, 2016). Quando não encontrados, foram utilizados dados referentes a trabalhos realizados na Europa (Serra, Cobo, Graça, Dolédec & Feio, 2016; Pillot, 2014) e Estados Unidos (Vieira, Poff, Carlisle, Moulton & Koski, 2006). Cada atributo foi codificado (Fuzzy code) para as respectivas análises (Tabela 1).

As categorias de relação com o substrato foram definidas com base no habitat do organismo ainda no estágio larval. Para as categorias de hábitos alimentares, formaram-se quatro grupos: predadores que geralmente consomem outros macroinvertebrados bentônicos; raspadores que se alimentam do biofilme que se deposita nas pedras dos riachos; fragmentadores que se alimentam de matéria orgânica particulada grossa, e filtradores-coletores que se alimentam de matéria orgânica em suspensão na água. (Serra, Cobo, Graça, Dolédec & Feio, 2016). Quanto a habitação geral, os organismos são encontrados em ambientes lóticos ou lênticos. Para a construção de tubos para proteção, foram selecionadas duas categorias: presença e ausência de tubos. (Trivinho-Strixino, 2011). Quanto à estação de emergência, todas as estações do ano foram categorizadas. (Trivinho-Strixino, 2011).

Para a análise dos atributos funcionais foram incluídas apenas categorias de atributos (Tabela 2) que foram representadas por pelo menos um indivíduo em nossa base de dados. A Análise RLQ (R: matriz ambiental; L: matriz de *taxa*; Q: matriz de atributos) foi realizada para identificar relações entre os atributos funcionais de Chironomidae e as características ambientais e morfológicas dos riachos em estudo (Dolédec, Chessel, Ter Braak & Champely, 1996). A RLQ realiza uma análise de dupla inércia para analisar a relação entre os traços funcionais e o habitat. A partir disto e analisando a posição relativa das espécies, traços funcionais e das variáveis ambientais nos eixos das ordenações, é possível identificar a relação entre os atributos, variáveis ambientais e os *taxa* (Dolédec, Chessel, Ter Braak & Champely, 1996; Shieh, Wang & Hsiao, 2012). Para avaliar a variação da abundância de cada categoria de atributo funcional entre os anos utilizamos uma análise de variância (ANOVA one-way) com teste Tukey *a posteriori* ($p < 0,05$). Para testar a associação entre os atributos funcionais e as variáveis ambientais utilizamos uma “*fourth-corner*”. Esta análise foi desenvolvida por Legendre, Galzin & Harmelin-Vivien (1997) e “revisitada” por Dray & Legendre (2008). Ela mede a ligação entre as tabelas: L, que contém a abundância dos *táxon*; R, matriz de variáveis ambientais e Q, matriz com os atributos funcionais, podendo ser utilizada para testar a associação entre atributos funcionais individuais e variáveis ambientais (Dray & Legendre, 2008).

As análises foram realizadas no software R (R Core Development Team, 2018).

Tabela 1 - Atributos funcionais, respectivas categorias e códigos utilizados para os gêneros de Chironomidae coletados em riachos do Alto Uruguai/RS entre 2010 e 2014.

Atributo	Categoria	Código	Referência
<i>Relação Substrato</i>	Pedra	RSPED	SERRA et al. (2016)
	Lodo	RSLOD	SAULINO et al. (2016)
	Folha	RSFOL	TRIVINHO-STRIXINO (2011)
<i>Hábito Alimentar</i>	Predador	HAPRE	SERRA et al. (2016)
	Raspador	HARAS	SAULINO et al. (2016)
	Fragmentador	HAFRA	TRIVINHO-STRIXINO (2011)
	Filtrador	HAFIL	VIEIRA et al. (2006)
	Coletor	HACOL	
<i>Habitação Geral</i>	Lêntico	HGLEN	SERRA et al. (2016)
	Lótico	HGLOT	TRIVINHO-STRIXINO (2011)
<i>Construção de Tubos</i>	Tubo Ausente	CTTAUS	SERRA et al. (2016)
	Tubo Presente	CTTPRE	TRIVINHO-STRIXINO (2011)
<i>Estação de Emergência</i>	Inverno	EEINV	SERRA et al. (2016)
	Primavera	EEPRI	TRIVINHO-STRIXINO (2011)
	Verão	EEVER	PILLOT (2014)
	Outono	EEOUT	

3 Resultados

Foram coletados um total de 5957 larvas de Chironomidae, distribuídas em 58 gêneros, pertencentes as subfamílias Chironominae, Orthoclaadiinae e Tanypodinae. Orthoclaadiinae foi mais abundante, representando 43% dos organismos coletados, enquanto Chironominae obteve a maior riqueza (22 gêneros identificados). Em relação aos anos, 2010 foi o ano mais abundante com 3088 organismos (52% do total coletado), seguido por 2012 com 1736 (29% do total). O ano com maior riqueza foi 2012 com 43 gêneros.

A análise RLQ explicou 94% da variação dos dados. Destes, o primeiro eixo explicou 84% e o segundo eixo explicou 10% da variação total. Os anos de 2010 e 2012 estiveram relacionados a presença de pastagem/pousio e vegetação, assim como, a organismos que

apresentam período de emergência no verão (Figura 2 A, B, C). Os anos de 2011, 2013 e 2014 estiveram relacionados à fatores ambientais como turbidez e oxigênio dissolvido, além de características morfológicas do riacho como declividade média e a presença de agricultura (Figura 2 A, B). Estes anos também estiveram relacionados a organismos que apresentam as categorias de estação de emergência no outono, construção de tubo ausente, relação com o substrato folha e hábito alimentar filtrador (Figura 2 C).

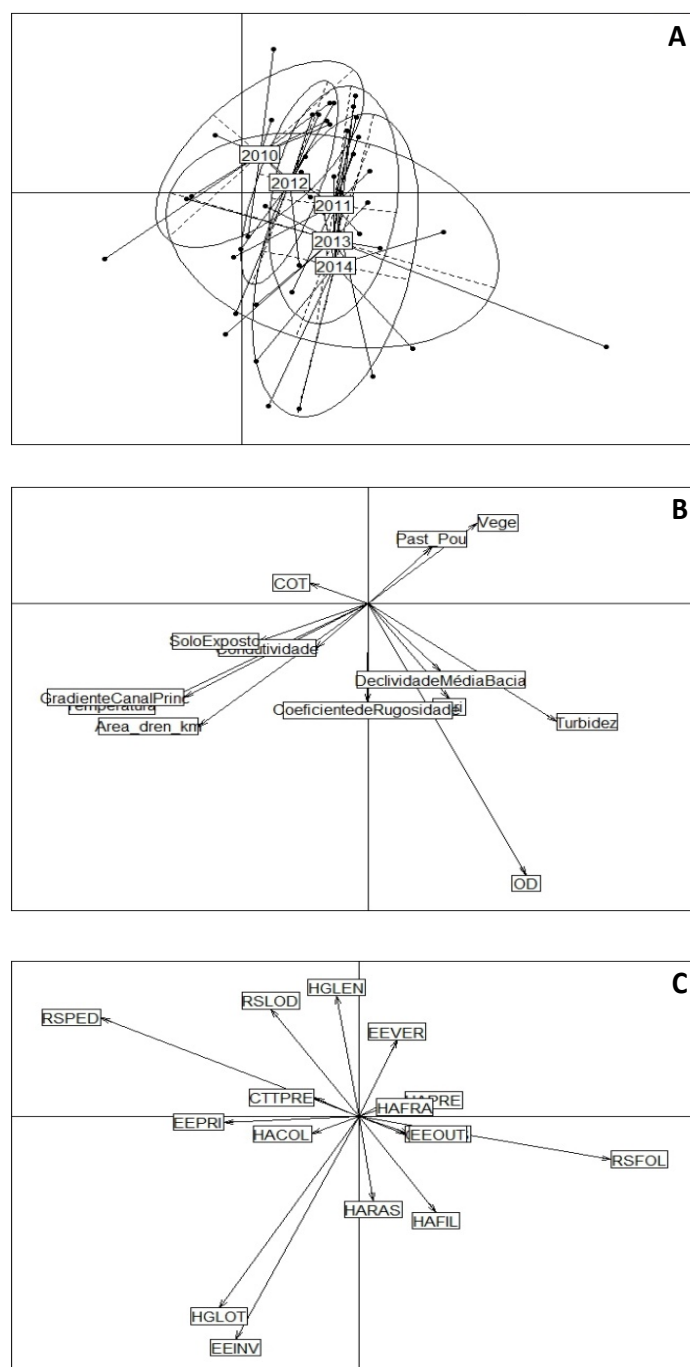


Figura 2: Análise de RLQ definida pelo eixo 1 e eixo 2, onde: A) Anos de estudo; B) Variáveis morfológicas e ambientais dos riachos; C) Atributos funcionais. OD: oxigênio dissolvido; COT: carbono orgânico total; Vege: Vegetação; Agri: agricultura; Past Pou: pastagem/pousio; Area dren: Área de drenagem. Os códigos das categorias de atributos funcionais podem ser encontrados na tabela 1.

Das 16 categorias de atributos avaliadas, cinco apresentaram variação significativa entre os anos (Tabela 2). Para o grupo relação com o substrato, as categorias pedra e lodo apresentaram variação significativa (Tabela 2). Organismos associados a pedras foram mais abundantes em 2010, enquanto organismos relacionados a folhas foram mais abundantes em 2013 (Figura 3A, B). Para a estação de emergência, as categorias de emergência no inverno, verão e outono apresentaram variação significativa (Tabela 2). Organismos com emergência no inverno foram mais abundantes em 2014. Com emergência no verão foram mais abundantes em 2012. Aqueles com emergência no outono foram mais abundantes em 2013 (Figura 3C, D, E). As outras categorias não apresentaram variação significativa entre os anos de estudo.

Tabela 2: Resultado das análises de variância para os atributos funcionais em relação aos anos de coleta.
* indicam variação significativa ($p < 0,05$).

Grupo de atributo funcional	Atributo funcional	F_(4,45)	p
Relação Substrato	Pedra	5,66	0,0008*
	Lodo	0,26	0,902
	Folha	4,48	0,003*
Hábito Alimentar	Pedrador	0,45	0,772
	Raspador	1,97	0,115
	Fragmentador	1,24	0,305
	Filtrador	1,16	0,339
	Coletor	0,75	0,557
Habitação Geral	Lêntico	1,67	0,172
	Lótico	1,67	0,172
Construção de Tubo	Ausente	0,79	0,792
	Presente	0,79	0,792
Estação de Emergência	Inverno	4,58	0,003*
	Primavera	1,22	0,313
	Verão	3,83	0,009*
	Outono	2,96	0,029*

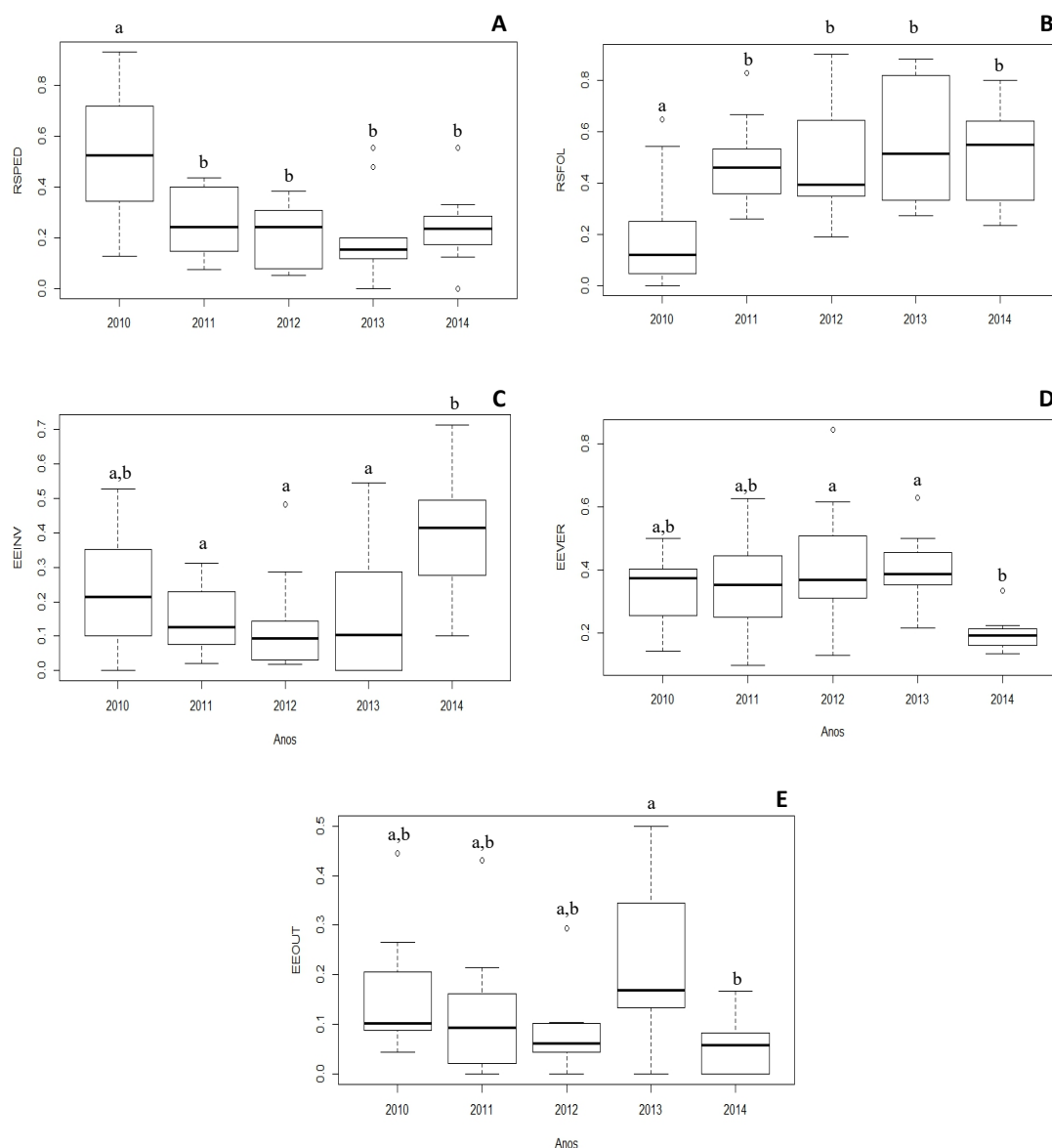


Figura 3: Box-plots entre os atributos funcionais e os anos. A) Relação substrato folha; B) Relação substrato pedra; C) Estação de emergência inverno; D) Estação de emergência verão; E) Estação de emergência outono.

*Letras diferentes sobre os box-plot indicam diferença significativa pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

A partir da *fourth-corner* observamos relações positivas entre organismos que habitam o lodo e áreas com maior solo exposto, área de drenagem e gradiente do canal principal. Para estes organismos, também foram observadas relações negativas com áreas de maior pastagem/pousio e vegetação (Figura 4). Também observamos que organismos com emergência no inverno estiveram positivamente relacionados a condutividade (Figura 4).

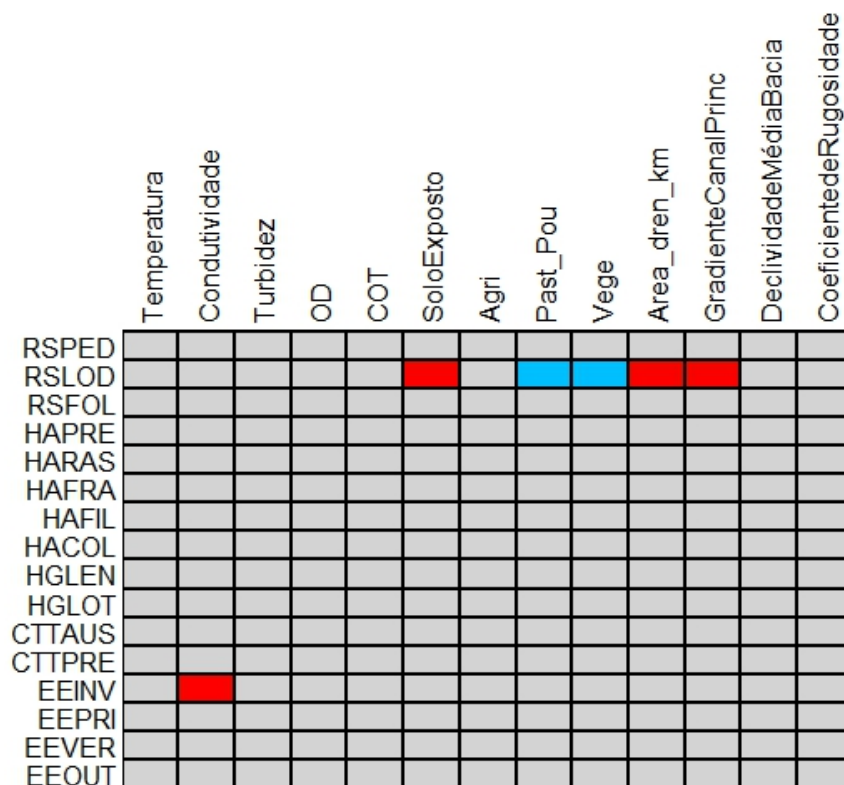


Figura 4: Análise *fourth-corner* demonstrando a relação entre os atributos funcionais e as variáveis ambientais/morfológicas. Quadrados vermelhos expressam relação positiva. Quadrados azuis expressam relação negativa. O significado dos códigos dos atributos funcionais pode ser encontrado na tabela 1.

4 Discussão

Os anos com menor índice pluviométrico (i.e. 2010 e 2012) apresentaram maior abundância e riqueza. Sabe-se que a pluviosidade é responsável por influenciar diretamente as comunidades aquáticas por meio de efeitos como o *drift*, ou seja, o carreamento de organismos pelo aumento na velocidade de correnteza (Allan & Castillo, 2007). Este carreamento acaba afetando a estrutura das assembleias, redistribuindo os organismos e permitindo a recolonização destes locais (Lobón-Cerviá, Rezende & Castellanos, 2012; Ríos-Touma, Prat & Encalada, 2011). Em períodos mais secos, os riachos tendem a se manter mais estáveis, o que possibilita melhor colonização do ambiente pelos organismos (Callisto, Goulart, Barbosa & Rocha, 2005; Nava, Restello & Hepp, 2015), explicando a maior abundância e riqueza observadas. No entanto, as estratégias de história de vida dos organismos também podem ser fatores chave para determinar a capacidade de uma espécie suportar os efeitos de perturbações como as ocasionadas pela pluviosidade (Ríos-Touma, Prat & Encalada, 2011).

Neste trabalho, organismos que emergem no verão estiveram relacionados aos anos mais secos (2010 e 2012). A maior ou menor estabilidade dos riachos frente a mudanças ocasionadas por períodos de intensa pluviosidade pode vir a corroborar a variação nas categorias de estação de emergência. Uma vez que a disponibilidade de alimento, muitas vezes influenciada por esta variável, é um dos principais fatores que afeta a emergência de organismos da família Chironomidae (Pillot, 2014). Porém, outras características como a termofilia também podem explicar esta variação. A maioria dos Chironominae são termófilos, ou seja, preferem altas temperaturas ($>20^{\circ}\text{C}$) e emergem no final da primavera ou início do verão (Pillot, 2014). Sendo assim, a flutuação no número de larvas destes organismos ao longo dos anos pode explicar a variação observada em organismos que emergem no verão. O número de gerações (univoltino, bivoltino e/ou trivoltino), que pode ser determinado dependendo das condições ambientais, também pode exercer influência sobre a ocorrência dos Chironomidae (Pillot, 2014; Serra, Graça, Dolédec & Feio, 2017).

Organismos que emergem no outono estiveram relacionados a 2011, 2013 e 2014 e, assim como aqueles que emergem no inverno, variaram entre os anos. Além da relação com organismos que emergem no outono, estes anos apresentaram relação com variáveis como turbidez e OD. Alterações no teor de OD, por exemplo, podem induzir a migração de larvas de Chironomidae (Heinis, Van de Bund & Davids, 1989), o que pode explicar a variação observada para estas categorias. Além do mais, os anos de 2011, 2013 e 2014 também estiveram relacionados a características morfológicas dos rios como declividade e percentual de agricultura, e características biológicas como afinidade com o substrato folha, hábito alimentar filtrador e construção de tubo ausente.

A declividade apresenta relação direta com a vazão do corpo d'água, influenciando na dispersão e nas interações tróficas dos organismos (Anjos & Takeda, 2010). Outro fator que se relaciona com a declividade é a agricultura, que pode diminuir significativamente com o aumento deste parâmetro (Carus, 2015). A categoria tubo ausente também foi uma característica que se relacionou a declividade. Pequenos distúrbios ocasionados por esta variável (e.g. variação na velocidade de correnteza) podem propiciar a ocorrência de organismos com hábitos de vida livre devido a maior disponibilidade de alimento pelo revolvimento do sedimento (Pillot, 2014). Já a relação dos anos com organismos que apresentaram preferência pelo substrato folha pode ser explicada pela tendência que estes indivíduos possuem de usar o material orgânico das folhas para construir suas redes, ou como abrigo (Pillot, 2014; Milesi, Dolédec &

Melo, 2016). E apesar de organismos com hábito filtrador terem apresentado relação com a escala temporal, é importante salientar que não foram observadas variações significativas para tal categoria, o que pode refletir a condição alimentar generalista destes organismos (Lemes-Silva, Pagliosa & Petrucio, 2014).

A variação dos atributos relacionados ao tipo de substrato também pode ser explicada por algumas variáveis ambientais, como a presença de vegetação ripária. Ambientes com mais vegetação irão oferecer substratos mais heterogêneos (e.g. folhas, galhos) (Allan & Castillo, 2007), enquanto em áreas de pastagem/agricultura fatores como erosão podem levar a homogeneidade destes ambientes (e.g. lodo) (Molinero & Burke, 2009; Couceiro, Hamada, Luz, Forsberg & Pimentel, 2007). O ano de 2010, principalmente, apresentou variação significativa em relação aos demais anos quando avaliadas as relações de substrato pedra e folha. Este ano, assim como 2012, esteve relacionado a áreas de vegetação e pastagem/pousio. Em relação a organismos que habitam folhas, sabe-se que a presença e/ou ausência de vegetação ripária é capaz de gerar variabilidade nas comunidades aquáticas, uma vez que esta é capaz de fornecer alimento e abrigo (Sensolo, Hepp, Decian & Restello, 2012; Hepp, Urbim, Tonello, Loureiro, Sausen, Fornel & Restello, 2016). Já para a categoria de relação com o substrato pedra, observamos uma elevada abundância do gênero *Cricotopus* no ano de 2010, quando comparada aos outros anos (42,7% do total amostrado no ano), o que pode explicar a variação observada para a categoria já que este gênero possui afinidade com tal atributo (Moubayed-Breil, 2016).

Outras variáveis ambientais e morfológicas demonstraram influência significativa sobre atributos funcionais como, relação com o substrato lodo e período de emergência no inverno. Organismos que habitam o lodo foram mais abundantes em locais com maior área de drenagem, gradiente do canal principal e solo exposto, sendo menos abundantes em áreas com vegetação e pastagem/pousio. Segundo Lana, Alves e Castro (2001), a necessidade do rio em ajustar as suas irregularidades (e.g. corredeiras e depressões) faz com que processos de erosão sejam mais frequentes. Ou seja, a velocidade da água aumenta com a presença de corredeiras, fazendo com que se inicie a sedimentação das margens para o rio adquirir um perfil mais côncavo e liso que auxilie no transporte da sua carga (Lana, Alves & Castro, 2001). Quanto maior for o gradiente do rio ou canal principal, maior é o potencial erosivo daquela área de drenagem, principalmente se for uma área de solo exposto (Lana, Alves & Castro, 2001). A erosão faz com que as margens dos rios se sedimentem, tornando o substrato mais lodoso possibilitando maior abundância de organismos com afinidade para habitar estes locais. No entanto, como

ressaltado anteriormente, áreas com vegetação podem apresentar substratos mais heterogêneos (Allan & Castillo, 2007), ocasionando então a relação negativa observada sobre a abundância de organismos com preferência por substratos lodosos.

Organismos com período de emergência no inverno, apresentaram relação positiva com a condutividade elétrica. Sabe-se que indivíduos não termófilos, como os Orthocladiinae, são caracterizados como mais resistentes quando comparados aos Chironominae, por exemplo, pois suportam ambientes com maior fluxo de correnteza e variações ambientais (Pillot, 2014). Altos valores de condutividade elétrica são uma característica de locais impactados e também se relacionam ao aumento da velocidade de correnteza em períodos de chuva (Lucca, Pamplin, Gessner, Trivinho-Strixino, Spadano-Albuquerque & Rocha, 2010) ou seja, a maior abundância de organismos resistentes, como aqueles que emergem no inverno, pode ser positivamente relacionada a esta variável.

Com este estudo observamos que os atributos funcionais variaram ao longo do tempo e apresentaram relações significativas com características morfológicas e ambientais dos riachos. Anos que apresentaram menor pluviosidade (2010 e 2012) e maior pluviosidade (2011, 2013 e 2014) demonstraram relação com diferentes categorias de atributos indicando a influência desta sobre as assembleias de Chironomidae numa escala temporal. A relação dos anos com características ambientais como pastagem, vegetação e agricultura, e a influência significativa de fatores morfométricos como solo exposto, tamanho da área de drenagem e gradiente do canal principal, evidencia a influência que as áreas de entorno exercem sobre os ambientes aquáticos e suas comunidades.

5 Agradecimentos

WD agradece a concessão de bolsa (CAPES – PROSUC) vinculada ao PPG Ecologia da URI Erechim. RMR recebeu apoio financeiro do CNPq (nº 477274/2011.0).

6 Referências Bibliográficas

- Allan, J. D. & Castillo, M. M. (2007). Stream ecology: structure and function of running waters. *Spring Netherlands*, 436p.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2014). Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, **22**(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Anjos, A. F. D. & Takeda, A. M. (2010). Estrutura da comunidade das larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera), em diferentes substratos artificiais e fases hídricas, no

trecho superior do rio Paraná, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, **32**(2), 131-140. <http://dx.doi.org/10.4025/actascibiolsci.v32i2.5387>.

Arthington, A. H., Bunn, S. E., Poff, N. L. & Naiman, R. J. (2006). The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, **16**, 1311-1318. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1311:TCOPEF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1311:TCOPEF]2.0.CO;2).

Beche, L. A., Mcelravy, E. P. & Resh, V. H. (2006). Long-term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean climate stream in California, U.S.A. *Freshwater Biology*, **51**, 56-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01473.x>.

Bird, G. A. Use of Chironomid deformities to assess environmental degradation in the Yamaska River, Quebec. *Environmental Monitoring and Assessment*, **30**(2), 163-175. <https://doi.org/10.1007/BF00545620>.

Blanco, J. F., Vásquez, G. L., Ramírez, J. C. & Navarrete, A. M. (2003). Variación de algunos parâmetros físicoquímicos em el rio Pescador, Valle Del Cauaca, durante el ciclo El Niño 1997/1998 – La Niña 1998/1999. *Actual biologica* **5**(78), 59-69.

Bonada, N., Dolédec, S. & Statzner, B. (2007). Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology*, **13**(8), 1658–1671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01375.x>.

Cadotte, M. W., Carscadden, K. & Mirotnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, **48**(5), 1079-1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>.

Callisto, M., Goulart, M., Barbosa, F. A. & Rocha, O. (2005). Biodiversity assessmen of benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower São Francisco River (Northeastern Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, **65**(2), 229-240. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842005000200006>.

Carus, C. (2015). Parâmetros morfométricos e dinâmica da paisagem em áreas de drenagem do sul do Brasil. In: Carus, C. *A dinâmica da paisagem altera a comunidade de Chironomidae em riachos do sul do Brasil?* Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Erechim. 93pp.

Christofoletti, A. (2007). *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 236 p.

Corkum, L. D. & Ciborowski, J. J. H. (1988). Use of alternative classifications in studying broad-scale distributional patterns of lotic invertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**, 167–179. <https://doi.org/10.2307/1467416>.

Couceiro, S. R. M., Hamada, N., Luz, S. L. B., Forsberg, B. R. & Pimentel, T. P. (2007). Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban stream in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia*, **575**, 271-284. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0373-z>.

- Decian, V. S., Oliveira, C. H., Zanin, E. M., Rosset, F. & Ferrari, C. A. (2009). Uso da terra na região Alto Uruguai do Rio Grande do Sul e obtenção de banco de dados relacional de fragmentos de vegetação arbórea. *Perspectiva*, **33**(121), 165-176.
- Dolédéc, S., Chessel, D., Ter Braal, C. J. F. & Champely, S. (1996). Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, **3**(2), 143-166. <https://doi.org/10.1007/BF02427859>.
- Dolédéc, S. & Statzner, B. (2010). Response of freshwater biota to human disturbances: contribution of *J-NABS* to developments in ecological integrity assessments. *Journal of the North American Benthological Society*, **29**(1), 286-311. <https://doi.org/10.1899/08-090.1>.
- Dray, S. & Legendre, P. (2008). Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology*, **89**, 3400-3412. <https://doi.org/10.1890/08-0349.1>
- Encalada, A. C., Calles, J., Ferreira, V., Canhoto, C. N. & Graça, M. A. S. (2010). Riparian land use and the relationship between the benthos and litter decomposition in tropical montane streams. *Freshwater Biology*, **55**, 1719-1733. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02406.x>.
- Feld, C. K., Bello, F. de & Dolédéc, S. (2014). Biodiversity of traits and species both show weak responses to hydromorphological alteration in lowland river macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, **59**, 233-248. <https://doi.org/10.1111/fwb.12260>.
- Ferrington, L. C. Jr. (2008). Global diversity of non-biting midges (Chironomidae, Insecta, Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**(1), 447-455. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9130-1>.
- Gomes, W. I. A., Jovem-Azevêdo, D. da, Paiva, F. F., Milesi, S. V. & Molozzi, J. (2018). Functional attributes of Chironomidae for detecting anthropogenic impacts on reservoirs: A biomonitoring approach. *Ecological Indicators*, **93**, 404-410. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.006>.
- Heinis, F., Van de Bund, W. J. & Davids, C. (1989). Avoidance of low oxygen and food concentrations by the larvae of Tanytarsus species. *Acta Biologica Debrecina. Supplementum Oecologica Hungarica*, **3**, 141-145.
- Hepp, L. U. & Santos, S. (2008). Benthic communities of streams related to different land uses in a hydrographic basin in southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, **157**(1-4), 305-318. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0536-7>.
- Hepp, L. U., Urbim, F. M., Tonello, G., Loureiro, R. C., Sausen, T. L., Fornel, R. & Restello, R. M. (2016). Influence of land-use on structural and functional macroinvertebrate composition communities associated on detritus in Subtropical Atlantic Forest streams. *Acta Limnologica Brasiliensia*, **28**, 1-10. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X0616>.
- Lana, C. E., Alves, J. M. P. & Castro, P. T. A. (2001). Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. *Revista Escola de Minas*, **54**(2), 121-126. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>.

- Legendre, P., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M. L. (1997). Relating behavior to habitat: solutions to the fourth-corner problem. *Ecology*, **78**, 547–562. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[0547:RBTHST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0547:RBTHST]2.0.CO;2).
- Lemes-Silva, A. L., Pagliosa, P. R. & Petrucio, M. M. (2014). Inter-and intra-guild patterns of food resource utilization by chironomid larvae in a subtropical coastal lagoon. *Limnology*, **15**, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10201-013-0407-y>.
- Lobón-Cerviá, J., Rezende, C. F. & Castellanos, C. (2012). High species diversity and low density typify drift and benthos composition in Neotropical streams. *Fundamental and Applied Limnology*, **181**(2), 129-142. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2012/0242>.
- Lucca, J. V., Pamplin, P. A. Z., Gessner, A. F., Trivinho-Strixinho, S., Spadano-Albuquerque, A. L. & Rocha, O. (2010). Benthic macroinvertebrates of a tropical lake: Lake Caçó, MA, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **70**(3), 593-600. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842010000300016>.
- Milesi, S. V., Dolédec, S. & Melo, A. S. (2016). Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. *Freshwater Science*, **35**(4), 1321-1329. <https://doi.org/10.1086/688706>.
- Minshall, G. W. (1966). Bringing biology back into water quality assessments. In Committee on inland aquatic ecosystems (eds). *Freshwater ecosystems: revitalizing educational programs in limnology*. (pp. 289-324). Washington: Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment and Resources. National Research Council. <https://doi.org/10.17226/5146>.
- Molinero, J. & Burke, R. A. (2009). Effects of land use on dissolved organic matter biogeochemistry in piedmont headwater streams of the Southeastern United States. *Hydrobiologia*, **635**(1), 289-308. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9921-7>.
- Moubayed-Breil, J. (2016). On the genus *Cricotopus* v. d. Wulp, 1874 (tremulus- group) from continental France and Corsica with description of *C. mantetanus* sp. n. and *C. royanus* sp. n. [Diptera, Chironomidae, Orthocladiinae]. *Ephemera*, **17**(2), 71-104. Available in: <https://www.researchgate.net/publication/311913533>.
- Nava, D., Restello, R. M. & Hepp, L. U. (2015). Intra- and inter-annual variations in Chironomidae (Insecta: Diptera) communities in subtropical streams. *Zoologia*, **32**(3), 207-214. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702015000300005>.
- Niemi, G. J. & McDonald, M. E. (2004). Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology and Evolutionary Systematics*, **35**, 89–111. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132>.
- Oliveira-Filho, A. T., Budke, J. C., Jarencow, J. A., Eisenlohr, P. V. & Neves, D. R. M. (2015). Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *Journal of Plant Ecology*, **8**(3), 242-260. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtt058>.
- Pillot, H. K. M. M. (2014). *Chironomidae larvae of the Netherlands and adjacent lowlands. General ecology and Tanypodinae*. KNNV Publishing: The Netherlands, 144p.

- R Core Team (2018) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. <https://www.R-project.org>
- Ríos-Touma, B., Prat, N. & Encalada, A. C. (2012). Invertebrate drift and colonization processes in a tropical Andean stream. *Aquatic Biology*, **14**, 233–246. <https://doi.org/10.3354/ab00399>.
- Saulino, H. H., Leite-Rossi, L. A. & Trivinho-Strixino, S. (2016). The effect of small reservoirs on chironomid diversity and trait composition in Savanna streams: evidence for Serial Discontinuity Concept. *Hydrobiologia*, **793**(1), 109–119. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3013-2>.
- Schmidt, S., Wagner, B., Heiri, O., Klug, M., Bennike, O. & Melles, M. (2010). Chironomids as indicators of the Holocene climatic and environmental history of two lakes in Northeast Greenland. *Boreas*, **40**(1), 116–130. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2010.00173.x>.
- Sensolo, D., Hepp, L. U., Decian, V. & Restello, R. M. (2012). Influence of landscape on assemblages of Chironomidae in Neotropical streams. *Annales de Limnologie*, **48**, 391–400. <https://doi.org/10.1051/limn/2012031>.
- ¹Serra, S. R. Q., Graça, M., Dolédec, S. & Feio, M. J. (2017). Chironomidae traits and life history strategies as indicators of anthropogenic disturbance. *Environmental Monitoring and Assessment*, **187**(7), 326. <http://doi.org/10.1007/s10661-017-6027-y>.
- ²Serra, S. R. Q., Graça, M., Dolédec, S. & Feio, M. J. (2017). Discriminating permanente from temporary rivers with traits of chironomid genera. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, **53**, 161–174. <https://doi.org/10.1051/limn/2017004>.
- Serra, S. R., Cobo, F., Graça, M. A., Dolédec, S. & Feio, M. J. (2016). Synthesising the trait information of European Chironomidae (Insecta: Diptera): Towards a new database. *Ecological indicators*, **61**(2), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.028>.
- Shieh, S. H., Wang, L. K. & Hsiao, W. F. (2012). Shifts in functional traits of aquatic insects along a subtropical stream in Taiwan. *Zoological Studies*, **51**(7), 1051–1065. <https://doi.org/10.6620/ZS>.
- Trivinho-Strixino, S. (2011). *Larvas de Chironomidae. Guia de identificação*. São Carlos, Depto. Hidrobiologia/Lab. Entomologia Aquática/ UFSCar.
- Vandewalle, M., Debello, F., Berg, M. P., Bolger, T., Dolédec, S., Dubs, F., ... Woodcock, B. A. (2010). Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. *Biodiversity and Conservation*, **19**, 2921–2947. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9798-9>.
- Vaughn, C. C. (2010). Biodiversity losses and ecosystem function in freswaters: emerging conclusions and research directions. *BioScience*, **60**(1), 25–35. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.1.7>.
- Verberk, W. C. E. P., Van Noordwijk, C. G. E. & Hildrew, A. G. (2013). Delivering on a promise: integrating species traits to transform descriptive community ecology into a

predictive science. *Freshwater Science*, **32**(2), 531–547. <https://doi.org/10.1899/12-092.1>

Vieira, N. K. M., Poff, N. L., Carlisle, D. M., Moulton, S. R., Koski, M. L. & Kondratieff, B. C. (2006). *A database of lotic invertebrate traits for North America. Data Series 187*. US Geological Survey, Reston, Virginia.

CONCLUSÃO GERAL E PERSPECTIVAS

No primeiro capítulo observamos a importância significativa dos anos sobre a distribuição dos organismos. As variações significativas de variáveis como turbidez, COT e OD corroboraram nossa hipótese de que parâmetros ambientais influenciariam indiretamente as assembleias ao longo do tempo. A significância dos anos para a estruturação das assembleias também corrobora nossa segunda hipótese que leva em consideração a importância da pluviosidade sobre estes ambientes, já que a maior contribuição do ano de 2014 para a diversidade beta nas três subfamílias pode estar diretamente relacionada a heterogeneidade causada pelas alterações nas condições dos riachos.

No segundo capítulo observamos a relação entre a escala temporal e as categorias de atributos funcionais. A relação dos anos com características ambientais como pastagem, vegetação e agricultura e a influência de fatores morfométricos como solo exposto, tamanho da área de drenagem e gradiente do canal principal, evidencia a influência que as áreas de entorno exercem sobre os ambientes aquáticos e suas assembleias. A observação de que anos que apresentaram menor pluviosidade (2010 e 2012) e maior pluviosidade (2011, 2013 e 2014) e que demonstraram relação com diferentes atributos (estação de emergência, hábito alimentar e relação com o substrato) indica a importância de analisar as assembleias de Chironomidae em uma escala temporal, já que esta pode variar de acordo com os anos e a influência de fenômenos climáticos.

Diversos estudos já foram realizados na região levando em consideração a diversidade biológica deste grupo. Trabalhos que discutem a integridade da paisagem, a presença de metais pesados e a relação destes com deformidades morfológicas, assim como trabalhos que avaliam o efeito de fenômenos climáticos como *El Niño* e *La Niña*, são alguns exemplos. Diante disto, novos estudos que levem em consideração os atributos funcionais deste grupo, seriam de grande valia no intuito de aumentar o número de informações a cerca destes organismos, além de permitir uma maior compreensão sobre os padrões ecológicos de tais assembleias.

APÊNDICES

Apêndice 1: Média $\pm$ erro padrão das variáveis ambientais mensuradas nos riachos estudados entre os anos de 2010 a 2014. Os valores de pluviosidade são apresentados como o acumulado para o período de 30 dias que antecederam as coletas. CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; COT: Carbono orgânico total.

	2010	2011	2012	2013	2014
Temperatura da água (°C)	22,2 $\pm$ 0,8	20,7 $\pm$ 0,3	21,5 $\pm$ 1	22,8 $\pm$ 0,6	23 $\pm$ 0,8
CE (mS cm⁻¹)	0,06 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,002	0,09 $\pm$ 0,003	0,012 $\pm$ 0,01
Turbidez (UNT)	1,3 $\pm$ 0,4	13,4 $\pm$ 5,5	6,3 $\pm$ 0,9	15,7 $\pm$ 6,3	12 $\pm$ 4
OD (mg L⁻¹)	8,2 $\pm$ 0,7	10,4 $\pm$ 0,3	9,6 $\pm$ 0,8	11,9 $\pm$ 1	14,1 $\pm$ 1
COT (mg L⁻¹)	68,4 $\pm$ 40	17,1 $\pm$ 1,7	83,9 $\pm$ 0,09	61,3 $\pm$ 18,4	68,1 $\pm$ 4,6
Pluviosidade (mm³)	126,5	194,4	91,2	176,3	152,6

Apêndice 2: Lista de gêneros identificados durante o período de estudo.

Chironominae

Aedokritus Roback, 1958
Beardius Reuss & Sublette, 1985
Caladomyia Sawedal, 1981
Chironomus Meigen, 1803
Cryptochironomus Kieffer, 1918
Dicrotendipes Kieffer, 1913
Endochironomus Kieffer, 1918
Endotribelos Grodhaus, 1987
Goeldichironomus Fittkau, 1965
Manoa Fittkau, 1963
Microchironomus Kieffer, 1918
Parachironomus Lenz, 1921
Paralauterborniella Lenz, 1941
Paratanytarsus Thienemann & Bause, 1913
Paratendipes Kieffer, 1915
Phaenopsectra Kieffer, 1921
Pseudochironomus Malloch, 1915
Polypedilum Kieffer, 1912
Rheotanytarsus Thienemann & Bause, 1913
Riethia Kieffer, 1917
Stenochironomus Kieffer, 1919
Tanytarsus Van Der Wulp, 1874
Xestochironomus Sublette & Wirth, 1972

Orthoclaadiinae

Antillocladius Saether, 1981
Cardiocladius Kieffer, 1912
Corynoneura Winnertz, 1846
Cricotopus/Orthoccladius
Cricotopus Van Der Wulp, 1874
Gymnometriocnemus Goetghebuer, 1932
Lopescladius Oliveira, 1967
Metriocnemus Van Der Wulp, 1874
Nanocladius Kieffer, 1913
Onconeura Andersen & Saether, 2005
Orthoclaadiinae B
Paracladius Hirvenoja, 1973
Parakiefferiella Thienemann, 1936
Parametriocnemus Goetghebuer, 1932
Paraphaenocladius Thienemann, 1924
Psectrocladius Kieffer, 1906

Rheocricotopus Thienemann & Harnish, 1932

Thienemannia Kieffer, 1909

Thienemaniella Kieffer, 1911

Ubatubaneura Wiedenbrug & Trivinho-Strixino, 2009

Tanypodinae

Ablabesmya Johannsen, 1905

Brundiniella Roback, 1978

Denopelopia Roback & Rutter, 1988

Djalmabatista Fittkau, 1968

Grupo Thienemannimyia Fittkau, 1957

Hudsonimyia Roback, 1979

Labrundinia Fittkau, 1962

Larsia Fittkau, 1962

Nilotanypus Kieffer, 1923

Paramerina Fittkau, 1962

Parapentaneura Stur; Fittkau & Serrano, 2006

Pentaneura Philippi, 1865

Procladius Skuse, 1889

Rheopelopia Fittkau, 1962

Tanypus Meigen, 1803

Thiennemannimyia Fittkau, 1957

Zavrelimyia Fittkau, 1962

Apêndice 3: Parâmetros morfométricos das áreas de drenagem dos riachos estudados entre os anos de 2010 a 2014. Solo Ex.: Solo Exposto; Agri: Agricultura; Vege: Vegetação; Área D.: Área de drenagem (Km²); G: Gradiente do canal principal; Dm: Declividade média; RN: Coeficiente de rugosidade.

Coord Y	Coord X	Pontos	Solo Ex.	Agri	Past/Pou	Vege	Area D.	G	Dm	RN
-27° 46' 10.59834"	-52° 14' 55.894992"	ERE1	62,85	24,05	6,47	6,63	1,96	21,48	9,65	6,34
-27° 45' 35.070732"	-52° 15' 53.736696"	ERE2	68,73	20,7	6,58	3,98	14,27	59,81	15,70	19,28
-27° 42' 47.100276"	-52° 13' 30.844776"	ERE3	54,64	18,22	15,23	11,9	14,94	48,62	15,49	25,24
-27° 43' 29.803152"	-52° 12' 44.836452"	ERE4	40,19	48,49	6,69	4,53	11,01	35,10	13,61	17,75
-27° 32' 36.276648"	-51° 55' 9.395292"	MR1	18,44	15,26	45,18	21,12	2,55	11,86	21,66	22,14
-27° 32' 33.30006"	-51° 56' 3.100056"	MR2	6,65	18,75	58,5	16,1	1,74	10,04	16,07	12,95
-27° 20' 49.461576"	-52° 40' 29.13834"	FAX1	15,42	14,16	50,47	19,95	1,62	15,01	7,62	3,53
-27° 19' 45.229872"	-52° 39' 54.28684"	FAX2	18,61	33,84	37,81	9,74	1,81	3,74	16,28	9,44
-27° 30' 34.773408"	-52° 9' 25.90038"	TA1	30,57	27,23	26,62	15,59	3,83	17,62	24,17	24,68
-27° 28' 49.679184"	-52° 9' 21.768444"	TA2	19,92	21,8	34,35	23,94	1,82	18,66	19,29	19,76

