

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia
hidrográfica do rio Forqueta (RS, Brasil) em múltiplas escalas espaciais**

Tese de Doutorado

ANDREIA APARECIDA GUIMARÃES STROHSCHOEN

Porto Alegre, abril de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia hidrográfica do rio Forqueta (RS, Brasil) em múltiplas escalas espaciais

ANDREIA APARECIDA GUIMARÃES STROHSCHOEN

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, com ênfase em Ecologia.

Orientador: Prof. Dra. Norma Luiza Würdig

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Albano Schwarzbold, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, UFRGS.

Prof. Dr. Eduardo Périco, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates.

Prof. Dr. Marcos Callisto, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Porto Alegre, abril de 2011

AGRADECIMENTOS

A Deus, ao meu Anjo da Guarda e Amigos Espirituais pelo apoio nesta caminhada de conhecimento.

A Profa. Norma Luiza Würdig pela confiança, apoio e dedicação.

A Suzana F. Freitas e Vera L. Souza por todo auxílio no Laboratório de Invertebrados Bentônicos da UFRGS.

Ao pessoal do Museu de Ciências Naturais da UNIVATES pela elaboração dos mapas, em especial aos Biólogos Rafael Rodrigo Eckardt e Úrsula Arend.

Aos bolsistas do Centro Universitário UNIVATES: Adriani Muller, Daiana Bald, Eduardo Martins de Souza e Úrsula Arend pelo auxílio nas atividades de campo.

Ao doutorando Eduardo Vélez do Setor de Ecologia Quantitativa do Departamento de Ecologia – UFRGS, pelo auxílio nas análises estatísticas.

A amiga Claudete Rempel pela leitura e discussão dos manuscritos.

Ao Centro Universitário UNIVATES pelo apoio financeiro.

Ao PPG Ecologia – UFRGS.

A minha família pelo incentivo constante. Ao meu pai nesta caminhada, que nos reencontremos novamente.

Aos meus amores, pelo apoio e compreensão.

RESUMO

Os macroinvertebrados bentônicos constituem uma importante comunidade em riachos, pois participam do fluxo de energia, sendo um importante recurso alimentar para níveis tróficos adjacentes e superiores. Formam uma fauna bastante diversificada e a estrutura desta comunidade pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, os quais variam no tempo, no espaço e na escala analisada. O presente estudo objetivou: a) analisar a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em uma bacia hidrográfica gaúcha, a saber bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) em nível taxonômico e de grupos funcionais; b) investigar a variação sazonal (verão e inverno) e a variação espacial da estrutura da comunidade em função de diferenças espaciais nas características morfo-fisiográficas dos trechos amostrados; c) identificar a variabilidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais (rio, segmento de rio e mesohábitat), enfatizando quais escalas espaciais melhor explicam a estrutura da comunidade nesta bacia; d) investigar quais os descritores ambientais mensurados influenciam na estrutura da comunidade e e) qual a porcentagem da variabilidade na riqueza de organismos pode ser explicada pelos descritores ambientais locais mensurados. Realizou-se amostragens de macroinvertebrados bentônicos e descritores ambientais nos períodos de inverno de 2007 e verão de 2008 em oito sítios de amostragem na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil). A estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos foi caracterizada por uma baixa diversidade, presença de muitas famílias raras e poucas abundantes. Houve predomínio do grupo funcional de coletores nos ambientes analisados. Observou-se maior diversidade nos locais amostrados localizados na unidade geomorfológica Serra Geral, denotando a importância da geomorfologia na estruturação das comunidades aquáticas. Para a análise da estrutura da comunidade em escalas espaciais, as amostragens seguiram um delineamento amostral hierárquico. Foram analisados oito segmentos de rio, considerando os mesohabitats: corredeira e remanso, no verão de 2008. A análise *nested* Anova mostrou que a comunidade de macroinvertebrados bentônicos varia nas escalas analisadas, sendo que a comunidade está estruturada principalmente de acordo com a escala de mesohábitat. 46,5% da variação na riqueza foi explicada pelas diferenças entre os mesohabitats. Nesta escala houve maior variação na estrutura da comunidade, segundo a Permanova. A Análise de Redundância parcial (pRDA) evidenciou pH, largura do leito do rio, velocidade da corrente e alcalinidade como os descritores que mais contribuíram para explicar a estrutura espacial da comunidade. A partilha da variância mostrou que 12,5% da variabilidade da comunidade foi explicada puramente pelos descritores ambientais. Os

resultados mostraram a correspondência entre a distribuição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos e os descritores ambientais, demonstrando a importância das variações em mesoescala para o estudo da distribuição destes organismos nesta bacia.

Palavras-chave: Descritores ambientais, Geomorfologia, Diversidade, Modelo amostral hierárquico, Partição de variância, Mesohabitats.

Abstract

The benthic macroinvertebrate constitute an important community in streams, as part of the flow of energy, being an important food resource for adjacent and higher trophic levels. Form a very diverse fauna and the structure of this community can be influenced by several environmental factors, which vary in time, in space and on the scale considered. This study aimed to: a) analyze the community structure of benthic macroinvertebrate in Forqueta river basin (RS, Brazil) in level taxonomic and functional groups, during winter 2007 and summer 2008, b) investigate the seasonal variation (summer and winter) and the spatial variation of community structure due to spatial differences in morpho-physiographic, d) identify the variability of the macroinvertebrate community at three spatial scales (river, river segment and mesohabitat), emphasizing spatial scales which best explain the community structure in this basin, e) investigate the descriptors which measured environmental influences on community structure and f) what percentage of the variability in the richness of organisms can be explained by local environmental descriptors. The structure of the benthic macroinvertebrate community was characterized by a low diversity, the presence of many rare and few abundant families. There was a higher of the functional group of collectors in the environments analyzed. There was greater diversity in Serra Geral geomorphological unit, emphasizing the importance of geomorphology in structuring aquatic communities. For the analysis of community structure in spatial scales, the sampling followed a hierarchical sampling design. We analyzed the eight segments of the river, considering the mesohabitats: riffles and pools, in the summer of 2008. The nested ANOVA showed that the benthic macroinvertebrate community changes in scales, and that the community is organized mainly according to the scale of mesohabitat. 46.5% of the variation in richness was explained by differences between the mesohabitats. This scale was greater variation in community structure, according to Permanova. Partial Redundancy Analysis (pRDA) showed pH, width of the river bed, flow and alkalinity as the descriptors that contributed most to explain the

spatial structure of the community. The partition of variance showed that 12.5% of the variability of community was explained by purely environmental descriptors. The results showed the correlation between the distribution of benthic macroinvertebrate communities and environmental descriptors, demonstrating the importance of variations in mesoscale to study the distribution of these organisms in this basin.

Keywords: Environmental descriptors, Geomorphology, Diversity, Hierarchical sampling model, Partition of variance, Mesohabitats.

SUMÁRIO

RESUMO.....	V
ABSTRACT	VI
INTRODUÇÃO GERAL	06
REFERÊNCIAS	10
ARTIGO I - ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS.....	11
Resumo.....	11
Abstract.....	11
Introdução.....	11
Material e Métodos.....	13
Área de estudo.....	13
Metodologia de amostragem.....	14
Análise dos dados.....	15
Resultados.....	16
Descritores ambientais.....	16
Comunidade de macroinvertebrados bentônicos.....	18
Discussão.....	21
Referências.....	25
ARTIGO II - ESCALAS DE VARIABILIDADE DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS.....	28
Resumo.....	28
Abstract.....	28
Introdução.....	29
Material e Métodos.....	30
Área de estudo.....	30
Metodologia de amostragem.....	31
Análise dos dados.....	32
Resultados.....	34
Discussão.....	42
Referências.....	45
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49

LISTA DE FIGURAS

- I - Figura 1. Mapa da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), apresentando a rede hidrográfica, com a localização dos oito sítios de amostragens (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3). Classificação da rede hidrográfica, segundo Strahler (1957), baseado em cartas topográficas em escala 1:50.000.....13
- I - Fig. 2. Abundância total (nº de ind.) de macroinvertebrados bentônicos coletados nos oito sítios de amostragem da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 e verão de 2008.19
- I - Fig. 3. Dendrograma obtido a partir da Análise de Agrupamento utilizando o Método de Ward's com dados de abundância transformados pela raiz quadrada. Sítios de amostragem PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3 nos períodos do inverno de 2007 e verão de 2008. Correlação cofonética = 0,581.....20
- I - Fig. 4. Abundância total (%) de macroinvertebrados bentônicos pertencentes aos grupos funcionais (raspadores, coletores de depósito, predadores, coletores-filtradores e fragmentadores) encontrados nos oito sítios amostrados (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), no inverno de 2007 (inv.) e no verão de 2008 (ver.).....21
- II - Fig. 1. Mapa da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), apresentando a rede hidrográfica, com a localização dos oito sítios de amostragens (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3). Classificação da rede hidrográfica, segundo STRAHLER (1957), baseado em cartas topográficas em escala 1:50.000.....30
- II - Fig. 2. Ordenação da similaridade de Bray-Curtis pelo método de escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) para as amostras de macroinvertebrados bentônicos coletados no verão de 2008 na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil). Legenda: R = remanso, C = corredeira, P1 a P8 segmentos amostrados. Stress = 0,177.....36
- II - Fig. 3. Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos da Análise de Redundância parcial (pRDA) para os descritores ambientais, famílias de macroinvertebrados bentônicos coletados em oito pontos de amostragem (segmentos de rio) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), verão de 2008. Legenda: P1 a P8 = pontos de amostragem. R = remanso e C = corredeira. TEM: Temperatura da água; VEL: velocidade da corrente; LARG: Largura do leito do rio; pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; TUR: turbidez; COND: Condutividade; ALC: Alcalinidade; DUR: Dureza total; DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; DQO: Demanda química de oxigênio; STD: Sólidos totais dissolvidos; NITRA: Nitratos; CLO: Cloretos; Baet = Baetidae; Caen = Caenidae; Leptop = Leptophlebiidae; Gripop = Griptopterygidae; Perl = Perlidae; Hydrops = Hydropsychidae; Philop = Philopotamidae; Coena = Coenagrionidae; Libel = Libellulidae; Cerato = Ceratopogonidae; Chiron = Chironomidae; Simul = Simullidae; Elm = Elmidae; Hydroph = Hydrophillidae; Pseph = Psephenidae; Nauc = Naucoridae; Gerri = Gerridae; Hydrobi = Hydrobiidae; Aegl = Aeglididae; Pyra = Pyralidae, Tipu = Tipulidae, Coryd = Corydalidae.....38
- II - Fig. 4. Partilha da variância da explicabilidade da estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos obtidos pela Análise de Redundância parcial (pRDA), considerando os descritores ambientais (desc. ambientais) e a matriz geográfica (pos. geog.)

para as famílias de macroinvertebrados bentônicos coletados na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) no verão de 2008.....39

LISTA DE TABELAS

I - Tab. I. Características ambientais dos oito sítios de amostragem da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 e verão de 2008. Legenda: PA = Planície Alúvio-coluvionar, SG = Serra Geral, PC = Planalto dos Campos Gerais; 1^a a 6^a = ordem dos rios, segundo sistema de classificação de STRAHLER (1957).....14

I - Tab. II. Descritores ambientais dos oito locais de amostragem da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 (inv.) e verão de 2008 (ver.). Legenda: TEMP: temperatura da água (°C), VEL: Velocidade da corrente (m/s), LARG: Largura do leito do rio (m), pH: potencial hidrogeniônico, OD: oxigênio dissolvido (mg/L), TUR: turbidez (UT), COND: Condutividade (μS/cm), ALC: Alcalinidade (mg/L), DUR: Dureza total (mg/L), DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅ – mg/L), DQO: Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg/L), STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L), NITRA: Nitrato (mg/L), CLO: Cloreto (mg/L).....17

I - Tab. III. Classificação diamétrica do material do leito (ROSGEN, 1994) e percentual da matéria orgânica do sedimento nos oito locais amostrados da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 e verão de 2008.....18

I – Tab. IV. Abundância total (nº de ind.) de macroinvertebrados bentônicos em oito sítios de amostragem na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) coletados no inverno de 2007 (inv.) e verão (ver.) de 2008. Legenda: GT: grupo taxonômico; GP: grupo funcional; Ras: raspadores; Col: coletores de depósito; Pred: predadores; Filt: coletores-filtradores; Frag: fragmentadores..... 18

I - Tab. V. Densidade média (ind/m²) (D), Riqueza taxonômica (Rt) e Riqueza rarefeita (Rr) obtidas a partir da coleta de macroinvertebrados bentônicos em oito sítios de amostragem na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 (inv.) e verão de 2008 (ver.).....19

II - Tab. I. Descritores ambientais dos mesohabitats (rem: remanso; cor: corredeira) pertencentes aos oito sítios de amostragem (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), no verão de 2008. Legenda: Oderm = ordem do rio no segmento de amostragem; UG = unidade geomorfológica; Subst. = substrato predominante; Agric. = atividade agrícola; Alcal. = Alcalinidade (mg/L); Clor. = Cloreto (mg/L); Cond. = Condutividade (μS/cm); DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅ – mg/L); DQO = Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg/L); Dureza = Dureza total (mg/L), Larg. = Largura do leito do rio (m); Nitra. = Nitrato (mg/L); OD = oxigênio dissolvido (mg/L); pH = potencial hidrogeniônico; STD = Sólidos totais = dissolvidos (mg/L); Temp. = temperatura da água (°C), Turb. = turbidez (UT); Vel. = Velocidade da corrente (m/s); PA = Planície Alúvio-coluvionar, SG = Serra Geral, PC = Planalto dos Campos Gerais; 1^a a 6^a = ordem dos rios, segundo sistema de classificação de STRAHLER (1957).....35

II - Tab. II. Composição, abundância e riqueza de macroinvertebrados bentônicos coletados em oito sítios de amostragem (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) nos mesohabitats (rem. = remanso, cor. = corredeira) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), verão de 2008.....36

II - Tab. III. Resultados da análise de componentes de variância (<i>nested</i> ANOVA) para riqueza rarefeita de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais (entre rios, segmentos dentro de rios, mesohabitats dentro de segmentos e rios). Legenda: gl = graus de liberdade, QM = quadrado médio, F = valor do teste, $p < 0,05$, CV = componentes de variância (em %).....	38
II - Tab. IV. Resultados da análise de variância multivariada permutacional (permanova) para a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais (entre rios, segmentos dentro de rios, mesohabitats dentro de segmentos e rios). Legenda: gl = graus de liberdade, QM = quadrado médio, F = valor do teste, $p < 0,05$	39
II - Tab. V. Autovalores, correlação espécie/ambiente e porcentagem cumulativa da variância explicada nos três eixos da Análise de Redundância parcial (pRDA) para as comunidades de macroinvertebrados bentônicos e para os descritores ambientais estudados na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), amostragem no verão de 2008.....	40
II - Tab. VI. Correlações inter-set dos dois primeiros eixos da Análise de Redundância parcial (pRDA) com os descritores ambientais registradas na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), amostragem no verão de 2008.....	40

Introdução Geral

As características das águas dos rios são consequência do histórico geológico da região, do tipo de solo que ocorrem em suas bacias de drenagem, do clima, da geomorfologia e condições geoquímicas, da cobertura vegetal e, de forma principal, dos diversos tipos de ação antrópica.

A qualidade de um ambiente aquático pode ser definida segundo a presença de substâncias inorgânicas ou orgânicas em diferentes concentrações e segundo a composição e estrutura da biota aquática presente neste corpo de água. Depende do clima e do solo da região, da vegetação circundante e da influência antrópica. Sofre variações temporais e espaciais em decorrência de processos internos e externos ao corpo d'água (Meybeck & Helmer 1992).

A capacidade adaptativa dos animais bentônicos, em relação às condições do ambiente aquático, é básica para a sua distribuição, crescimento e produtividade e também para o potencial reprodutivo. Estes organismos diferem quanto à tolerância à poluição orgânica, desde organismos típicos de ambientes limpos ou de boa qualidade de águas (como exemplo, ninfas de Plecoptera e larvas de Trichoptera – Insecta), passando por organismos tolerantes (como alguns Heteroptera e Odonata – Insecta e Amphipoda – Crustacea) até organismos resistentes (alguns Chironomidae – Diptera, Insecta e Oligochaeta – Annelida). Observa-se que locais poluídos geralmente possuem baixa diversidade de espécies e elevada densidade de organismos restritos a grupos mais tolerantes (Callisto et al. 2001).

Ambientes estáveis tendem a apresentar maior densidade e diversidade bentônica (Gibbins et al. 2010). Alguns táxons respondem de forma expressiva às alterações no fluxo d'água (James et al. 2009), sendo alguns mais sensíveis às mudanças provocadas por estas alterações, como diversidade de habitats, na sedimentação e na disponibilidade de perífiton como recurso alimentar (Dewson et al., 2007).

A distribuição das comunidades de macroinvertebrados aquáticos pode ser determinada por inúmeras características ambientais, associadas a diferentes escalas espaciais. Vários fatores atuam em escala local sobre as comunidades aquáticas, como velocidade da corrente, substrato, disponibilidade de alimentos, ação antrópica, fluxo na água e próximo aos sedimentos, temperatura e oxigênio dissolvido (Hynes et al. 1970, Bispo & Oliveira 2007, Tundisi & Tundisi, 2008). Outros fatores estão associados às grandes escalas espaciais, como uso da terra, condições climáticas, altitude, formação vegetacional, localização geográfica, geomorfologia, entre outros (Li et al. 2001, Roque et al. 2003).

Os padrões de variabilidade sazonal e espacial da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na maioria das bacias hidrográficas brasileiras são pouco conhecidos. No presente estudo optou-se por estudar a estrutura da comunidade de macrobentos em uma destas bacias, a bacia do rio Forqueta (RS, Brasil).

Esta bacia é constituída por uma ampla e densa rede de drenagem, apresentando trechos de remansos e corredeiras em seu curso. A rede hidrográfica apresenta pequena faixa de mata ciliar, sendo que em alguns locais, esta é inexistente. O leito dos rios é formado por substrato predominantemente rochoso, com a presença desde seixos até areia fina, em trechos de fluxo menos intenso. Nas áreas onde a mata ciliar cobre o arroio, pode-se observar um grande acúmulo de folhiço entre os cascalhos.

De acordo com o Radam Brasil (1986) ocorrem 4 unidades geomorfológicas na bacia hidrográfica do Rio Forqueta: Planície Alúvio-coluvionar, Patamares da Serra Geral, Serra Geral e Planalto dos Campos Gerais. Neste estudo, os sítios de amostragem selecionados localizaram-se nas unidades geomorfológicas: Planície Alúvio-coluvionar, Serra Geral e no Planalto dos Campos Gerais.

A unidade geomorfológica Planície Alúvio-coluvionar corresponde à borda oeste da Planície Gaúcha, no contato com a unidade de relevo Planalto Sul-Rio-Grandense. Esta constitui ampla área de acumulação fluvial, apresentando áreas brejosas sujeitas a inundações periódicas, correspondentes às várzeas atuais ou áreas levemente inclinadas, apresentando rupturas de declive em relação à várzea e ao leito dos rios (terraços fluviais). Na bacia, os depósitos aluvionares e os materiais coluviais são provenientes das cheias do Rio Forqueta e do arroio Forquetinha, que depositam os materiais sobre a planície de inundação. Essas áreas apresentam sedimentos com variação textural (depósitos arenosos, areno-argilosos e cascalhos), permeabilidade e erosão variáveis e com lençol freático próximo ou na superfície, favorecendo o escoamento superficial.

A Serra Geral constitui-se nos terminais escarpados abruptos do Planalto dos Campos Gerais, nas bordas leste e sul, desenvolvidas sobre rochas efusivas básicas, em especial. As formas do relevo na área serrana são representadas por profunda e intensa dissecação com marcante controle estrutural, frequentes ocorrências de sulcos estruturais de diversas orientações e cursos fluviais a ele adaptados.

O Planalto dos Campos Gerais representa ampla área elevada, onde se registram as maiores cotas altimétricas de todo o domínio da bacia. É caracterizado por apresentar um relevo relativamente plano. No contato com a Formação Serra Geral são observadas rupturas de declive nas encostas, gerando a exposição de linhas de pedra. As linhas estruturais,

geralmente são ocupadas pelos cursos de água, com diversas orientações. Originalmente, a cobertura vegetal predominante nesta unidade eram os campos, ocorrendo ainda disseminados capões e florestas-de-galerias, compostas de araucárias, em especial (Radam 1986).

A região onde esta bacia hidrográfica encontra-se inserida apresenta segundo a classificação de Köppen dois tipos climáticos mais gerais, sub-tropical, significando clima temperado moderado chuvoso, cuja temperatura dos meses quentes é superior a 22°C (Cfa). Além deste, apresenta clima temperado com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C. As temperaturas apresentam a variabilidade temporal típica de clima temperado, com médias menores no inverno (junho a setembro) e maiores no verão (dezembro a março) (Cfb) (Moreno 1961).

A precipitação pluviométrica anual média é de 1.600 mm. Chove entre 84 e 111 dias por ano. Os invernos são chuvosos, frios e com geadas intensas; com prolongadas estiagens no verão (Centro de Informações Hidrometeorológicas da UNIVATES, Lajeado, RS).

Diante destas considerações, as hipóteses consideradas no presente estudo são que a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos:

- apresenta variação sazonal, com menor diversidade no inverno (período chuvoso), devido ao arraste dos organismos e do substrato;
- varia espacialmente em função de diferenças espaciais nas características dos trechos de rios amostrados, incluindo a geomorfologia;
- é influenciada e determinada por descritores ambientais;
- varia considerando-se escalas espaciais de análise (entre rios, entre segmentos de rios e entre mesohabitats).

Para tanto, a presente tese foi organizada em dois artigos: o artigo I analisou a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil). Foram selecionados oito sítios de amostragem localizados nos rios Forqueta, Fão e Arroio Forquetinha. As coletas de macroinvertebrados bentônicos ocorreram no período do inverno de 2007 e verão de 2008, a fim de investigar a variação sazonal na estrutura da comunidade. Analisou-se também alguns descritores ambientais, inclusive características morfo-fisiográficas e geomorfológicas dos locais de amostragem. Os descritores foram correlacionados com a macrofauna para obter inferências sobre a atuação destes na estruturação da comunidade bentônica.

No artigo II foi investigada a variabilidade da macrofauna bentônica em múltiplas escalas espaciais (rio, segmento de rio e mesohabitat). Para tanto, foram consideradas as

amostras coletadas no período do verão de 2008, diferenciando-se os mesohabitats corredeira e remanso pertencentes aos oito sítios de amostragem (segmentos de rio). O período de verão foi escolhido nesta análise por apresentar mais estabilidade, sem efeitos expressivos de pluviosidade. Foi investigado o quanto da variabilidade observada foi explicada pelos descritores ambientais.

Os artigos foram enviados para a revista *Iheringia Série Zoologia* e estão apresentados de acordo com as normas desta (Anexo I).

Referências

- Bispo, P.C. & Oliveira, L.G. 2007. Diversity and structure of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insects) assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil. *Rev. Bras. Zool.* 24(2): 283-293.
- Callisto, M., Moreno, P. & Barbosa, F.A.R. 2001. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, Southeast Brazil. *Rev. Bras. Biol.* 61: 259-266.
- Dewson, Z.S., James, A.B.W., Death, R.G. 2007. A review of the consequences of decreased flow for in stream habitat and macroinvertebrates. *J.N.Am.Benthol.Soc.* 26(3): 401-415.
- Gibbins, C.N., Vericat, D., Batalla, R.J. 2010. Relations between invertebrate drift and flow velocity in sand-bed and riffle habitats and the limits imposed by substrate stability and benthic density. *J.N.Am.Benthol.Soc.* 29(3): 945-958.
- Hynes, H.B. 1970. *The ecology of running waters.* Liverpool Univ. Press. Liverpool. 555p.
- James, A.B.W., Dewson, Z.S., Death, R.G. 2009. The influence of flow reduction on macroinvertebrate drift density and distance in three New Zealand streams. *J.N.Am.Benthol.Soc.* 28(1): 220-232.
- Li, J., Herlihy, A., Gerth, W., Kaufmann, P. R., Grefory, S., Urquhart, S. & Larsen, D.P. 2001. Variability in stream macroinvertebrates at multiple spatial scales. *Freshwater Biol.* 46: 87-97.
- Meybeck, M. & Helmer, R. 1992. An introduction to water quality. *In*. CHAPMAN, D. 1996. *Water quality assessment.* 2 ed. Cambridge. University Press. 651p.
- Roque, F.O., Trivinho-Strixino, S., Strixino, G., Agostinho, E.C. & Fogo, J.C. 2003. Benthic macroinvertebrates in stream of the Jaraguá State Park (Southeast of Brazil) considering multiple spatial scales. *J.Insect Conservation* 7: 63-72.
- Tundisi, J. G. & Tundisi, T. M. 2008. *Limnologia.* São Paulo, Oficina de Textos. 631p.

MANUSCRITO 1 - Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos

Andreia Aparecida Guimarães Strohschoen^{1,2,3} & Norma Luiza Wurdig¹

¹Laboratório de Invertebrados Bentônicos, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, Cep 91.501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

²Curso de Biologia, Centro Universitário UNIVATES e Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

³Autor para correspondência: Andreia Aparecida Guimarães Strohschoen, e-mail: aaguim@univates.br.

ABSTRACT. COMMUNITY STRUCTURE OF BENTHIC INVERTEBRATES. In this study the structure of benthic macroinvertebrates in the Forqueta River hydrographical basin, RS, was analyzed according to taxonomy and functional groups during the winter 2007 (rainy) and summer 2008 (dry) to verify the influence of seasonality. It was analyzed the relations among fluvial geomorphology, environment descriptors (water temperature, current velocity, width of the river, pH, dissolved oxygen, turbidity, conductivity, alkalinity, total hardness, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total dissolved solids, nitrate, chlorides; granulometry and organic matter of the sediment) and the macroinvertebrates community in order to obtain inferences from their influences on the structure of the community. Mantel's test pointed no correlation between benthic macroinvertebrates abundance and environment descriptors. There was not observed a significant influence of seasonality on the structure of the community, that presented a low diversity, many rare families and a few abundant ones. Collectors were predominant in the environments analyzed. It was observed a larger diversity in the sampling site of the geomorphological unit called Serra Geral, what points out to the importance of geomorphology in the structure of aquatic communities. This results will be basic for future studies of diversity and conservation of this fauna in relation to anthropic changes in this environment.

KEYWORDS. Environmental descriptors, geomorphology, diversity.

RESUMO. Neste estudo foi analisada a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia hidrográfica do rio Forqueta (RS, Brasil), em nível taxonômico e de grupos funcionais, no período de inverno de 2007 (chuvoso) e verão de 2008 (seco) para verificar a influência da sazonalidade. Analisou-se as relações entre a geomorfologia fluvial, descritores ambientais (temperatura da água, alcalinidade, velocidade de corrente, largura do rio, pH, oxigênio dissolvido, DBO₅, DQO, cloretos, nitratos, sólidos totais dissolvidos, turbidez, dureza e condutividade; além de granulometria e matéria orgânica do sedimento) e a comunidade de macroinvertebrados, para obter inferências quanto à influência destes sobre a estrutura da comunidade. O teste de Mantel não identificou correlação significativa entre a abundância de macroinvertebrados bentônicos e os descritores ambientais. Não foi observada influência significativa da sazonalidade sobre a estrutura da comunidade. Esta foi caracterizada por uma baixa diversidade, presença de muitas famílias raras e poucas abundantes. Houve predomínio de coletores de depósitos nos ambientes analisados. Observou-se maior diversidade nos sítios amostrados na unidade geomorfológica Serra Geral, denotando a importância da geomorfologia na estruturação das comunidades aquáticas. Estes resultados servirão de base para futuros estudos sobre a diversidade e a conservação dessa fauna em relação às alterações antrópicas neste ambiente.

PALAVRAS-CHAVE. Descritores ambientais, geomorfologia, diversidade.

O padrão de distribuição dos organismos aquáticos nos ambientes lóticos pode ser determinado por diversos fatores relacionados à geomorfologia (WALLACE & WEBSTER, 1996), hidrologia (REMPEL *et al.*, 2000), temperatura (HAIDECKKER & HERING, 2008), qualidade da água, disponibilidade de recursos, tipo de substrato, oxigênio dissolvido, entre outros (VANNOTE *et al.*, 1980; BISPO *et al.*, 2006; ELOSEGI *et al.*, 2010; LUDLAM & MAGOULICK 2010).

Os macroinvertebrados bentônicos vivem parte, ou o ciclo completo de vida no ambiente aquático, estando associados a diversos substratos, orgânicos e inorgânicos. Tanto a distribuição, quanto a diversidade destes organismos são; dentre outros fatores, diretamente

influenciados pela estrutura destes substratos e pela quantidade de detritos orgânicos (CUMMINS & LAUFF, 1969; BEISEL *et al.* 1998; 2000).

Ambientes estáveis tendem a apresentar maior densidade e diversidade bentônica (GIBBINS *et al.*, 2010). Alguns táxons respondem de forma expressiva às alterações no fluxo d'água (JAMES *et al.*, 2009), sendo alguns mais sensíveis às mudanças provocadas por estas alterações, como diversidade de habitats, na sedimentação e na disponibilidade de perifíton como recurso alimentar (DEWSON *et al.*, 2007).

Os macroinvertebrados apresentam hábitos omnívoros ou ainda participam de mais de um grupo funcional durante seu ciclo de vida RESH & ROSENBERG (2010). As adaptações morfológicas e nutricionais determinam os mecanismos de alimentação destes organismos (MERRITT & CUMMINS, 1996). Estes autores propuseram uma classificação para os macroinvertebrados bentônicos do hemisfério norte em grupos funcionais: coletores de depósito, fragmentadores, raspadores, coletores-filtradores e predadores. Apesar de não ter sido ainda realizada uma validação deste sistema de classificação para as espécies de macroinvertebrados de rios brasileiros, alguns autores têm verificado o enquadramento de macroinvertebrados de ecossistemas límnicos em grupos funcionais de acordo com o sistema citado (CALLISTO *et al.*, 2001; ROQUE & TRIVINHO-STRIXINO, 2001).

Para a compreensão dos padrões biológicos, principalmente àqueles relacionados à distribuição espacial e temporal, é fundamental conhecer as relações entre os organismos e o ambiente, considerando que estes sofrem pressões seletivas ao longo da história evolutiva que determinam seu sucesso na colonização dos habitats (POWER & DIETRICH, 2002). Em ecossistemas fluviais a geomorfologia é citada como uma condicionante da distribuição dos organismos, por determinar os níveis de estruturação dos habitats aos quais eles estão associados.

Considerando as predições acima, no presente estudo foi analisada a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em nível taxonômico e de grupos funcionais. São escassos os dados sobre a diversidade e estrutura das comunidades de invertebrados aquáticos em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul (BUENO *et al.*, 2003). Assim, escolheu-se uma bacia hidrográfica gaúcha, especificamente a bacia do rio Forqueta.

Testou-se três hipóteses neste estudo: a) a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos é influenciada pela variação sazonal, com menor diversidade no inverno (período chuvoso), devido ao arraste dos organismos e do substrato; b) a estrutura da comunidade varia espacialmente em função de diferenças espaciais nas características dos

trechos amostrados, incluindo a geomorfologia; c) a estrutura da comunidade é influenciada e determinada por descritores ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo. A bacia hidrográfica do rio Forqueta (RS, Brasil) (Fig. 1) é uma sub-bacia da Bacia hidrográfica Taquari-Antas.

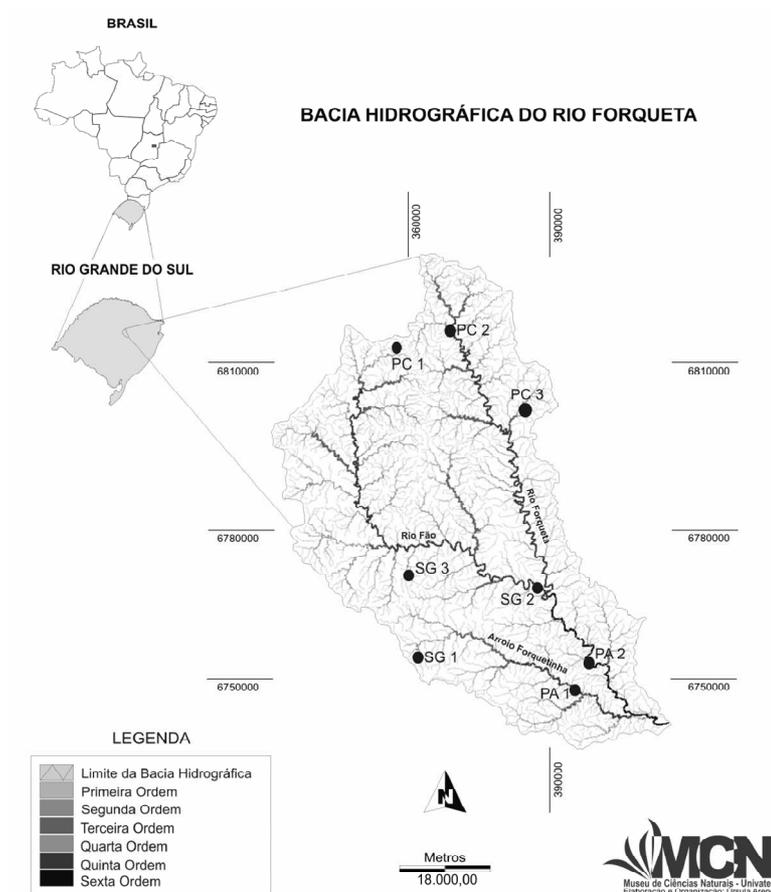


Fig. 1. Mapa da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), apresentando a rede hidrográfica, com a localização dos oito sítios de amostragens (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3). Classificação da rede hidrográfica, segundo Strahler (1957), baseado em cartas topográficas em escala 1:50.000.

Os rios objeto deste estudo são: o rio Forqueta, o rio Fão e o Arroio Forquetinha, além de seus afluentes. O sistema de classificação de rios de STRAHLER (1957), com base em cartas topográficas do IBGE em escala de 1:50.000, foi utilizado para agrupar os sítios de amostragem neste estudo (Tab. I; Fig. 1).

De acordo com o RADAM Brasil (1986) ocorrem 4 unidades geomorfológicas na bacia hidrográfica do Rio Forqueta: Planície Alúvio-coluvionar, Patamares da Serra Geral, Serra Geral e Planalto dos Campos Gerais. Neste estudo, os sítios de amostragem se localizaram na

unidade geomorfológica Planície Alúvio-coluvionar, na unidade Serra Geral e no Planalto dos Campos Gerais. Os sítios de amostragem PA1 e PA2 situaram-se em trechos de rios localizados na unidade geomorfológica Planície Alúvio-coluvionar, os sítios SG1, SG2 e SG3 na unidade geomorfológica da Serra Geral e PC1, PC2 e PC3 no Planalto dos Campos Gerais (Tab. I).

Tab. I. Características ambientais dos oito sítios de amostragem da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 e verão de 2008. Legenda: PA = Planície Alúvio-coluvionar, SG = Serra Geral, PC = Planalto dos Campos Gerais; 1^a a 6^a = ordem dos rios, segundo sistema de classificação de STRAHLER (1957).

Sítio de amostragem	Unidade Geomorfológica	Classificação Strahler	Substrato no Leito do rio	Mata ciliar	Agricultura (raio de 100 m)
PA 1	PA	5 ^a	Cascalhos, areia e silte	< 15 m	Sim
PA 2	PA	6 ^a	Cascalhos, areia e silte	< 15 m	Sim
SG 1	SG	1 ^a	Matacões e seixos	< 15 m	Sim
SG 3	SG	1 ^a	Matacões e seixos	> 15 e < 30 m	Não
SG 2	SG	5 ^a	Cascalhos, areia e silte	> 15 e < 30 m	Sim
PC 1	PC	1 ^a	Matacões e seixos	< 15 m	Não
PC 2	PC	4 ^a	Matacões e seixos	> 15 e < 30 m	Não
PC 3	PC	2 ^a	Matacões e seixos	< 15 m	Sim

Metodologia de amostragem. Foram realizadas duas amostragens da macrofauna bentônica, uma no período de julho a agosto/2007 (inverno - chuvoso) e outra no período de janeiro a fevereiro/2008 (verão - seco) em oito sítios de amostragem pré-selecionados (Fig. 1). Cada sítio de amostragem foi amostrado uma vez no verão e uma vez no inverno. O sítio de amostragem, neste estudo foi formado por um segmento de rio, de cerca de 30 metros, contendo duas corredeiras e dois remansos.

As amostragens quantitativas foram realizadas com amostrador Surber (malha: 250 µm; área: 0,09 m²) (HAUER & LAMBERTI, 1996). As coletas ocorreram de margem a margem nas duas corredeiras e nos dois remansos pertencentes a cada sítio de amostragem, sendo o material obtido reunido e considerado a unidade amostral.

O material obtido foi fixado em solução de formaldeído 4% e corado com Rosa de Bengala, em uma concentração de 12 mg/L, a fim de facilitar a visualização dos organismos durante a triagem. Realizou-se triagem em peneira de malha 250 µm em estereomicroscópio, conservando-se em álcool 70% para identificação e quantificação. Para a identificação dos organismos coletados foi utilizado o nível de família, com o auxílio de chaves (MCCAFFERTY, 1981; ROLDÁN-PÉREZ, 1988; MERRITT & CUMMINS, 1996; MUGNAI *et al.*, 2010). Para a determinação dos grupos tróficos foram utilizadas as categorias descritas em MERRITT & CUMMINS (1996).

Em cada sítio de amostragem foram obtidos os seguintes descritores ambientais: Largura do leito do rio (m), Temperatura da água (°C) e Velocidade da corrente (m/s). Além disso, foram coletadas amostras de água a uma profundidade média de 20 cm, acondicionadas em frascos com preservantes adequados para as análises de: Alcalinidade (mg/L), Cloreto (mg/L), Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5 – mg/L), Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg/L), Dureza total (mg/L), Nitrato (mg/L), Oxigênio dissolvido (mg/L), pH, Sólidos totais dissolvidos (mg/L) e Turbidez (UT). Posteriormente, foram transportados sob refrigeração, para o Laboratório de Prestação de Serviços da UNIVATES (Lajeado, RS) sendo analisados conforme APHA (1995).

A análise da composição granulométrica das amostras de sedimento foi feita pela técnica do peneiramento, conforme metodologia proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As classes diamétricas do material do leito do rio seguiram ROGEN (1994). Para a determinação do conteúdo de matéria orgânica no sedimento coletou-se amostra dos primeiros centímetros e análise segundo APHA (1995).

Análise dos dados. Para analisar a comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta foram utilizadas técnicas uni e multivariadas, considerando os descritores ambientais, locais de amostragem e períodos (inverno e verão). Estimou-se a densidade de organismos ($\text{ind.}/\text{m}^2$), abundância relativa (densidade de cada táxon/densidade total de organismos na amostra), riqueza taxonômica (observada) e riqueza rarefeita. Esta foi obtida por intermédio de uma análise de rarefação (GOTELLI & COLWELL, 2001), utilizando o programa EstimateS 8.2 (COLWELL, 2006). Esta análise utiliza a interpolação dos dados das amostras coletadas de menor valor a fim de evitar a incompatibilidade entre amostras que apresentam quantidades diferentes de indivíduos amostrados reduzindo assim os dados amostrados para um nível comum de abundância (MAGURRAN, 2004; MELO, 2008).

A homogeneidade das variâncias dos dados foi testada com o teste de Cochran's C, e para efeito de padronização dos dados, os descritores ambientais foram transformados por raiz quadrada. Da mesma forma se procedeu com os dados da matriz biológica.

Mesmo após a transformação, os dados não apresentaram normalidade. Assim, foi realizada a análise de Kruskal-Wallis para testar se a densidade de organismos, a abundância relativa e a riqueza rarefeita diferia espacial e sazonalmente (inverno - chuvoso e verão – seco), considerando $\alpha = 5\%$ como nível de significância, utilizando o programa BioEstat 5.0 (AYRES *et al.*, 2007). Igualmente procedeu-se com os descritores ambientais, inclusive com os dados referentes à geomorfologia fluvial.

A Análise de Agrupamento pelo Método de Ward's a partir da matriz de dados biológicos foi utilizada como análise exploratória multivariada, objetivando descrever as relações de similaridade entre os trechos amostrados na bacia (variação espacial) e entre os períodos chuvoso e seco (variação temporal). Para as análises citadas, utilizou-se o programa PAST ver. 2.05 (HAMMER *et al.*, 2001).

A correlação entre a abundância dos macroinvertebrados bentônicos e os descritores ambientais foi testada por meio do teste de Mantel. Foram realizadas análises multivariadas e determinadas as medidas de congruência, além dos testes de significância dos eixos de ordenação, nitidez de grupos nas análises de agrupamentos detectados a partir de amostragem (*bootstrap*) com 1.000 iterações, $\alpha = 0,01$ e testes de aleatorização. Estas análises basearam-se em medidas de dissimilaridade com distância Euclidiana. Utilizou-se o aplicativo MULTIV versão 2.3 (PILLAR 2004).

RESULTADOS

Descritores ambientais. A temperatura e a condutividade da água apresentaram os menores valores no inverno ($p < 0,05$) (Tab. II). A turbidez apresentou valores significativamente superiores na estação chuvosa (inverno) ($p < 0,05$). Quanto ao oxigênio dissolvido, este variou entre 6,2 mg/L e 9,56 mg/L, demonstrando a ocorrência de águas bem oxigenadas nesta bacia. Os demais descritores ambientais também demonstraram a boa qualidade dos ambientes amostrados.

Os locais de amostragem também foram comparados quanto à classificação granulométrica do sedimento e percentual de matéria orgânica (Tab. III). O teor de matéria orgânica no sedimento variou entre 0,1% e 11,8% do peso seco no verão e entre 0,1 e 3,8% no inverno; o sítio de amostragem PC3 apresentou os maiores valores.

Os sítios de amostragem SG1, SG3, PC1 e PC2 apresentaram predomínio de matacões, seixos e areias grossas em seu leito. O sedimento fino foi característico dos sítios PA1 e SG2.

Mesmo observando variação nos descritores ambientais somente a temperatura da água, a turbidez, a alcalinidade, a dureza e a condutividade apresentaram diferença significativa entre os períodos (inverno – chuvoso e verão – seco) (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Tab. II. Descritores ambientais (média \pm desvio padrão) dos oito locais de amostragem da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 (inv.) e verão de 2008 (ver.). Legenda: TEMP: temperatura da água (°C), VEL: Velocidade da corrente (m/s), LARG: Largura do leito do rio (m), pH: potencial hidrogeniônico, OD: oxigênio dissolvido (mg/L), TUR: turbidez (UT), COND: Condutividade (μ S/cm), ALC: Alcalinidade (mg/L), DUR: Dureza total (mg/L), DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅ – mg/L), DQO: Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg/L), STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L), NITRA: Nitrato (mg/L), CLO: Cloreto (mg/L).

Local	PA 1		PA 2		SG 1		SG 2		SG 3		PC 1		PC 2		PC 3	
	Forquetinha		Forqueta		Forquetinha		Fão		Fão		Fão		Forqueta		Forqueta	
Ordem rio	5 ^a		6 ^a		1 ^a		2 ^a		5 ^a		1 ^a		4 ^a		2 ^a	
Substrato	Cascalhos, areia e		Cascalhos, areia		Matacões e		Matacões e		Cascalhos, areia		Matacões e		Matacões e		Matacões e	
Agricultura	presente		presente		presente		ausente		presente		ausente		ausente		presente	
Descritores	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.
TEMP.	14,2 \pm 1,3	26,2 \pm 1,3	13,5 \pm 1,3	29,1 \pm 1,3	10,6 \pm 1,3	23,7 \pm 1,3	14 \pm 1,3	30,6 \pm 1,3	15,7 \pm 1,3	20 \pm 1,3	12,6 \pm 1,3	22,1 \pm 1,3	10,5 \pm 1,3	21,8 \pm 1,3	17,2 \pm 1,3	22,4 \pm 1,3
VEL.	1,4 \pm 1,3	2,4 \pm 1,1	2,4 \pm 1	1,7 \pm 0,4	2,3 \pm 1,2	2,4 \pm 1,3	3,2 \pm 0,3	2,5 \pm 1,5	2,5 \pm 0,3	3,2 \pm 1,1	3 \pm 1,8	1,3 \pm 0,3	0,7 \pm 0,2	2,8 \pm 0,6	2,2 \pm 1,4	3,2 \pm 1,3
LARG.	16 \pm 4	14,5 \pm 1	23 \pm 2,5	2,1 \pm 0,8	4,2 \pm 0,9	9,6 \pm 2,3	4,1 \pm 0,4	3,5 \pm 0,3	4,2 \pm 1,1	3,5 \pm 0,9	3 \pm 0,7	2,5 \pm 0,2	9 \pm 2	4,6 \pm 0,7	3,6 \pm 0,6	3,2 \pm 0,5
pH	7,6 \pm 0,1	7,6 \pm 0,3	7,7 \pm 0,1	7,7 \pm 0,2	7,1 \pm 0,1	7,8 \pm 0,2	8,7 \pm 0,1	8,6 \pm 0,2	7,7 \pm 0,3	7,4 \pm 0,1	7,3 \pm 0,1	7,4 \pm 0,1	7,8 \pm 0,2	7,8 \pm 0,2	6,9 \pm 0,1	7,8 \pm 0,1
OD	8,5 \pm 1,6	9,5 \pm 0,8	8,5 \pm 0,7	8,2 \pm 0,8	8,8 \pm 0,3	9,0 \pm 0,7	7,6 \pm 0,1	8,7 \pm 0,2	8,8 \pm 0,9	8,6 \pm 0,3	8,3 \pm 0,3	6,2 \pm 0,1	8,4 \pm 0,1	7,7 \pm 0,1	8,1 \pm 0,3	8,3 \pm 0,2
TUR.	81,3 \pm 5,7	3,4 \pm 0,7	71,3 \pm 3,3	6,2 \pm 1,4	10,1 \pm 2,5	4,6 \pm 0,9	71,1 \pm 1,3	5,3 \pm 0,1	82,3 \pm 7,3	8,9 \pm 0,8	7,5 \pm 0,1	4,3 \pm 0,7	66,7 \pm 1,1	5,3 \pm 0,6	22,1 \pm 1,2	5,5 \pm 0,1
COND.	69,2 \pm 2,1	69,5 \pm 4,3	38 \pm 1,1	40,2 \pm 1,7	34,8 \pm 3,3	40,9 \pm 1,8	36,7 \pm 1,1	40,9 \pm 1,9	45,1 \pm 1,2	63,9 \pm 1,0	20,8 \pm 0,8	23,3 \pm 0,3	25,2 \pm 0,6	27,5 \pm 0,8	45,3 \pm 2,3	49,6 \pm 1,0
ALC.	20 \pm 0,9	39,9 \pm 3,3	10 \pm 0,9	29,9 \pm 1,1	10 \pm 1,8	29,9 \pm 0,3	10 \pm 0,7	29,9 \pm 1,3	10 \pm 0,8	29,9 \pm 1,1	10 \pm 0,5	29,9 \pm 2,1	10 \pm 0,7	29,9 \pm 1,4	10 \pm 1,6	19,9 \pm 0,3
DUR.	19 \pm 1	28 \pm 1	10 \pm 1,7	16 \pm 3,2	20 \pm 2,1	16 \pm 1,1	10 \pm 1,5	22 \pm 1,1	12 \pm 0,8	18 \pm 1,2	28 \pm 1,2	12 \pm 0,9	10 \pm 1,8	10 \pm 1,7	12 \pm 1,7	16 \pm 2,3
DBO ₅	2 \pm 1,3	2,4 \pm 0,3	2,8 \pm 0,1	2,6 \pm 1,3	2,6 \pm 1,3	2,2 \pm 0,1	2,4 \pm 0,3	1,8 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	2,1 \pm 0,3	2,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,1	4 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	3,1 \pm 0,1
DQO	2,6 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,1 \pm 0,3	2,9 \pm 0,1	3,8 \pm 0,1	3,2 \pm 0,1	5 \pm 0,3	2,5 \pm 0,3	2,5 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1	5,5 \pm 0,5	4,8 \pm 0,3	2,3 \pm 0,2	5,7 \pm 0,3	2,7 \pm 0,1	4,1 \pm 0,5
STD	35 \pm 8	41 \pm 11	37 \pm 5	23 \pm 13	18 \pm 8	23 \pm 9	16 \pm 1	23 \pm 3	45 \pm 9	34,4 \pm 3	28 \pm 5	16 \pm 1	28 \pm 7	18 \pm 3	21 \pm 1	26 \pm 1
NITRA.	1 \pm 0,2	0,1 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1	1,3 \pm 0,3	0,2 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	1 \pm 0,3	0,1 \pm 0,1	0,7 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
CLO.	2,8 \pm 0,3	2,9 \pm 0,2	2,1 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,3 \pm 0,3	1,9 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	2 \pm 0,1	1,5 \pm 0,3	1,0 \pm 0,3	1,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1

Tab. III. Classificação diamétrica do material do leito (ROSGEN, 1994) e percentual da matéria orgânica do sedimento nos oito locais amostrados da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 e verão de 2008.

Local de amostragem	Classificação granulométrica (média do verão e inverno)			% Matéria orgânica	
	Seixos (blocos) e matacões > 64mm (%)	Cascalhos 64 a 2mm (%)	Areia e silte < 2mm (%)	inverno	verão
PA1	48,0	15,0	37,0	0,3±0,1	0,6±0,1
PA2	42,0	35,0	23,0	0,7±0,2	0,5±0,1
SG1	69,0	17,0	14,0	0,1±0,0	0,3±0,1
SG2	49,0	18,0	33,0	0,3±0,1	0,1±0,1
SG3	73,0	22,0	5,0	0,7±0,1	0,4±0,1
PC1	70,0	28,0	2,0	0,5±0,1	0,7±0,1
PC2	61,0	37,0	2,0	0,2±0,1	0,7±0,1
PC3	54,0	40,0	6,0	3,8±0,6	11,8±0,7

Considerando os locais amostrados, não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) entre os descritores. Separando-se os sítios de amostragem pertencentes a rios de pequena ordem (primeira e segunda), SG1, SG3, PC1 e PC3, dos sítios de média ordem (quarta, quinta e sexta), PA1, PA2, SG2 e PC2, também não se observou diferença significativa entre os descritores ambientais (Kruskal-Wallis, $p>0,05$).

Comunidade de macroinvertebrados bentônicos. A comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta, RS foi representada, neste estudo, por 10.910 indivíduos distribuídos em 23 grupos taxonômicos (Tab. IV). A maior abundância total de organismos foi observada no período de verão (5.949 indivíduos). Chironomidae (Diptera) apresentou o maior número de indivíduos coletados, 2.688 nos oito locais amostrados, representando 24,63% da abundância total de macroinvertebrados, sendo dominante em ambos os períodos de amostragem. O segundo táxon mais abundante foi Simuliidae (Diptera). Baetidae, Caenidae (Ephemeroptera), Coenagrionidae (Odonata) e Chironomidae (Diptera) ocorreram em todos os locais de amostragens nos dois períodos de amostragem.

Tab. IV. Abundância total (nº de ind.) de macroinvertebrados bentônicos em oito sítios de amostragem na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) coletados no inverno de 2007 (inv.) e verão (ver.) de 2008. Legenda: GT: grupo taxonômico; GP: grupo funcional; Ras: raspadores; Col: coletores de depósito; Pred: predadores; Filt: coletores-filtradores; Frag: fragmentadores.

GT	GP	PA1		PA2		SG1		SG2		SG3		PC1		PC2		PC3		Total
		inv.	ver.															
Ephemeroptera																		
Baetidae	Ras	16	17	143	25	18	23	79	42	70	100	201	205	152	45	11	28	1175
Caenidae	Col	157	263	59	17	1	44	41	76	22	42	3	5	46	91	2	49	918
Leptophlebiidae	Col	9	6	52	16	7	10	21	24	27	32	138	215	10	51	0	0	618
Plecoptera																		
Gripopterygidae	Frag.	0	2	0	0	0	0	0	0	0	28	0	3	0	38	0	0	71
Perlidae	Pred	92	71	9	5	15	0	61	60	38	142	3	167	67	50	15	27	822
Trichoptera																		
Hydropsychidae	Filt	14	262	4	93	10	75	14	83	21	71	12	0	13	12	27	175	886
Philopotamidae	Filt	12	167	3	20	7	53	5	33	5	25	3	0	2	6	11	56	408

Odonata																		
Coenagrionidae	Pred	10	89	2	6	1	14	13	8	1	15	1	3	1	13	1	14	192
Libellulidae	Pred	27	40	0	13	3	0	14	1	5	0	1	1	27	1	3	0	136
Diptera																		
Ceratopogonidae	Pred.	21	4	7	0	23	36	10	17	5	1	7	2	19	8	57	117	334
Chironomidae	Col	368	82	97	29	137	163	37	74	115	45	34	14	114	254	538	587	2688
Simuliidae	Filt	216	82	4	8	41	85	12	6	50	3	28	0	685	129	37	102	1488
Tipulidae	Frag	4	3	0	0	0	0	2	0	1	0	3	0	0	0	0	1	14
Coleoptera																		
Elmidae	Col	9	78	0	1	5	9	17	30	6	24	4	0	25	12	0	7	227
Hydrophilidae	Pred	51	152	2	2	6	6	51	29	22	14	3	0	34	9	2	58	441
Psephenidae	Ras	7	0	5	0	6	0	38	0	9	13	39	6	2	21	0	4	150
Hemiptera																		
Gerridae	Pred	1	6	0	3	2	12	0	5	0	2	0	3	0	1	0	7	42
Naucoridae	Pred	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Megaloptera																		
Corydalidae	Pred	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	4
Lepidoptera																		
Pyrilidae	Frag	0	52	0	8	0	0	0	22	0	2	0	0	8	11	0	23	126
Crustacea																		
Aegliidae	Pred	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	4
Gastropoda																		
Hydrobiidae	Ras	0	0	18	0	0	11	20	0	0	48	0	0	15	0	1	8	121
Oligochaeta																		
Tubificidae	Col	0	0	0	15	22	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
Total		1014	1376	405	261	305	548	435	510	397	611	480	624	1220	756	705	1263	

Observou-se maior densidade de indivíduos no período do verão em praticamente todos os pontos, exceto nos pontos PA2 e PC2. Destacam-se os pontos PA2 com menor e o ponto PA1 com maior densidade de organismos no verão (Fig. 2). Salienta-se que estes dois pontos apresentam características semelhantes, como influência agrícola, mata ciliar estreita, sendo de sexta e quinta ordem, respectivamente.

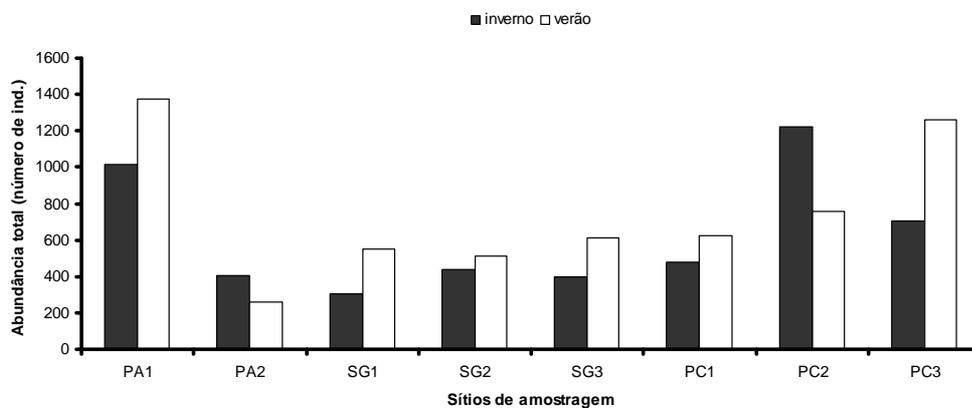


Fig. 2. Abundância total (nº de ind.) de macroinvertebrados bentônicos coletados nos oito sítios de amostragem da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 e verão de 2008.

Comparando-se a densidade de macroinvertebrados bentônicos (n° de ind.), a riqueza taxonômica (observada) e a riqueza rarefeita durante os dois períodos de amostragem (verão e inverno), não houve diferença significativa entre eles. Da mesma forma, comparando-se os oito sítios de amostragem não houve diferença significativa (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$) (Tab. V). Analisando-se os sítios de amostragem pertencentes a rios de pequena ordem (primeira e segunda), SG1, SG3, PC1 e PC3, comparativamente com os sítios em locais de média ordem (quarta, quinta e sexta), PA1, PA2, SG2 e PC2, também não se observou diferença significativa (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

Tab. V. Densidade média (ind/m²) (D), Riqueza taxonômica (Rt) e Riqueza rarefeita (Rr) obtidas a partir da coleta de macroinvertebrados bentônicos em oito sítios de amostragem na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3), no inverno de 2007 (inv.) e verão de 2008 (ver.).

	PA1		PA2		SG1		SG2		SG3		PC1		PC2		PC3	
	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.										
D	937,8	1.274	374,9	241,6	282,3	507,3	402,7	472,2	367,5	565,7	444,4	577,7	1.129,6	699,9	652,7	1.169,3
Rt	16	17	13	15	17	15	16	15	15	20	15	11	16	19	12	16
Rr	13,8	14	16,1	18	16	18,2	13,6	17,3	17	19,2	12	14,3	12,4	14,7	11	13

Considerando a geomorfologia fluvial observou-se maior riqueza rarefeita nos pontos localizados na unidade geomorfológica Serra Geral e menor no Planalto dos Campos Gerais ($p < 0,05$). A análise de Agrupamento demonstrou a formação de 3 grupos, sendo que os sítios de amostragem localizados na unidade Serra Geral formaram um destes grupos apresentando similaridade na comunidade de macroinvertebrados bentônicos (Fig. 3).

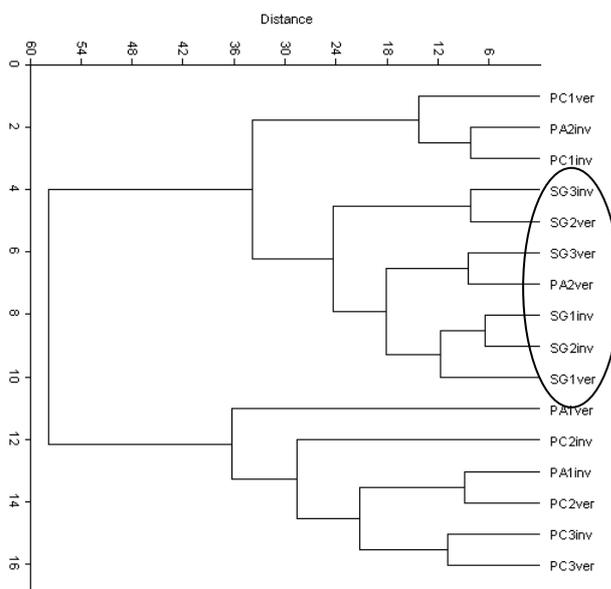


Fig. 3. Dendrograma obtido a partir da Análise de Agrupamento utilizando o Método de Ward's com dados de abundância transformados pela raiz quadrada. Sítios de amostragem PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3 nos períodos do inverno de 2007 e verão de 2008. Correlação cofonética = 0,581.

A composição dos grupos funcionais de macroinvertebrados bentônicos foi caracterizada pela predominância de coletores de depósito (43,3%) e de coletores-filtradores

(25,95%) (Fig. 4) em ambos os períodos de amostragem. Observou-se diferença significativa entre a abundância total de indivíduos dos grupos funcionais nos oito locais de amostragem no inverno (Kruskal-Wallis, $p = 0,0062$) e no verão (Kruskal-Wallis, $p = 0,001$).

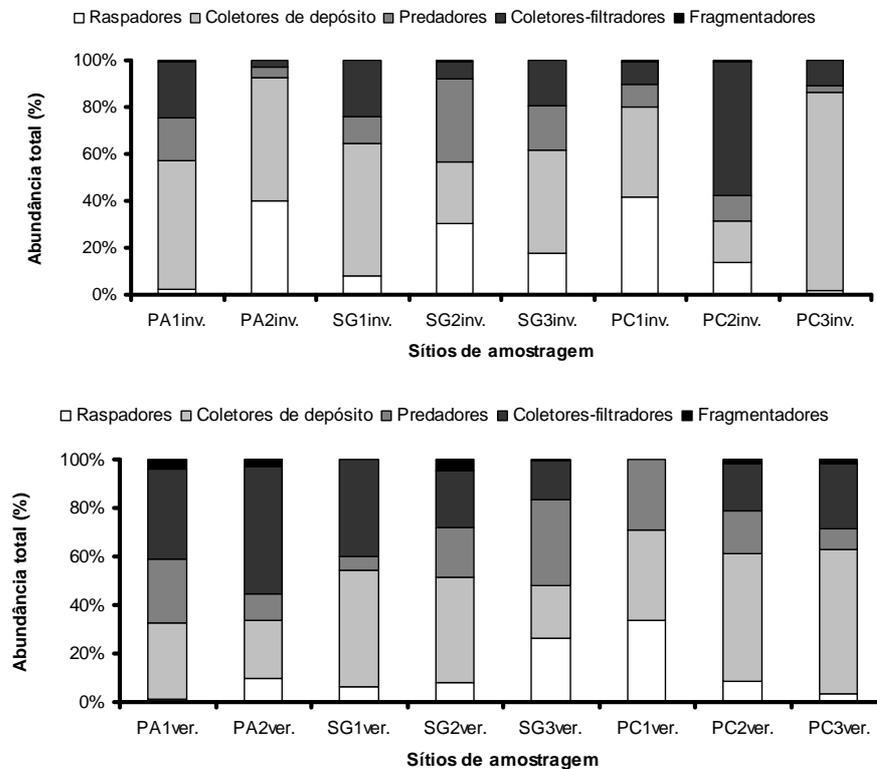


Fig. 4. Abundância total (%) de macroinvertebrados bentônicos pertencentes aos grupos funcionais (raspadores, coletores de depósito, predadores, coletores-filtradores e fragmentadores) encontrados nos oito sítios amostrados (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), no inverno de 2007 (inv.) e no verão de 2008 (ver.).

Quanto aos períodos de realização das amostragens, a densidade média de raspadores, coletores de depósito, predadores e coletores-filtradores não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$); porém o grupo dos fragmentadores apresentou maior abundância no verão.

O teste de Mantel não identificou correlação significativa entre a abundância de macroinvertebrados bentônicos e os descritores ambientais utilizados.

DISCUSSÃO

Neste estudo, os trechos amostrados apresentaram boa qualidade da água comprovada pela alta oxigenação, baixos valores de turbidez e pH próximo da neutralidade. Apenas valores extremos dessas características são relacionados como fatores intervenientes na distribuição da fauna, ou quando associados à poluição orgânica (BISPO *et al.*, 2006; SONG *et*

al., 2009; ENCALADA *et al.*, 2010). Não se observou grau significativo de poluição nos pontos amostrados, fazendo com que tais fatores não pareçam limitantes para a fauna de macroinvertebrados bentônicos nesta bacia.

Os descritores ambientais analisados não apresentaram diferença significativa entre os locais amostrados considerando a escala analisada. Quanto aos períodos de amostragem (inverno e verão), observou-se diferença significativa na temperatura e condutividade (valores superiores para verão) e turbidez, alcalinidade e dureza (superior no inverno), semelhante ao observado em outros estudos na região sul do Brasil, BUENO *et al.* (2003), STRIEDER *et al.* (2006).

A concentração de matéria orgânica no sedimento foi semelhante em praticamente todos os pontos, ocorrendo maiores valores no sítio de amostragem PC3, isto se deve, provavelmente, ao fato de próximo à área haver atividade agrícola, plantio de fumo, além de criação de animais. Isto pode provocar o carreamento de diferentes substratos orgânicos para o leito do rio. Neste estudo, apesar de ocorrer maior concentração de matéria orgânica neste local, não se observou diferença significativa na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, em relação aos demais.

Em sistemas lóticos há uma tendência ao aumento da densidade de organismos em períodos de menores precipitações, onde a velocidade da corrente é menor, diminuindo o *drift* (carreamento) de sedimentos e organismos, facilitando a fixação destes no substrato (HYNES, 1970). BAPTISTA *et al.* (2001) observaram maior densidade de organismos em épocas de menor precipitação em estudo desenvolvido na bacia do rio Macaé, RJ. MORENO & CALLISTO (2006) relataram maior riqueza taxonômica e maior diversidade no período de chuva, isto pois segundo estes autores, neste período aumentou a quantidade de substratos submersos e aumentou a diversidade de hábitat.

No presente estudo, não se observou diferença significativa na densidade média de organismos e nem na diversidade no período de inverno (maior pluviosidade média) e verão. No entanto, pôde-se observar maior abundância de organismos no verão (5.949 indivíduos). A pequena variação entre os períodos, deve-se provavelmente ao fato de no inverno (julho e agosto de 2007) ter ocorrido um pequeno aumento da pluviosidade em comparação ao período de verão (janeiro e fevereiro de 2008).

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos, neste estudo, esteve representada principalmente por insetos. Conforme HYNES (1970), este grupo compõe a maior parte da fauna de águas correntes. Os grupos que se destacaram nesta bacia foram Diptera (Chironomidae e Simuliidae), seguido de Ephemeroptera (Baetidae e Caenidae), Trichoptera

(Hydropsychidae) e Plecoptera (Perlidae). Salienta-se que estes organismos estão presentes predominantemente em ambientes considerados de boa qualidade (CALLISTO *et al.*, 2001).

Destaca-se a ocorrência da maioria dos *taxa* em todos os sítios de amostragem, com o predomínio de Chironomidae (Diptera), devido ao grande potencial de adaptação deste grupo (KLEINE & TRIVINHO-STRIXINO, 2005; MILESI *et al.*, 2009; LECRAW & MACKERETH, 2010). Estes dados corroboram outros trabalhos desenvolvidos em rios brasileiros, onde se observa a predominância deste grupo sobre os demais (AAGARD *et al.*, 2004; MORETTI & CALLISTO, 2005; MORENO & CALLISTO, 2006; AYRES-PERES *et al.*, 2006; CORBI & TRIVINHO-STRIXINO, 2008; MILESI *et al.*, 2009).

Observou-se abundância dos organismos coletores de depósito, corroborando com outros trabalhos desenvolvidos em ecossistemas lóticos brasileiros que têm demonstrado um predomínio destes (CALLISTO *et al.*, 2001; BUENO *et al.*, 2003; KLEINE & TRIVINHO-STRIXINO, 2005; SILVA *et al.*, 2008).

Os sítios de amostragem SG1, SG2 e SG3 apresentaram similaridade na comunidade de macroinvertebrados bentônicos. Estes locais possuem mata ciliar restrita, com menos de 30m, leito formado por matacões, seixos e cascalhos. Apresentam trechos completamente sombreados, sendo os locais SG1 e SG2 influenciados pela agricultura em área próxima. Estes três locais estão localizados na unidade geomorfológica da Serra Geral. Nesta unidade foi observada a maior riqueza rarefeita. Salienta-se que estes sítios não estão localizados em rios de mesma ordem.

Observa-se assim neste estudo, o papel relevante do fator geomorfologia, que pode ser considerado como uma chave no controle dos ecossistemas dinâmicos. A importância relativa e absoluta das influências dos processos geomorfológicos varia entre os organismos (MONTGOMERY, 1999). Porém, são necessários estudos em múltiplas escalas espaciais nesta bacia a fim de determinar qual o grau de importância da geomorfologia e dos demais descritores na estruturação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na região.

Outra inferência obtida a partir da análise dos dados obtidos é a necessidade de estudos posteriores que utilizem maior refinamento no nível de identificação dos organismos, a fim de detectar sutis alterações na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na região.

Os descritores ambientais representaram boa qualidade da água, igualmente, a estrutura da comunidade de macroinvertebrados mostrou que os ambientes considerados apresentam-se pouco impactados. Semelhante foi encontrado por COPATTI *et al.* (2010)

trabalhando na microbacia do rio Cambará (Cruz Alta/RS) e por STROHSCHOEN *et al.* (2009) analisando alguns locais dos rios Forqueta e Forquetinha, RS, Brasil.

A partir das análises realizadas não se observou diferença significativa na distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos entre áreas com atividade agrícola e áreas mais preservadas. Isto pode ser devido, possivelmente, ao fato de que as áreas amostradas não foram suficientemente atingidas pela atividade antrópica a ponto de demonstrar alteração na estrutura da comunidade, sendo os organismos encontrados capazes de explorar ambientes com diferentes características ambientais (KRATZER & BATZER, 2007). Ou ainda, que a mata ciliar presente nos pontos apresenta-se tão restrita que não representa um diferencial significativo na estrutura da comunidade de macroinvertebrados. Para CORTES *et al.* (2009) são necessários estudos em que o ambiente seja analisado em múltiplas escalas espaciais para detectar tais padrões de alteração.

Os resultados obtidos neste estudo não permitiram a definição de um padrão de distribuição espacial e temporal da comunidade de macroinvertebrados bentônicos que conduzisse a uma organização padronizada dos táxons. Foi possível, entretanto, a partir dos descritores ambientais analisados e dos organismos identificados, reunir aspectos que caracterizam esta bacia, além de permitir inferências sobre a similaridade entre os ambientes característicos desta região. Destaca-se a contribuição semelhante dos descritores ambientais locais na estruturação das comunidades.

Considerando as hipóteses analisadas no presente estudo, observou-se que a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos não demonstrou ser influenciada significativamente pela variação sazonal. Nem tampouco em função das pequenas diferenças espaciais nas características dos trechos amostrados. Os descritores ambientais analisados mostraram-se semelhantes em todos os sítios de amostragem da mesma forma que a comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

Estes resultados revelaram características da ecologia e distribuição dos macroinvertebrados bentônicos encontrados nesta bacia hidrográfica que podem ser utilizados para subsidiar estratégias de monitoramento ambiental na região.

Agradecimentos. Ao Centro Universitário UNIVATES pelo apoio financeiro. Ao pessoal do Museu de Ciências Naturais da UNIVATES pela elaboração dos mapas, em especial aos Biólogos Rafael Rodrigo Eckardt e Úrsula Arend. Aos bolsistas do Centro Universitário UNIVATES: Adriani Muller, Daiana Bald, Eduardo Martins de Souza e Úrsula Arend pelo auxílio nas atividades de campo. Ao doutorando Eduardo Vélez do Setor de Ecologia Quantitativa do Departamento de Ecologia – UFRGS, pelo auxílio nas análises estatísticas. Ao PPG Ecologia – UFRGS.

REFERÊNCIAS

- AAGARD, K., SOLEM, J.O., BONGARD, T. & HANSEN, O. 2004. Studies of Aquatic Insects in The Atna River 1987-2002. **Hydrobiologia** **521**: 87-105.
- APHA. 1995. **Standard Methods**. Washington. American Public Health Association. 1193p.
- AYRES, M., AYRES JR.M., AYRES, D.L. & SANTOS, A.A.S. 2007. **Bioestat** – aplicações estatísticas nas Áreas das Ciências Biomédicas. 5 ed. Belém. Mamirauá.
- AYRES-PERES, L., SOKOLOWICZ, C.C. & SANTOS, S. 2006. Diversity and abundance of the benthic macrofauna in lotic environments from the central region of Rio Grande do Sul State, Brazil. **Biota Neotropica** **6**(3): 21-32.
- BAPTISTA, D.F., DORVILLÉ, L.F.M., BUSS, D.F. & NESSIMIAN, J.L. 2001. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. **Revista Brasileira de Biologia** **61**: 295-304.
- BEISEL, J.N., USSEGLIO-POLATERA, P., THOMAS, S. & MORETEAU, J.C. 1998. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics. **Hydrobiologia** **389**: 73-88.
- BEISEL, J.N., USSEGLIO-POLATERA, P.U. & MORETEAU, J.C. 2000. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. **Hydrobiologia** **422/423**: 163-171.
- BISPO, P.C., OLIVEIRA, L.G., BINI, L.M. & SOUZA K.G. 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera for riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immature. **Brazilian Journal of Biology** **66** (2B): 611-622.
- BUENO, A.A.P., BOND-BUCKUP, G. & FERREIRA, B.D.P. 2003. Estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos em dois cursos d'água do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia** **20**: 115-125.
- CALLISTO, M., MORENO, P. & BARBOSA, F.A.R. 2001. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia** **61**: 259-266.
- COLWELL, R.K. 2006. **EstimateS 8.2**: Statistical estimation of species richness and shared species from samples: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates> (último acesso em 07/jan/2010).
- COPATTI, C.E., SCHIRMER, F.G. & MACHADO, J.V.V. 2010. Diversidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação da qualidade ambiental de uma microbacia no sul do Brasil. **Perspectiva** **34**(125): 79-91.
- CORBI, J.J. & TRIVINHO-STRIXINO, S. 2008. Relationship between sugar cane cultivation and stream macroinvertebrate Communities. **Brazilian Archives of Biology and Technology** **51**(4): 769-779.
- CORTES, R.M.V., HUGHES, S.J., VARANDAS, S.G.P., MAGALHÃES, M. & FERREIRA, M.T. 2009. Habitat variation at different scales and biotic linkages in lotic systems: consequences for monitorization. **Aquatic Ecology** **43**: 1107-1120.
- CUMMINS, K.W. & LAUFF, G.H. 1969. The influence of substrate particle size on the microdistribution of stream macrobenthos. **Hydrobiologia** **34**: 145-181.
- DEWSON, Z.S., JAMES, A.B.W., DEATH, R.G. 2007. A review of the consequences of decreased flow for in stream habitat and macroinvertebrates. **Journal of the North American Benthological Society** **26**(3): 401-415.
- ELOSEGI, A., DÍEZ, J. & MUTZ, M. 2010. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. **Hydrobiologia**. Doi: 10.1007/S10750-0090083-4.

- ENCALADA, A.C., CALLES, J., FERREIRA, V., CANHOTO, C.M. & GRAÇA, M.A.S. 2010. Riparian land use and the relationship between the benthos and litter decomposition in tropical montane stream. **Freshwater Biology** **55**: 1719-1733.
- GIBBINS, C.N., VERICAT, D., BATALLA, R.J. 2010. Relations between invertebrate drift and flow velocity in sand-bed and riffle habitats and the limits imposed by substrate stability and benthic density. **Journal of the North American Benthological Society** **29**(3): 945-958.
- GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters** **4**: 379-391.
- HAIDEKKER, A. & HERING, D. 2008. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera , Plecoptera , Coleoptera , Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany : A multivariate study. **Aquatic Ecology** **42**: 463-481.
- HAMMER, O., HARPER, D.A.T & RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** **4**(1): http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (último acesso em 07/jan/2010).
- HAUER, F.R. & LAMBERTI, G.A. 1996. **Methods in Stream Ecology**. Academic Press. 667p.
- HYNES, H.B. 1970. **The ecology of running waters**. Liverpool Univ. Press. Liverpool. 555p.
- JAMES, A.B.W., DEWSON, Z.S., DEATH, R.G. 2009. The influence of flow reduction on macroinvertebrate drift density and distance in three New Zealand streams **Journal of the North American Benthological Society** **28**(1): 220-232.
- KLEINE, P. & TRIVINHO-STRIXINO, S. 2005. Chironomidae and other aquatic macroinvertebrates of a first order stream: community response after habitat fragmentation. **Acta Limnologica Brasiliensia** **17**(1): 81-90.
- KRATZER, E.B. & BATZER, D.P. 2007. Spatial and temporal variation in aquatic macroinvertebrates in the Okefenokee Swamp, Georgia, USA. **Wetlands** **27**(1): 127-140.
- LECRAW, R. & MACKERETH, R. 2010. Sources of small-scale variation in the invertebrate communities of headwater streams. **Freshwater Biology** **55**: 1219-1233.
- LUDLAM, J.P. & MAGOULICK, D.D. 2010. Environmental conditions and biotic interactions influence ecosystem structure and function in a drying stream. **Hydrobiologia** **644**: 127-137.
- MAGURRAN, A.E. 2004. **Measuring biological diversity**. Oxford. Blackwell. 256p.
- MCCAFFERTY, W.P. 1981. **Aquatic entomology: the fishermen's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives**. Jones and Bartlett Publishers, Boston. 448p.
- MELO, A.S. 2008. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica** **8**(3): 21-27.
- MERRITT, R.W. & CUMMINS, K.W. 1996. Trophic relations of macroinvertebrates. *In*: HAWER, R. & LAMBERT, G. **Methods in stream ecology**. New York. Academic Press. p. 453-474.
- MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M.; HEPP, L. U. 2009. Distribution of benthic macro-invertebrates in Subtropical streams (Rio Grande do Sul, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia** **21**:419-429.
- MONTGOMERY, D.R. 1999. Process domains and the river continuum. **Journal of the American Water Resources Association** **35**: 397-410.
- MORENO, P. & CALLISTO, M. 2006. Benthic macroinvertebrates in the watershed of an urban reservoir in southeastern Brazil. **Hydrobiologia** **560**: 311-321.

- MORETTI, M.S. & CALLISTO, M. 2005. Biomonitoring of benthic macroinvertebrates in the middle Doce River watershed. **Acta Limnologica Brasiliensia** 17(3): 267-281.
- MUGNAI, R., NESSIMIAN, J.L. & BAPTISTA, D.F. 2010. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. Technical Books. 176p. il.
- PILLAR, V.D. 2004. **MULTIV**: Multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling: User's guide v.2.3: <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br> (ultimo acesso em 07/jan/2010).
- POWER, M.E. & DIETRICH, W.E. 2002. Food webs in river networks. **Ecological Research** 17: 451-471.
- RADAM BRASIL. 1986. **Projeto Radam Brasil – MME**. Rio de Janeiro. 780p.
- REMPEL, L.L., RICHARDSON, J.S. & HEALEY, M.C. 2000. Macroinvertebrate community structure along gradients of hydraulic and sedimentary conditions in a large gravel-bed river. **Freshwater Biology** 45: 57-73.
- RESH, V.H. & ROSENBERG, D.M. 2010. Recent trends in life-history research on benthic macroinvertebrates. **Journal of the North American Benthological Society** 29(1): 207-219.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1988. **Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia**. Bogotá, Colombia. Editorial Presencia Ltda. 217p.
- ROQUE, F.O. & TRIVINHO-STRIXINO, S. 2001. Benthic macroinvertebrates in mesohabitat of different spatial dimensions in a first order stream (São Carlos, SP). **Acta Limnologica Brasiliensia** 13: 69-77.
- ROSGEN, D.L. 1994. A classification of natural rivers. **Catena** 22: 169-199.
- SILVA, F.L. DA, MOREIRA, D.C., BOCHINI, G.L. & RUIZ, S.S. 2008. Hábitos alimentares de larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) no córrego Vargem Limpa, Bauru, SP, Brasil. **Biotemas** 21(2):155-159.
- SONG, M-Y., LEPRIEUR, F., THOMAS, A., LEK-ANG, S., CHON, T-S. & LEK, S. 2009. Impact of agricultural land use on aquatic insect assemblages in the Garonne river catchment (SW France). **Aquatic Ecology** 43: 999-1009.
- STRAHLER, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union** 38: 913-920.
- STRIEDER, M.N., RONCHI, L.H., STENERT, C., SCHERER, R.R. & NEISS, U.G. 2006. Medidas biológicas e índices de qualidade da água de uma microbacia com poluição urbana e de curtumes no sul do Brasil. **Acta Biologica Leopoldensia** 28: 17-24.
- STROHSCHOEN, A.A.G., PÉRICO, E., LIMA, D.F.B. & REMPEL, C. 2009. Estudo preliminar da qualidade da água dos rios Forqueta e Forquetinha, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Biociências** 7(4): 372-375.
- VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E. 1980. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 37: 130-137.
- WALLACE, J.B. & WEBSTER, J.R. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. **Annual Review of Entomology** 41: 115-139.

MANUSCRITO 2 - Escalas de variabilidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos

Andreia Aparecida Guimarães Strohschoen^{1,2,3} & Norma Luiza Wurdig¹

¹Laboratório de Invertebrados Bentônicos, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500, Cep 91.501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

²Curso de Biologia, Centro Universitário UNIVATES e Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

³Autor para correspondência: e-mail: aaguim@univates.br

ABSTRACT. Scales of variability of benthic macroinvertebrate community. The study of the structure of benthic macroinvertebrate communities considering multiple spatial scales, has recently been one of the main objects of interest in the ecology of benthos. The aim of this study was to analyze the variability of the macroinvertebrate community at three spatial scales (river, river segment and mesohabitat) Forqueta river basin (RS, Brazil), emphasizing spatial scales which best explain the community structure in the basin. Furthermore, we investigated the percentage of variability in the richness of organisms that can be explained by the environmental descriptors and local descriptors which measured environmental influences on community structure. Sampling followed a hierarchical sampling design. We sampled eight segments of the river, formed by mesohabitats: riffles and pools, in the summer of 2008. The nested ANOVA showed that the benthic macroinvertebrate community changes in scales, and that the community is organized mainly according to the scale of mesohabitat. 46.5% of the variation in richness was explained by differences between the mesohabitats. This scale was greater variation in community structure, according to Permanova. Partial Redundancy Analysis (pRDA) showed pH, width of the river bed, flow and alkalinity as the descriptors that contributed most to explain the spatial structure of the community. The partition of variance showed that 12.5% of the variability of community was explained by purely environmental descriptors and 6.7% by the environmental descriptors inseparable from the geographical matrix, 20.2% only by the geographical position of sampling points and 51.6% unexplained. The results show the correlation between the distribution of benthic communities macroinvertebrates and environmental descriptors, demonstrating the importance of variations in mesoscale to study the distribution of these organisms in this basin.

KEYWORDS. Hierarchical sampling model, partition of variance, environmental descriptors, mesohabitats.

Resumo. O estudo da estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, considerando múltiplas escalas espaciais, tem sido atualmente um dos principais objetos de interesse na ecologia de bentos. O objetivo deste estudo foi analisar a variabilidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais (rio, segmento de rio e mesohábitat) em bacia de baixa e média ordem enfatizando quais escalas espaciais melhor explicam a estrutura da comunidade nesta bacia. Além disso, investigou-se a porcentagem da variabilidade na riqueza de organismos que pode ser explicada pelos descritores ambientais locais e quais os descritores ambientais mensurados influenciam na estrutura da comunidade. As amostragens seguiram um delineamento amostral hierárquico. Foram amostrados oito segmentos de rio, formados pelos mesohábitats: corredeira e remanso, no verão de 2008. A análise *nested* Anova mostrou que a comunidade de macroinvertebrados bentônicos varia nas escalas analisadas, sendo que a comunidade está estruturada principalmente de acordo com a escala de mesohábitat. 46,5% da variação na riqueza foi explicada pelas diferenças entre os mesohábitats. Nesta escala houve maior variação na estrutura da comunidade, segundo a Permanova. A Análise de Redundância parcial (pRDA) evidenciou pH, largura do leito do rio, velocidade da corrente e alcalinidade como os descritores que mais contribuíram para explicar a estrutura espacial da comunidade. A partilha da variância mostrou que 12,5% da variabilidade da comunidade foi explicada puramente pelos descritores ambientais; 6,7% pelos descritores ambientais indissociáveis da matriz geográfica; 20,2% somente pela posição geográfica dos pontos de amostragem e 51,6% da variabilidade manteve-se inexplicada. Os resultados mostram a variabilidade da comunidade nas escalas espaciais analisadas e ressaltam a correspondência entre a distribuição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos e os descritores ambientais. Isto demonstra a importância das variações em mesoescala para o estudo da distribuição destes organismos nesta bacia.

PALAVRAS-CHAVE. Modelo amostral hierárquico, partição de variância, descritores ambientais, mesohábitats.

Rios são sistemas que apresentam grande heterogeneidade quando considerados em diferentes escalas, desde o nível de microhábitat até o nível de macrohábitat (paisagem). Isto é refletido na distribuição e abundância de organismos através de múltiplas escalas espaciais (HEINO *et al.*, 2004; STEVENS & CONNOLLY, 2004). Dentro desse sistema, as comunidades aquáticas passam pelos diversos filtros ecológicos de múltiplas escalas, para então se estabelecerem (FRISSELL *et al.*, 1986; POFF, 1997).

As características ambientais locais sempre foram consideradas determinantes da diversidade local, porém, recentemente, o padrão das comunidades tem sido considerado como resultante de interações de causas múltiplas, onde, a estrutura das comunidades se deve aos fatores ambientais locais e regionais, visto que as características regionais exercem influência hierárquica nas escalas menores, dirigindo a distribuição das espécies que respondem ao gradiente ambiental (FRISSELL *et al.*, 1986). As comunidades de macroinvertebrados bentônicos, além de refletirem esta variação natural dos fatores ambientais nas diferentes escalas, também podem variar com as mudanças ocasionadas pelas perturbações antrópicas (WU & LEGG, 2007; BINCKLEY *et al.*, 2010; PECHER *et al.*, 2010; THEODOROPOULOS & ILIOPOULOU-GEORGUDAKI, 2010).

As condições que caracterizam o hábitat resultam da interação entre a velocidade da corrente, tipo de substrato, condições físicas e químicas da água, qualidade e quantidade de recursos alimentares disponíveis, entre outros fatores que podem sofrer alterações naturais ou antrópicas (PECHER *et al.*, 2010). Todos estes fatores interagem entre si ao longo do rio, criando um mosaico de microhábitats, os quais abrigam comunidades biológicas distintas, definidas por adaptações morfológicas, hábitos alimentares, locomoção e exigências fisiológicas (SANDIN & JOHNSON, 2004). Os fatores que atuam em grande escala são responsáveis principalmente pela estrutura taxonômica das comunidades e os fatores em escala local (mesohábitat) influenciam primariamente a estrutura funcional (HEINO *et al.*, 2007).

O mesohábitat é definido como unidade de hábitat distinguível visualmente, com aparente uniformidade física (ROQUE & TRIVINHO-STRIXINO, 2001). PARDO & ARMITAGE (1997) relatam que a escala de mesohábitat é uma unidade estrutural ecológica importante para examinar as dinâmicas funcionais das comunidades de macroinvertebrados bentônicos. Desta forma, esta foi escolhida a menor escala do presente estudo.

Considerando as predições acima, no presente estudo foi analisada a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em múltiplas escalas espaciais. São escassos os dados sobre os padrões de variabilidade espacial da comunidade de macroinvertebrados

bentônicos nas bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Assim, escolheu-se uma bacia hidrográfica gaúcha, especificamente a bacia do rio Forqueta.

Testou-se duas hipóteses neste estudo, que são: a) a comunidade de macroinvertebrados bentônicos varia considerando as escalas espaciais de análise (entre rios, entre segmentos de rio e entre mesohabitats), b) os descritores ambientais selecionados influenciam significativamente na estruturação desta comunidade, considerando-se o mesohabitat como escala de análise. Este estudo analisou a variabilidade da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais, enfatizando quais destas explicam melhor a estrutura da comunidade nesta bacia. Além disso, investigou-se quais os descritores ambientais mensurados influenciam na estrutura da comunidade e qual a porcentagem da variabilidade na riqueza de organismos pode ser explicada por eles.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo. A bacia hidrográfica do rio Forqueta (RS, Brasil) (Fig. 1) é uma sub-bacia da Bacia hidrográfica Taquari-Antas.

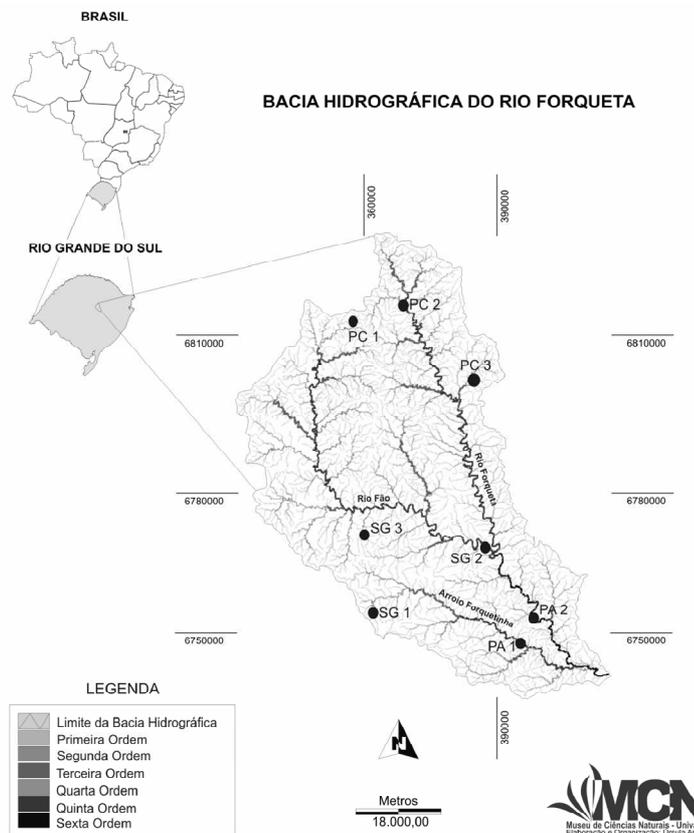


Fig. 1. Mapa da bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), apresentando a rede hidrográfica, com a localização dos oito sítios de amostragens (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3). Classificação da rede hidrográfica, segundo STRAHLER (1957), baseado em cartas topográficas em escala 1:50.000.

Metodologia de amostragem. A coleta dos macroinvertebrados bentônicos seguiu um delineamento amostral hierárquico que abrangeu diferentes escalas espaciais (mesohábitats, segmentos de rio e rios), amostrando assim, a escala local (mesohábitat), escala de segmento (sítio de amostragem) e a escala regional (rio). Para amostrar a escala regional foram selecionados três rios pertencentes à bacia do rio Forqueta (RS, Brasil): Arroio Forquetinha, Rio Fão e Rio Forqueta. Para a escala de segmento, oito sítios de amostragem (Fig. 1), formados por duas corredeiras e dois remansos consecutivos cada. Quanto à escala local, os mesohábitats: corredeira e remanso foram amostrados. Três réplicas foram coletadas em cada mesohábitat, sendo amostradas duas corredeiras e dois remansos em cada ponto de amostragem, totalizando 96 amostras.

Como critério de escolha dos sítios de amostragem (escala de segmento) foi considerado a presença de duas corredeiras e de dois remansos consecutivos, facilidade de acesso ao local, além do estado de preservação. A descrição das características morfo-fisiográficas dos trechos amostrados, incluindo a geomorfologia está descrita em STROHSCHOEN & WÜRDIG (*submitt*), onde analisou-se a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil).

Para a execução deste estudo os pontos foram previamente analisados pelo Protocolo de Avaliação do Ambiente proposto por CALLISTO *et al.* (2002). Neste protocolo são avaliadas 22 características, onde condições naturais recebem altos escores. O grau de conservação das áreas é baseado em informações do uso e ocupação da terra, incluindo observações relativas à cobertura vegetal, presença de poluentes no leito do rio, tipo de substrato, entre outros. As pontuações finais refletem o nível de preservação das condições ecológicas dos trechos amostrados, onde de 0 a 40 pontos representam trechos “impactados”; 41 a 60 pontos representam trechos “alterados” e acima de 61 pontos, trechos “naturais”. Todos os pontos de amostragem deste estudo apresentaram pontuação final acima de 66, sendo considerados “naturais”. Os valores obtidos no Protocolo ficaram entre 66 e 83, demonstrando a similaridade ambiental dos pontos e estado de preservação dos mesmos.

Foi realizada amostragem da macrofauna bentônica no período de janeiro a fevereiro/2008 (verão - seco) nos oito sítios de amostragem (Fig. 1). Cada local foi amostrado uma vez. A amostragem quantitativa foi realizada com amostrador Surber (malha: 250 μm ; área: 0,09 m^2) (HAUER & LAMBERTI, 1996). As coletas ocorreram na margem esquerda, centro e margem direita nas duas corredeiras e nos dois remansos pertencentes a cada ponto de amostragem, sendo obtidas as três amostras para cada corredeira e para cada remanso, totalizando 12 unidades amostrais em cada sítio (segmento de rio).

O material obtido foi acondicionado em recipientes e fixado em solução de formaldeído 4%. Posteriormente, foi corado com Rosa de Bengala, numa concentração de 12 mg/L, a fim de facilitar a visualização dos organismos durante a triagem. Após, realizou-se triagem em peneira de malha 250 µm em estereomicroscópio, conservado em álcool 70%, identificado e quantificado. Para a identificação dos organismos coletados foi utilizado o nível de família, com o auxílio de chaves (MCCAFFERTY, 1981; ROLDÁN-PÉREZ, 1988; MERRITT & CUMMINS, 1996; MUGNAI *et al.*, 2010).

Em cada ponto de amostragem foram obtidos os seguintes descritores ambientais: Largura do leito do rio (m), Temperatura da água (°C) e Velocidade da corrente (m/s). Além disso, foram coletadas amostras de água a uma profundidade média de 20 cm, acondicionados em frascos com preservantes adequados para as análises de: Alcalinidade (mg/L), Cloreto (mg/L), Condutividade (µS/cm), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅ – mg/L), Demanda Química de Oxigênio (DQO – mg/L), Dureza total (mg/L), Fósforo total (mg/L), Nitrato (mg/L), Oxigênio dissolvido (mg/L), pH, Sólidos totais dissolvidos (mg/L) e Turbidez (UT). Posteriormente, foram transportados sob refrigeração, para o Laboratório de Prestação de Serviços da UNIVATES (Lajeado, RS) sendo analisados conforme APHA (1995). As principais características de cada segmento de rio (sítio de amostragem) estão apresentadas em STROHSCHOEN & WÜRDIG (*submitt*).

Análise dos dados. Para a análise da variação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em escalas espaciais, cada amostra representou um surber (réplica), totalizando 96 amostras neste estudo. Utilizou-se nas análises a riqueza rarefeita de cada unidade amostral, que foi obtida por intermédio de uma análise de rarefação (GOTELLI & COLWELL, 2001), utilizando o programa EstimateS 8.2 (COLWELL, 2006). Esta análise utiliza a interpolação dos dados das amostras coletadas de menor valor para evitar a incompatibilidade entre amostras que apresentam quantidades diferentes de indivíduos amostrados. Isto reduz os dados amostrados a um nível comum de abundância (MAGURRAN, 2004).

A significância das diferenças na riqueza rarefeita dos organismos, nos diferentes níveis espaciais, foi determinada pela análise de variância hierárquica (*nested ANOVA*), com todos os fatores considerados randômicos. Isto permite realizar estimativas independentes das escalas com variabilidade significativa e dos componentes de variância em cada uma das escalas consideradas. Este modelo foi utilizado para verificar a variação espacial: i) variação entre os rios, ii) entre os segmentos dentro de cada rio, iii) entre os mesohabitats dentro de segmento e rio. Esta análise foi realizada no programa Statistica 6.0 (STATSOFT, 2001).

Para visualizar os padrões de semelhança na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos entre as escalas espaciais adotadas, foi realizada a análise de proximidade nMDS (*non metric multidimensional scaling*) a partir da matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis (KREBS, 1999). Essa análise foi utilizada para verificar se as comunidades estão estruturadas conforme o tipo de rio, segmento ou mesohábitat. Como medida da representatividade da matriz foi utilizada a estatística denominada “stress”. Valores abaixo de 0,2 correspondem a um ajuste regular e abaixo de 0,1, bom ajuste da ordenação (CLARKE & WARWICK, 2001). Esta análise foi realizada no programa PAST 2.05 (HAMMER *et al.*, 2001).

Para analisar se há variação da estrutura da comunidade de macroinvertebrados, considerando a escala hierárquica (diferenças entre rios, segmentos dentro de rios e mesohábitats dentro dos segmentos de rios) foi utilizada a análise de variância multivariada permutacional (não-paramétrica) para modelos com múltiplos fatores (Permanova). Um fator foi considerado fixo e cruzado e os níveis hierárquicos inferiores (segmentos de rio e mesohábitats) foram considerados aleatórios e aninhados. Utilizou-se a matriz de riqueza rarefeita e as diferenças entre as escalas foram baseadas na dissimilaridade de Bray-Curtis, com 999 permutações. Esta análise foi realizada no programa PRIMER - PERMANOVA 1.6 (ANDERSON, 2005).

A Análise de Redundância parcial (pRDA), que combina ordenação e regressão linear múltipla, foi utilizada para verificar a influência dos descritores ambientais sobre as comunidades de macroinvertebrados bentônicos. Esta análise foi realizada devido ao caráter espacial das amostras, ou seja, devido à falta de independência estatística das amostras obtidas ao longo do espaço geográfico, a autocorrelação espacial. Utilizou-se uma matriz geográfica (matriz espacial) para remover o efeito da autocorrelação espacial dos dados, e também para verificar a importância da posição geográfica dos rios nas comunidades de macroinvertebrados bentônicos estudadas.

Assim, nesta análise utilizou-se a matriz de abundância de famílias, a matriz com os descritores ambientais e a matriz geográfica como covariável. Em seguida, para avaliar isoladamente a importância dos descritores ambientais e da matriz geográfica, foi realizada a partilha da variância (BORCARD *et al.*, 1992; LEGENDRE & LEGENDRE, 1998). A variância encontrada na abundância das comunidades foi particionada em variância explicada: a) pelos descritores ambientais, b) pelos descritores ambientais indissociáveis da posição geográfica, c) pela porção puramente geográfica e d) pela variação inexplicada, ou seja, não explicada pelos descritores ambientais e nem pela matriz geográfica.

A matriz dos dados bióticos foi transformada (raiz quadrada), medida adotada para normalizar e tornar os dados homoscedásticos (SOKAL & ROHLF, 1995). Os dados ambientais também foram transformados e depois padronizados pelo desvio padrão. A significância estatística dos eixos de ordenação e dos descritores ambientais foi avaliada pelo teste de permutação de Monte Carlo (999 aleatorizações) para modelos com covariável. A pRDA foi realizada no programa CANOCO 4.5 (TER BRAAK & SMILAUER, 2002).

RESULTADOS

Os descritores ambientais obtidos para os mesohabitats (corredeira e remanso), no período do verão de 2008 estão apresentados na tabela I. O valor apresentado representa a média obtida para os dois remansos e para as duas corredeiras de cada ponto de amostragem.

Foram coletados 5.949 indivíduos, distribuídos em 23 famílias de macroinvertebrados bentônicos nos mesohabitats: remanso e corredeira em oito pontos de amostragem pertencentes aos rios Forqueta, Fão e Arroio Forquetinha, além de afluentes, no verão de 2008 (Tab. II). A estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) encontra-se descrita quanto à sazonalidade em STROHSCHOEN & WÜRDIG (*submitt*).

Tab. I. Descritores ambientais dos mesohabitats (rem: remanso; cor: corredeira) pertencentes aos oito sítios de amostragem (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), no verão de 2008. Legenda: Oderm = ordem do rio no segmento de amostragem; UG = unidade geomorfológica; Subst. = substrato predominante; Agric. = atividade agrícola; Alcal. = Alcalinidade (mg/L); Clor. = Cloreto (mg/L); Cond. = Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$); DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio ($\text{DBO}_5 - \text{mg}/\text{L}$); DQO = Demanda Química de Oxigênio ($\text{DQO} - \text{mg}/\text{L}$); Dureza = Dureza total (mg/L), Larg. = Largura do leito do rio (m); Nitra. = Nitrato (mg/L); OD = oxigênio dissolvido (mg/L); pH = potencial hidrogeniônico; STD = Sólidos totais = dissolvidos (mg/L); Temp. = temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), Turb. = turbidez (UT); Vel. = Velocidade da corrente (m/s); PA = Planície Alúvio-coluvionar, SG = Serra Geral, PC = Planalto dos Campos Gerais; 1^a a 6^a = ordem dos rios, segundo sistema de classificação de STRAHLER (1957).

	PA1		PA2		SG1		SG2		SG3		PC1		PC2		PC3	
Local	Forquetinha		Forqueta		Forquetinha		Fão		Fão		Fão		Forqueta		Forqueta	
Ordem	5 ^a		6 ^a		1 ^a		2 ^a		5 ^a		1 ^a		4 ^a		2 ^a	
UG	PA		PA		SG		SG		SG		PC		PC		PC	
Subst.	Cascalhos, areia e silte		Cascalhos, areia e silte		Matacões e seixos		Cascalhos, areia e silte		Matacões e seixos							
Agric.	presente		presente		presente		ausente		presente		ausente		ausente		presente	
Mesoh.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.
Alcal.	39,9±2,1	39,9±2,3	28,9±1,3	30,8±2	28±2	29,9±2,1	29,9±2,3	28,9±2,1	29,9±1,9	29,9±1,9	29,7±1,7	30,2±1,6	29,9±1,5	29,7±1,5	21,9±1,3	18,9±1,3
Clor.	2,9±0,3	2,9±0,3	1,9±0,1	1,8±0,1	1,9±0,1	1,9±0,1	1,8±0,1	1,9±0,1	1,5±0,3	1,5±0,3	1,4±0,1	1,4±0,1	1,5±0,2	1,4±0,2	0,5±0,2	0,5±0,2
Cond.	69,3±2,3	69,2±2,0	40,2±2,0	38,5±1,1	40,9±3,3	34,7±3,3	43,3±4,5	21,8±4,3	63,6±8,3	65±8,3	20,2±1,3	26,7±1,3	27,0±1,1	25,9±1,1	49,6±2,1	49,3±2,3
DBO ₅	2,4±0,1	2,3±0,1	2,6±0,1	2,6±0,1	2,1±0,2	2,3±0,2	2,4±0,3	2,1±0,3	1,7±0,1	2,3±0,1	4,2±0,1	4,5±0,1	4,2±0,3	5,2±0,3	3,1±0,1	4,6±0,1
DQO	2,9±0,1	2,9±0,1	2,9±0,1	2,9±0,1	3,4±0,1	2,8±0,1	2,8±0,1	2,5±0,1	2±0,1	2,2±0,1	4,5±0,1	5,3±0,1	5,7±0,1	5,7±0,1	4,1±0,1	4,2±0,1
Dureza	28±1,8	29±1,8	16±2,3	15±2,3	18±1,0	20±2,0	12±1,6	11±2,0	18±2,0	18±2,0	16±1,9	8±0,8	10±0,9	10±0,8	16±0,9	15±0,9
Largura	14,5±3,5	14,5±2,3	2,1±0,8	2,1±0,9	9,6±0,8	9,6±0,8	2,5±0,3	2,5±0,3	3,5±0,8	3,5±0,8	3,5±0,6	3,5±0,7	4,6±1,3	4,6±1,8	3,2±0,9	3,2±0,8
Nitrato	0,1±0,1	0,2±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,2±0,1	0,4±0,1	0,4±0,1	0,5±0,1	0,1±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1	0,4±0,1
OD	8,56±0,5	9,5±0,1	7,1±0,3	8,3±0,3	7,0±0,2	9,1±0,2	5,9±0,3	6,9±0,3	7,6±0,1	8,7±0,1	6,7±0,1	8,5±0,1	6,7±0,3	8,8±0,3	7,2±0,2	8,7±0,2
pH	7,6±0,3	7,6±0,3	7,7±0,2	7,8±0,2	7,8±0,2	7,2±0,2	7,4±0,2	7,3±0,2	7,4±0,5	7,6±0,5	8,6±0,4	8,7±0,3	7,8±0,4	7,8±0,5	7,7±0,3	6,9±0,1
STD	41±5,2	40±3,3	23±1,3	24±2	23±2	23±1,4	16±1,5	17±3,6	44,4±1	45±2,3	23±1,4	24±2,4	18±4,1	19±2,4	26±2,6	27±2,4
Temp.	26,2±1,5	26,2±1,5	29,1±2,3	28,9±2,3	23,7±1,4	22,8±1,4	22,1±1,3	23±1,0	20±2,5	19±2,3	30,6±3,2	30,8±0,9	21,8±0,7	21,9±0,3	22,4±0,8	22,1±1,4
Turb.	3,4±0,2	3,1±0,2	6,1±0,1	4,5±0,3	4,6±0,3	3,6±0,4	4,3±0,5	4,1±0,5	8,9±0,5	5,2±0,5	5,3±0,5	3,3±0,3	5,3±0,3	4,2±0,2	5,4±0,3	5,7±0,3
Vel.	1,4±0,1	3,1±0,3	1,7±0,3	2,9±0,2	6,4±0,1	9,1±0,3	1,3±0,3	3,3±0,3	3,2±0,1	5,4±0,1	1,5±0,1	3,2±0,2	2,8±0,2	5,7±0,2	7,2±0,3	9,4±0,3

Tab. II. Composição, abundância e riqueza de macroinvertebrados bentônicos coletados em oito sítios de amostragem (PA1, PA2, SG1, SG2, SG3, PC1, PC2 e PC3) nos ftyg mesohábitats (rem. = remanso, cor. = corredeira) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), verão de 2008.

Arroio/rio	Forquetinha		Forqueta		Forquetinha		Fão		Fão		Fão		Forqueta		Forqueta		Total
Segmentos	PA1		PA2		SG1		SG2		SG3		PC1		PC2		PC3		
Mesohábitas	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	
EPHEMEROPTERA																	
Baetidae	0	17	9	16	5	18	25	75	4	38	63	142	0	45	10	18	485
Caenidae	40	223	0	17	16	28	28	14	9	67	5	0	20	71	16	33	587
Leptophlebiidae	0	6	1	15	0	10	11	21	0	24	56	159	0	51	0	0	354
PLECOPTERA																	
Gripopterygidae	0	2	0	0	0	0	0	28	0	0	0	3	0	38	0	0	71
Perlidae	7	64	0	5	0	0	15	127	1	59	42	125	0	50	1	26	522
TRICHOPTERA																	
Hydropsychidae	28	234	30	63	11	64	23	48	3	80	0	0	1	11	13	162	771
Philopotamidae	6	161	0	20	24	29	0	25	16	17	0	0	6	0	6	50	360
ODONATA																	
Coenagrionidae	43	46	6	0	2	12	13	2	0	8	0	3	3	10	3	11	162
Libellulidae	3	37	0	13	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	56
DIPTERA																	
Ceratopogonidae	0	4	0	0	19	17	0	1	8	9	0	2	8	0	77	40	185
Chironomidae	33	49	9	20	23	140	9	36	23	51	14	0	128	126	201	386	1248
Simuliidae	14	68	3	5	5	80	3	0	0	6	0	0	0	129	12	90	415
Tipulidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
COLEOPTERA																	
Elmidae	11	67	0	1	0	9	0	24	0	30	0	0	0	12	4	3	161
Hydrophilidae	6	146	1	1	0	6	10	4	4	25	0	0	0	9	8	50	270
Psephenidae	0	0	0	0	0	0	5	8	0	0	6	0	21	0	4	0	44
HEMIPTERA																	
Gerridae	2	4	2	1	8	4	0	2	0	5	0	3	0	1	2	5	39
Naucoridae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
MEGALOPTERA																	
Corydalidae	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4
LEPIDOPTERA																	
Pyalidae	20	32	1	7	0	0	0	2	0	22	0	0	1	10	10	13	118
CRUSTACEA																	
Aeglidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	3
MOLLUSCA																	
GASTROPODA																	
Hydrobiidae	0	0	0	0	0	11	0	48	0	0	0	0	0	0	8	0	67

Arroio/rio	Forquetinha		Forqueta		Forquetinha		Fão		Fão		Fão		Forqueta		Forqueta		Total
	PA1		PA2		SG1		SG2		SG3		PC1		PC2		PC3		
Mesohábitas	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	rem.	cor.	
ANNELIDA																	
OLIGOCHAETA																	
Tubificidae	0	0	15	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
ABUNDÂNCIA	213	1163	77	184	119	429	143	468	68	442	186	438	188	568	376	887	5949
RIQUEZA																	
OBSERVADA	12	17	10	13	10	14	11	18	8	15	6	8	8	16	16	13	
RIQUEZA																	
RAREFEITA	10,9	12,3	9,6	10,9	9,8	11,5	10,3	12,4	8,0	12,8	5,8	4,6	6,4	11,3	11,1	10,3	

A análise de variância para modelos hierárquicos (*nested ANOVA*) mostrou que a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos apresentou variação significativa nas escalas espaciais analisadas (Tab. III). A variação na riqueza rarefeita devido às diferenças entre os rios foi zero, enquanto 8% foi explicada pela diferença entre os segmentos e 46,5% de toda a variação foi explicada pelas diferenças entre os mesohabitats e 45,5% pelo resíduo. O resíduo consiste na variação entre as réplicas de um mesmo mesohabitat (entre cada surber). Observou-se que a escala que melhor explica a variabilidade da comunidade nesta bacia hidrográfica é a de mesohabitat (corredeira e remanso).

Tab. III. Resultados da análise de componentes de variância (*nested ANOVA*) para riqueza rarefeita de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais (entre rios, segmentos dentro de rios, mesohabitats dentro de segmentos e rios). Legenda: gl = graus de liberdade, QM = quadrado médio, F = valor do teste, $p < 0,05$, CV = componentes de variância (em %).

	gl	QM	F	p	CV (%)
Rio	2	0,49	1,0	0,47	0
Segmento (rio)	11	28,76	11,47	0,65	8
Mesohabitat (Segmento (rio))	32	32,38	0,93	< 0,0001	46,5
Resíduo	127				45,5

A análise de proximidade nMDS (*non metric multidimensional scaling*), a partir da matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis, evidenciou tendência de segregação das amostras de mesmo habitat, independente do segmento e rio (Fig. 2). Essa tendência foi confirmada pela análise de variância multivariada (Permanova) que evidenciou variação significativa da estrutura das comunidades entre os mesohabitats: corredeira e remanso. A maior estimativa de variância (quadrado médio) foi encontrada entre os mesohabitats, o que confirma maior variação da estrutura espacial das comunidades de macroinvertebrados nessa escala (Tabela 4).

A análise de variância multivariada permutacional (permanova) mostrou que na escala de mesohabitat houve variação significativa na estrutura da comunidade, porém o mesmo não foi observado em relação à escala de rio e de segmento de rio (pontos de amostragem) (Tab. IV). Isto demonstra a semelhança entre estas escalas, o que também pôde ser observado pela semelhança dos descritores ambientais obtidos para cada rio e segmento de rio (Tab. I).

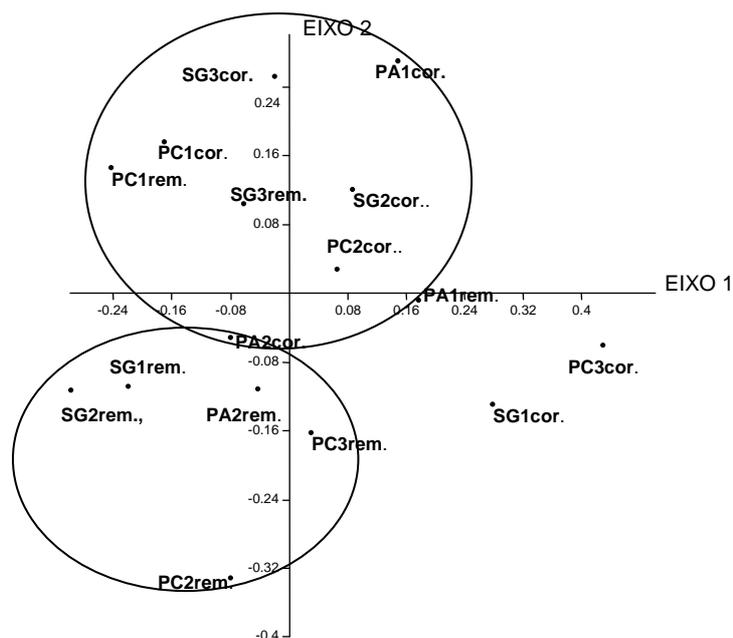


Fig. 2. Ordenação da similaridade de Bray-Curtis pelo método de escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) para as amostras de macroinvertebrados bentônicos coletados no verão de 2008 na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil). Legenda: R = remanso, C = corredeira, P1 a P8 segmentos amostrados. Stress = 0,177.

Tab. IV. Resultados da análise de variância multivariada permutacional (permanova) para a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em três escalas espaciais (entre rios, segmentos dentro de rios, mesohabitats dentro de segmentos e rios). Legenda: gl = graus de liberdade, QM = quadrado médio, F = valor do teste, $p < 0,05$.

	gl	QM	F	p
Rio	2	1.392	1,38	0,19
Segmento (rio)	11	2.876	3,53	0,21
Mesohabitat (Segmento (rio))	32	3.281	1,94	< 0,0001
Resíduo	127	658		

Os resultados da Análise de Redundância parcial (pRDA) mostraram que a variância total dos dados (inércia) foi de 0,587, desta os dois primeiros eixos explicaram 22,1% da variação existente nos dados de abundância das comunidades de macroinvertebrados bentônicos. A baixa representatividade dos eixos denota vários fatores influenciando na estrutura da comunidade. Os descritores ambientais analisados explicaram 73,7% da relação espécies-ambiente, considerando os dois primeiros eixos (Tab. V). Os testes de Monte Carlo evidenciaram que o primeiro eixo da ordenação foi significativo ($F = 2,77$; $p = 0,02$), e também os quatro eixos de forma conjunta ($F = 1,22$; $p = 0,01$).

Tab. V. Autovalores, correlação espécie/ambiente e porcentagem cumulativa da variância explicada nos três eixos da Análise de Redundância parcial (pRDA) para as comunidades de macroinvertebrados bentônicos e para os descritores ambientais estudados na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), amostragem no verão de 2008.

	Eixo I	Eixo II	Eixo III	Inércia total
Autovalores	0,052	0,022	0,012	1,000
Correlação família-ambiente	0,739	0,701	0,722	
Porcentagem da variância cumulativa:				
dos dados de família	17,3	22,1	26,8	
da relação família-ambiente	51,6	73,7	79,3	
Soma total dos autovalores				0,587
Soma total dos autovalores canônicos				0,125

Na pRDA, os descritores ambientais nitratos, sólidos totais dissolvidos, condutividade, oxigênio dissolvido, DQO, DBO, fósforo total, largura do leito e velocidade da corrente foram correlacionados positivamente e cloretos, dureza, temperatura da água, pH, alcalinidade e turbidez foram correlacionados negativamente com o primeiro eixo de ordenação (Tab. VI e Fig. 3).

Tab. VI. Correlações inter-set dos dois primeiros eixos da Análise de Redundância parcial (pRDA) com os descritores ambientais registradas na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), amostragem no verão de 2008.

	Eixo I	Eixo II
Alcalinidade	-3,2	-4,1
Cloretos	-0,8	3,2
Condutividade	2,1	1,8
DBO	0,3	-5,2
DQO	1,8	-3,1
Dureza	-2,6	2,8
Largura do leito	4,5	0,7
Nitratos	2,7	4,8
Oxigênio dissolvido	1,8	2,2
pH	-8,3	3,7
Sólidos totais dissolvidos	2,5	4,6
Temperatura da água	-3,1	2,6
Turbidez	-2,4	-3,2
Velocidade da corrente	4,2	-2,1

A pRDA também representou a separação entre os mesohabitats corredeira e remanso na maioria dos pontos de amostragem. Observou-se que o mesohabitat corredeira dos pontos 1, 5 e 7 apresentou a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos relacionada aos altos níveis de nitrato, condutividade, oxigênio e sólidos totais dissolvidos presentes nestes pontos. Os pontos 1 (remanso), 3 (corredeira) e 8 (ambos mesohabitats) estiveram mais relacionados aos altos níveis de DBO₅, DQO e velocidade da corrente, sendo que as famílias Ceratopogonidae e Chironomidae (Diptera) foram as mais representativas destes pontos. As famílias Psephenidae (Coleoptera) e Tubificidae (Oligochaeta) foram as mais representativas do mesohabitat com maior alcalinidade e turbidez, como os remansos dos pontos 2, 3, 5 e 7. Os pontos 4 e 6 (ambos mesohabitats) apresentaram maiores valores de cloretos, dureza, temperatura e pH e como fauna característica apresentaram Baetidae, Leptophlebiidae (Ephemeroptera) e Naucoridae (Hemiptera) (Figura 3).

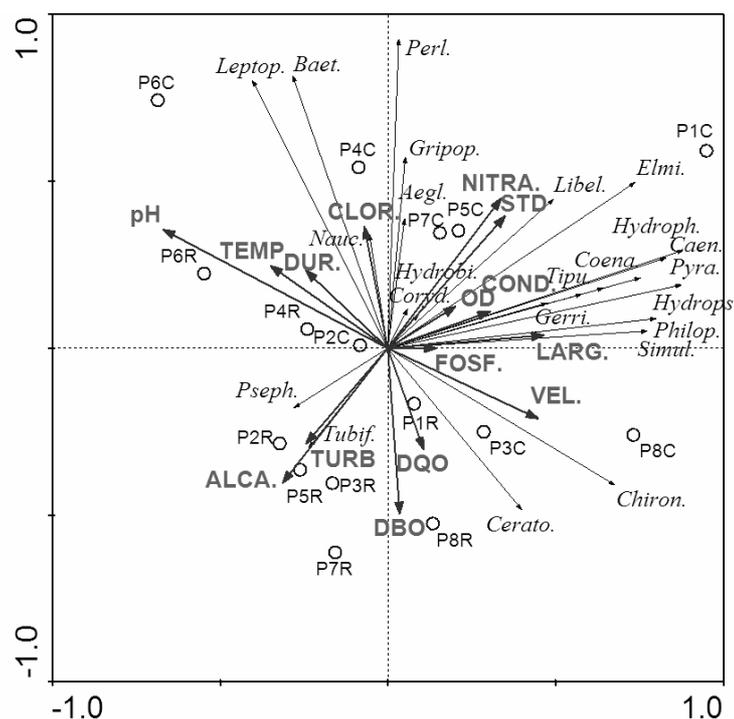


Fig. 3. Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos da Análise de Redundância parcial (pRDA) para os descritores ambientais, famílias de macroinvertebrados bentônicos coletados em oito pontos de amostragem (segmentos de rio) na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil), verão de 2008. Legenda: P1 a P8 = pontos de amostragem. R = remanso e C = corredeira. TEM: Temperatura da água; VEL: velocidade da corrente; LARG: Largura do leito do rio; pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; TUR: turbidez; COND: Condutividade; ALC: Alcalinidade; DUR: Dureza total; DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; DQO: Demanda química de oxigênio; STD: Sólidos totais dissolvidos; NITRA: Nitratos; CLO: Cloretos; Baet = Baetidae; Caen = Caenidae; Leptop = Leptophlebiidae; Gripop = Gripopterygidae; Perl = Perlidae; Hydroph = Hydropsychidae; Philop = Philopotamidae; Coena = Coenagrionidae; Libel = Libellulidae; Cerato = Ceratopogonidae; Chiron = Chironomidae; Simul = Simullidae; Elm = Elmidae; Hydroph = Hydrophillidae; Pseph = Psephenidae; Nauc = Naucoridae; Gerri = Gerridae; Hydrobi = Hydrobiidae; Aegl = Aeglididae; Pyra = Pyralidae, Tipu = Tipulidae, Coryd = Corydalidae.

A partilha da variância da estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos evidenciou que 12,5% da variabilidade dos dados foram explicados pelos descritores ambientais locais inseridos no modelo, 6,7% foram explicados pelos descritores ambientais indissociáveis da posição geográfica, 29,2% foram explicados pela posição geográfica dos pontos de amostragem. Assim, 48,4% da variabilidade da estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos foram explicados pelo modelo utilizado e 51,6% da variância foi considerada inexplicada (Fig. 4).

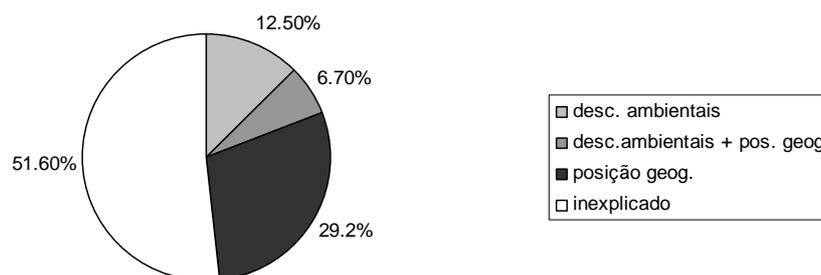


Fig. 4. Partilha da variância da explicabilidade da estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos obtidos pela Análise de Redundância parcial (pRDA), considerando os descritores ambientais (desc. ambientais) e a matriz geográfica (pos. geog.) para as famílias de macroinvertebrados bentônicos coletados na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) no verão de 2008.

DISCUSSÃO

Os rios são ambientes extremamente heterogêneos. Estudos recentes têm demonstrado que os organismos ali presentes respondem a esta heterogeneidade, apresentando variabilidade na estrutura da comunidade em múltiplas escalas espaciais (LI *et al.*, 2001; HEINO *et al.* 2004; 2007; LECRAW & MACKERETH, 2010). Esta variabilidade em múltiplas escalas também foi observada no presente estudo. Segundo a nested Anova, observou-se variação na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos considerando múltiplas escalas espaciais (mesohábitat, segmento de rio e rio).

Neste estudo encontrou-se similaridade na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos entre os três rios analisados (Rio Fão, Rio Forqueta e Arroio Forquetinha), os quais se mostraram muito semelhantes quanto aos descritores ambientais mensurados. Diferentemente foi encontrado por LIGEIRO *et al.* (2010) que trabalhou com rios de condições ambientais também semelhantes, porém com fauna de macrobentos diferente. Tais observações, provavelmente devem-se ao fato de que haja outros mecanismos responsáveis pela diferença na composição faunística, como a restrição na dispersão de adultos (FINN & POFF, 2005).

A relativa similaridade na composição faunística observada entre os rios e segmentos de rio (pontos de amostragem) vai ao encontro de outros estudos (ROBSON & CHESTER, 1999; CIESIELKA & BAILEY, 2007). Porém, alguns autores têm observado grande diferença entre os segmentos e até mesmo entre corredeiras estudadas (DOWNES *et al.*, 2000; HEINO *et al.* 2004). Esta controvérsia pode ser devida à distância entre os pontos analisados, pois trechos mais próximos podem se mostrar mais similares, ou até mesmo ao desenho amostral empreendido (LIGEIRO *et al.* 2010).

O modelo amostral hierárquico, aqui utilizado, forneceu evidências de que a riqueza da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) é determinada, mesmo que parcialmente, pelos descritores ambientais locais, pois foi possível observar variação significativa entre os mesohabitats: corredeira e remanso. Observou-se tendência de estruturação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos conforme o tipo de mesohabitat. Isto foi observado pela ordenação (nMDS) e corroborado pela análise de variância multivariada (Permanova). As características de mesohabitat já são conhecidas como tendo forte associação com a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, destaca-se a importância de características específicas do habitat tais como o tipo de substrato, velocidade da corrente, temperatura da água entre outros (ROQUE & TRIVINHO-STRIXINO, 2001; LECRAW & MACKERETH, 2010).

A variação da riqueza entre os mesohabitats encontrada neste estudo vai ao encontro de diversos trabalhos que encontraram diferente riqueza entre corredeira e remanso e entre tipos de substratos (PARDO & ARMITAGE, 1997; BUSS *et al.*, 2004; COSTA & MELO, 2008). Muitos estudos mostram que substratos associados a corredeiras são os mais diversos, quanto à macrofauna, quando comparados com remansos (BUSS *et al.*, 2004; SILVEIRA *et al.*, 2006). A maior riqueza encontrada nas corredeiras, como observado neste estudo, possivelmente está associada às características físicas do substrato, como maior estabilidade e complexidade estrutural (DOWNES *et al.*, 1995; BEISEL *et al.*, 1998).

As corredeiras apresentam grande heterogeneidade ambiental, fundamental para a manutenção das comunidades aquáticas (VERBERK *et al.*, 2010). ROQUE & TRIVINHO-STRIXINO (2001) encontraram maior riqueza de fauna nas corredeiras, o que segundo os autores, sugere que a heterogeneidade de substrato, a maior velocidade da água e maior concentração de oxigênio dissolvido, característicos de corredeiras, sejam fatores importantes para a manutenção de maior riqueza nestas áreas. Eles trabalharam com amostragens de diferentes mesohabitats e mostraram haver diferenças na estrutura taxocenótica e funcional dos macroinvertebrados com inter-relação entre as características físicas e químicas do ambiente e a distribuição dos organismos.

BEISEL *et al.* (2000) trabalhando com rios na França, analisaram a influência das características do mesohabitat em relação à escala espacial. Observaram que as tendências na estrutura da comunidade mostraram-se relacionadas à variabilidade espacial dos mesohabitats analisados e identificaram a heterogeneidade destes como fator potencialmente importante para explicar ou prever os padrões de distribuição dos invertebrados. Desta forma concluíram, que a diversidade faunística foi mais alta em mesohabitats mais complexos e

heterogêneos. Segundo o trabalho de BEISEL *et al.* (1998), os fatores que determinam a variação em pequena escala (entre mesohábitats) na estrutura da comunidade dos rios são: os fatores físicos (advindos da topografia e da hidrodinâmica) e químicos, suprimento alimentar, reprodução e as interações ecológicas.

Outra fonte de variação na riqueza, obtida na *nested* Anova, foi encontrada entre as réplicas (surber) de um mesmo hábitat. Estes resultados sugerem que nesta bacia não seja necessário amostrar vários segmentos de rio ou rios a fim de obter uma avaliação eficiente da diversidade regional, mas deve-se enfatizar a necessidade de várias réplicas. Isto é relevante quando trata-se de programas de biomonitoramento (KORTE *et al.* 2010).

A análise de Redundância parcial (pRDA) evidenciou correlação entre os descritores ambientais mensurados e a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil). Entre os descritores ambientais analisados, os que influenciaram a estrutura da comunidade mais efetivamente foram: pH, largura do leito, velocidade da corrente e alcalinidade. Estes já são reconhecidos como preditores da organização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos (BAPTISTA *et al.* 2001; BISPO *et al.*, 2006; MELO, 2009).

Neste estudo a partilha da variância mostrou que uma pequena porção da variabilidade na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos foi explicada puramente pelos descritores ambientais, ou seja, 12,5% da variação na abundância foi explicada pelos fatores ambientais que apresentaram correlação com o primeiro eixo da pRDA (condutividade, nitratos, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, largura do leito do rio e velocidade da corrente). A análise evidenciou que uma porção da variabilidade dos dados também foi explicada puramente pela posição geográfica dos rios (29,2%), indicando que existe certa estruturação espacial da comunidade, também chamada de autocorrelação espacial. Este resultado foi corroborado pela correlação significativa entre a matriz de similaridade faunística e a distância geográfica. Em termos gerais, a existência desta estruturação espacial das comunidades é devido a algum processo biológico, como predação, reprodução e dispersão, sem relação com os descritores ambientais. Assim, a porção explicada pela matriz geográfica demonstra que os rios mais próximos geograficamente e com conectividade direta entre si, ou seja, de uma mesma área possuem maior similaridade na estrutura das comunidades, possivelmente ocasionada pela capacidade de colonização e de dispersão da fauna (DRAY *et al.*, 2006).

A partilha da variância evidenciou que 51,6% da variabilidade da estrutura da comunidade permaneceram inexplicadas. Isto se deve principalmente ao fato de que grande

parte desta variância é devido a outras fontes de variabilidade, como descritores ambientais não medidos ou estruturas espaciais que foram perdidas por exigir funções mais complexas para serem descritas. Neste estudo, a grande porção da variância inexplicada, parece indicar que outras fontes de variabilidade, como descritores ambientais não mensurados, além de outros processos biológicos, como produção primária pelo perifíton, decomposição, etc (FEIO *et al.*, 2010) são importantes para a organização das comunidades de macroinvertebrados bentônicos.

Apesar dos diversos estudos abordando a organização das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, ainda há controvérsia sobre a importância e o peso dos descritores ambientais locais, regionais e da posição geográfica dos rios (SANDIN & JOHNSON, 2004). Muitos estudos têm demonstrado que os descritores ambientais locais são os fatores primariamente determinantes da estrutura das comunidades (POFF, 1997). Outros, têm salientado a importância de considerar também os descritores ambientais regionais e a posição geográfica dos rios nos modelos ecológicos (SANDIN & JOHNSON, 2004).

No presente estudo, embora grande porção da variabilidade na abundância das famílias permaneceu inexplicada, os resultados destacam a contribuição semelhante dos descritores ambientais locais e da posição geográfica dos pontos de amostragem (escala de segmento de rio) na estruturação das comunidades. Esses resultados evidenciaram que além dos descritores ambientais locais, os processos biológicos, como dispersão, reprodução, também influenciaram as comunidades de macroinvertebrados na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil).

Agradecimentos. Ao Centro Universitário UNIVATES pelo apoio financeiro. Ao pessoal do Museu de Ciências Naturais da UNIVATES pela elaboração dos mapas, em especial aos Biólogos Rafael Rodrigo Eckardt e Úrsula Arend. Aos bolsistas do Centro Universitário UNIVATES: Adriani Muller, Daiana Bald, Eduardo Martins de Souza e Úrsula Arend pelo auxílio nas atividades de campo. Ao PPG Ecologia – UFRGS.

REFERÊNCIAS

- APHA. 1995. **Standard Methods**. Washington. American Public Health Association. 1193p.
- ANDERSON, M.J. 2005. **PERMANOVA**: a Fortran computer program for permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.
- BAPTISTA, D.F., DORVILLÉ, L.F.M., BUSS, D.F. & NESSIMIAN, J.L. 2001. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. **Revista Brasileira de Biologia** 61: 295-304.
- BEISEL, J.N., USSEGLIO-POLATERA, P., THOMAS, S. & MORETEAU, J.C. 1998. Stream community structure in relation to spatial variation: the influence of mesohabitat characteristics. **Hydrobiologia** 389: 73-88.

- BEISEL, J.N., USSEGLIO-POLATERA, P.U. & MORETEAU, J.C. 2000. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. **Hydrobiologia** **422/423**: 163-171.
- BINCKLEY, C.A., WIPFLI, M.S., MEDHURST, R.B., POLIVKA, K., HESSBURG, P., SALTER, R.B. & KILL, J. 2010. Ecoregion and land-use influence invertebrate and detritus transport from headwater streams. **Freshwater Biology** **55**: 1205-1218.
- BISPO, P.C., OLIVEIRA, L.G., BINI, L.M. & SOUZA K.G. 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera for riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immature. **Brazilian Journal of Biology** **66(2B)**: 611-622.
- BORCARD, D., LEGENDRE, P. & DRAPEAU, P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. **Ecology** **73(3)**: 1045-1055.
- BUSS, D.F., BAPTISTA, D.F., NESSIMIAN, J.L. & EGLER, M. 2004. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. **Hydrobiologia** **518**: 179-188.
- CALLISTO, M., FERREIRA, W. R., MORENO, P., GOULART, M. & PETRUCIO, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliense** **14**: 91-98.
- CIESIELKA I.K., BAILEY R.C. 2007. Hierarchical structure of stream ecosystems: consequences for bioassessment. **Hydrobiologia** **586**:57-67
- CLARKE, K.R. & WARMICK, R.M. 2001. **Change in Marine Communities: an approach to Statistical Analysis and interpretation**. Primer-E. Plymouth, UK.
- COLWELL, R.K. 2006. **EstimateS 8.2**: Statistical estimation of species richness and shared species from samples: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates> (último acesso em 07/jan/2010).
- COSTA, S.S. & MELO, A.S. 2008. Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. **Hydrobiologia** **598**: 131-138.
- DOWNES, B.J., LAKE, P.S. & SCREIBER, E.S.G. 1995. Habitat structure and invertebrate assemblages on stream stones – a multivariate view from riffles. **Australian Journal of Ecology** **20**: 502-514.
- DOWNES, B.J, LAKE, P.S., SCHREIBER, E.S.G. & GEAISTER, A. 2000. Habitat structure, resources and diversity: the separate effects of surface roughness and macroalgae on stream invertebrates. **Oecologia** **123**: 569-581.
- DRAY, S., LEGENDRE, P. & PERES-NETO, P.R. 2006. Spatial modeling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecological Modelling** **196**: 483-493.
- FEIO, M.J.; ALVES, T.; BOAVIDA, M.; MEDEIROS, A.; GRAÇA, M.A.S. 2010. Functional indicators of stream health: a river-basin approach. **Freshwater Biology** **55(5)**: 1050-1065.
- FINN, D.S. & POFF, N.L. 2005. Variability and convergence in benthic communities along the longitudinal gradients of four physically similar Rocky Mountain streams. **Freshwater Biology** **50**: 243-261.
- FRISSELL, C.A., LISS, W.J.; WARREN, C.E. & HURLEY, M.D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. **Environmental Management** **10**: 199-214.
- GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecological Letters** **4**: 379-391.
- HAMMER, O., HARPER, D.A.T & RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** **4(1)**:

- http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (último acesso em 07/jan/2010).
- HAUER, F.R. & LAMBERTI, G.A. 1996. **Methods in Stream Ecology**. Academic Press. 667p.
- HEINO, J., LOUHI, P. & MUOTKA, T. 2004. Identifying the scales of variability in stream macroinvertebrate abundance, functional composition and assemblage structure. **Freshwater Biology** **49**: 1230-1239.
- HEINO, J., MYKRÄ, H., KOTANEN, J. & MUOTKA, T. 2007. Ecological filters and variability in stream macroinvertebrate communities: do taxonomic and functional structure follow the same path? **Ecography** **30**: 217-230.
- KORTE, T., BAKI, A.B.M., OFENBÖCK, T., MOOG, O., SHARMA, S. & HERING, D. 2010. Assessing river ecological quality using benthic macroinvertebrates in the Hindu Kush-Himalayan region. **Hydrobiologia** **651**: 59-76.
- KREBS, C.J. 1999. **Ecological Methodology**. Addison Wesley Longman, Inc., Menlo Park, 620p.
- LECRAW, R. & MACKERETH, R. 2010. Sources of small-scale variation in the invertebrate communities of headwater streams. **Freshwater Biology** **55**: 1219-1233.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. 1998. **Numerical Ecology**. Developments in Environmental Modelling. Elsevier, New York. 853pp.
- LI, J., HERLIHY, A., GERTH, W., KAUFMANN, P.R., GREFOR, S., URQUHART, S. & LARSEN, D.P. 2001. Variability in stream macroinvertebrates at multiple spatial scales. **Freshwater Biology** **46**: 87-97.
- LIGEIRO, R., MELO, A.S., CALLISTO, M. 2010. Spatial scale and the diversity of macroinvertebrates in a Neotropical catchment. **Freshwater Biology** **55**: 424-435.
- MAGURRAN, A.E. 2004. **Measuring biological diversity**. Oxford. Blackwell. 256p.
- MCCAFFERTY, W.P. 1981. **Aquatic entomology: the fishermen's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives**. Jones and Bartlett Publishers, Boston. 448p.
- MELO, A.S. 2009. Explaining dissimilarities in macroinvertebrate assemblages among stream sites using environmental variables. **Zoologia** **26**(1): 79-84.
- MERRITT, R.W. & CUMMINS, K.W. 1996. Trophic relations of macroinvertebrates. In: HAWER, R. & LAMBERT, G. **Methods in stream ecology**. New York. Academic Press. P: 453-474.
- MUGNAI, R., NESSIMIAN, J.L. & BAPTISTA, D.F. 2010. **Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. Technical Books. 176p. il.
- PARDO, I. & ARMITAGE, P. D. 1997. Species assemblages as descriptors of mesohabitat. **Hydrobiologia** **344**: 111-128.
- PECHER, C., FRITZ, S. A., MARINI, L., FONTANETO, D., PAUTASSO, M. 2010. Scale-dependence of the correlation between human population and the species richness of stream macroinvertebrates. **Basic and Applied Ecology** **11**: 272-280.
- POFF, N.L. 1997. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. **Journal North American Benthological Society** **16**(2): 391-409.
- ROBSON, B.J. & CHESTER, E.T. 1999. Spatial patterns on invertebrates species richness in a river: the relationship between riffles and microhabitats. **Australian Journal of Ecology** **24**: 599-607.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1988. **Guia para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia**. Bogotá, Colombia. Editorial Presencia Ltda. 217p.

- ROQUE, F.O. & TRIVINHO-STRIXINO, S. 2001. Benthic macroinvertebrates in mesohabitat of different spatial dimensions in a first order stream (São Carlos, SP). **Acta Limnologica Brasiliensia** **13**: 69-77.
- SANDIN, L. & JOHNSON, R.K. 2004. Local, landscape and regional factors structuring benthic macroinvertebrate assemblages in Swedish streams. **Landscape Ecology** **19**: 501-514.
- SILVEIRA, M.P., BUSS, D.F., NESSIMIAN, J.L. & BAPTISTA, D.F. 2006. Spatial and temporal distribution of benthic macroinvertebrates in a southeastern Brazilian river. **Brazilian Journal of Biology** **66**: 29-41.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. 1995. **Biometry**. Freeman & Company, New York. 887 pp.
- STATSOFT, I. 2001. **Statistica 6**: data analysis software system. www.statsoft.com
- STEVENS, T. & CONNOLLY, R.M. 2004. Testing the utility of abiotic surrogates for marine habitats mapping at scales relevant to management. **Biological Conservation** **119**: 351-362.
- STRAHLER, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union** **38**: 913-920.
- STROHSCHOEN, A.A.G. & WURDIG, N.L. (*Submitt*). Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil). **Iheringia Série Zoologia**.
- THEODOROPOULOS, C. & ILIOPOULOU-GEORGUDAKI, J. 2010. Response of biota to land use changes and water quality degradation in two medium-sized river basins in southwestern Greece. **Ecological Indicators** **10**(6): 1231-1238.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. 2002. **CANOCO**. Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, 500 p.
- VERBERK, W.C.E.P., LEUVEN, R.S.E.W, VAN DUINEN, G.A. & ESSELINK, H. 2010. Loss of environmental heterogeneity and aquatic macroinvertebrate diversity following large-scale restoration management. **Basic Applied Ecology** **11**: 440-449.
- WU, D. & LEGG, D. 2007. Structures of benthic insect communities in two southeastern Wyoming (USA) streams: similarities and differences among spatial units at different local spatial. **Hydrobiologia** **579**: 279-289.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos analisada na bacia do rio Forqueta (RS, Brasil) esteve representada principalmente por insetos. Foram coletadas 23 famílias. Os grupos que se destacaram nesta bacia foram Diptera (Chironomidae e Simuliidae), seguido de Ephemeroptera (Baetidae e Caenidae), Trichoptera (Hydropsychidae) e Plecoptera (Perlidae). Poucas famílias mostraram-se abundantes, ressaltando a predominância de Chironomidae (Diptera) na maioria dos pontos de amostragem; e muitas famílias ocorreram raramente.

A análise dos grupos funcionais demonstrou o predomínio de coletores de depósito, seguido por filtradores. Isto vem ao encontro de outros trabalhos desenvolvidos em ecossistemas lóticos brasileiros.

Quanto à qualidade ambiental, esta se apresentou satisfatória, considerando-se os descritores ambientais e a macrofauna bentônica. Os trechos amostrados apresentaram boa qualidade da água comprovada pela alta oxigenação, baixos valores de turbidez, pH próximo da neutralidade, baixos níveis de nitratos e outros descritores de eutrofização. Além disso, foram encontrados organismos que normalmente se desenvolvem em águas não poluídas como os pertencentes aos grupos: Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT).

Não se observou diferença na riqueza de macroinvertebrados bentônicos considerando-se a ordem dos rios analisados, porém quanto à região geomorfológica, observou-se maior riqueza rarefeita nos pontos de amostragem localizados na região da Serra Geral. Isto demonstra o papel relevante do fator geomorfologia, que pode ser considerado como uma chave no controle dos ecossistemas dinâmicos.

Observou-se tendência de estruturação da comunidade de macroinvertebrados bentônicos conforme o tipo de mesohábitat. 8% da variação na estrutura da comunidade foi explicada pela diferença entre os segmentos de rio, 46,5% pela diferença entre mesohabitats e 45,5% devido ao resíduo, que pode ser a diferença entre as réplicas. Isto ressalta a

importância de futuras amostragens nesta bacia, serem realizadas priorizando as réplicas e a escala espacial de mesohabitats.

O modelo amostral hierárquico, aqui utilizado, forneceu evidências de que a riqueza da comunidade de macroinvertebrados bentônicos nesta bacia é determinada, mesmo que parcialmente pelos descritores ambientais analisados na escala de mesohabitat. Observou-se maior riqueza rarefeita no mesohabitat de corredeira, confirmando outros estudos que têm ressaltado a importância das características ambientais deste para a manutenção das comunidades.

Os descritores ambientais locais inseridos no modelo explicaram 12,5% da variabilidade dos dados; 6,7% pelos descritores ambientais indissociáveis da posição geográfica; 29,2% foram explicados pela posição geográfica dos rios. Assim, 48,4% da variabilidade da estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos foram explicados pelo modelo utilizado e 51,6% da variância foi considerada inexplicada. Isto evidencia que além dos descritores analisados outros processos biológicos, como por exemplo dispersão, também influenciam na distribuição dos organismos.

A partir das análises realizadas não se observou diferença significativa na distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos entre áreas com atividade agrícola e áreas mais preservadas. Isto pode ser devido, possivelmente, ao fato de que as áreas amostradas não foram suficientemente atingidas pela atividade antrópica a ponto de demonstrar alteração na estrutura da comunidade, sendo os organismos encontrados capazes de explorar ambientes com diferentes características ambientais. Ou ainda, que a mata ciliar presente nos pontos amostrados apresenta-se tão restrita que não representa um diferencial significativo na estruturação da comunidade de macroinvertebrados.