

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE  
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

JULIANA TIEMI MATSUDA

**Associação do tamanho do corpo e hábito de ostrácodes em relação a  
arquitetura de plantas aquáticas**

Maringá  
2014

JULIANA TIEMI MATSUDA

**Associação do tamanho do corpo e hábito de ostrácodes em relação a  
arquitetura de plantas aquáticas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Janet Higuti

Maringá  
2014

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"  
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá-PR, Brasil)

M434a Matsuda, Juliana Tiemi, 1989-  
Associação do tamanho do corpo e hábito de ostrácodes em relação à arquitetura de plantas aquáticas / Juliana Tiemi Matsuda. -- Maringá, 2014.  
29 f. : il. (algumas color.).  
Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--  
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2014.  
Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Janet Higuti.  
1. Ostracoda (Crustacea) - Comunidades, Ecologia de - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Ostracoda (Crustacea) - *Habitat* - Planície de inundação - Alto rio Paraná.  
I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -595.33178209816  
NBR/CIP - 12899 AACR/2

JULIANA TIEMI MATSUDA

**Associação do tamanho do corpo e hábito de ostrácodes em relação a  
arquitetura de plantas aquáticas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Dr.<sup>a</sup> Janet Higuti  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Dr. Luiz Felipe Machado Velho  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Ricardo Lourenço Pinto  
Instituto de Geociências/ Universidade de Brasília

Aprovada em: 25 de agosto de 2014

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

*À minha mãe, Mituya Nakatani,  
pelo apoio incondicional, e à  
memória de Keshiyu Nakatani,  
inspiração para vida pessoal e  
acadêmica.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, meu porto seguro, pelo amor e apoio incondicional, por sua dedicação e força para lutar todas as minhas batalhas ao meu lado e nunca deixar de acreditar nos meus sonhos;

À minha irmã, por todo suporte e parceria, pois apesar de todas nossas diferenças, sem ela tudo seria mais difícil;

À minha orientadora Janet Higuti, pela orientação, paciência, confiança, incentivo e amizade, mas sobretudo, por sempre acreditar no meu potencial e proporcionar oportunidades para novos aprendizados;

Ao Prof. Dr. Fábio Amodêo Lansac-Tôha, querido Fabinho, por gentilmente aceitar presidir a banca, por todos os ensinamentos desde a graduação, e por sempre me acolher e orientar com tanto carinho;

Ao Dr. Koen Martens, pela disponibilidade em contribuir, sempre com muita paciência e incentivo, com valiosos conselhos e sugestões;

À toda a minha família, em especial aos meus tios Massa, Miyae, Tom e Minae, por estarem sempre presentes e sempre acreditarem em mim;

Aos tretas, Barbrinha, Daniel (Tiuzis), Danizita, Dri, Fer, Louzinha, Nay e Say, por serem mais que amigos, meu ponto de equilíbrio, tão fundamentais nos momentos que mais precisei, seja para desabafos, conselhos, broncas, risadas, bullying ou tutus de feijão;

À Nay, por tudo, simplesmente. Treze anos de amizade são difíceis de resumir em algumas linhas;

À Barbrinha, com quem divido histórias que um dia contarei para os meus netos (ou não), pela parceria fechada desde os primórdios da vida acadêmica, no pessoal e no profissional. Apesar do coração piludo, há muita gratidão e muito carinho por todos esses anos de amizade;

À turma ME/DO PEA 2012, pelos momentos vividos, companheirismo e troca de conhecimentos, mas principalmente, pela oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas e construir verdadeiras amizades;

À todos os amigos que sempre me deram muita força e torceram pelo meu sucesso;

Ao pessoal do laboratório, Aline, Bárbara, Cláudia, Gabriel, Hugo e Letícia, pela ajuda nas amostragens, com frio e trabalho intenso, e apesar de tudo, por todos os momentos de descontração proporcionados ao longo destes anos;

Ao Dr. Roger Paulo Mormul, pelos cálculos de dimensão fractal, discussões de idéias, e sobretudo, por sempre atender aos insistentes pedidos de socorro com as análises estatísticas;

Aos professores do PEA, por todo suporte, conselhos e conhecimentos transmitidos ao longo desses anos;

Aos membros da banca pela disponibilidade em contribuir com a dissertação;

Ao Jaime L. L. Pereira pela confecção do mapa;

À Aldenir e à Jocemara, pela paciência e disposição para ajudar, mesmo nos momentos mais sobrecarregados;

À Salete e ao João pela ajuda com a parte bibliográfica;

À todo pessoal do Nupelia, que de alguma forma contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho, em especial, o pessoal da secretaria, Norton, Marlyze e Cecília;

Ao Seu Ni e ao Celsão, por toda logística necessária para realização dos trabalhos, pelas caronas de última hora, por serem tão solícitos sempre que precisei, mas acima de tudo, pelo bom humor e as boas risadas proporcionadas;

Ao Tião e Alfredo, pelo auxílio nas coletas, pelos risos proporcionados, as cantorias a sol a pino e os banhos de rio, que deixavam o trabalho mais divertido;

Ao Programa de Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA-UEM), pela oportunidade de participar de um centro de renome em pesquisa no Brasil;

Ao Núcleo de Pesquisa em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupelia) da Universidade Estadual de Maringá, por toda estrutura necessária para a realização do trabalho;

À Capes pela concessão da bolsa;

Ao MCT/CNPq 14/2010 (Universal-Processo:476130/2010-7), pelo financiamento do projeto;

À Capes/Proex pelo auxílio nas coletas e participações em congressos;

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação.

*" A Terra é um cenário muito pequeno em uma imensa arena cósmica.[...]Nosso planeta é um espécime solitário na grande e envolvente escuridão cósmica.[...] Isto enfatiza nossa responsabilidade de tratarmos melhor uns aos outros e de preservar e valorizar o único lar que conhecemos: o pálido ponto azul."*

(Carl Sagan em "Nós estamos aqui: O pálido ponto azul")

## **Associação do tamanho do corpo e hábito de ostrácodes em relação a arquitetura de plantas aquáticas**

### **RESUMO**

As diferentes estruturas físicas presentes no ambiente conferem heterogeneidade e complexidade de *habitat*, aumentando os recursos disponíveis. Desta forma, promovem maior diversidade e abundância de organismos e são relevantes para o estabelecimento e/ou mobilidade dos mesmos em sistemas aquáticos, podendo ser determinante na composição das espécies. As macrófitas são importantes estruturadores do ambiente aquático. Plantas mais complexas tendem a ter espaços habitáveis reduzidos e aumento no acúmulo de matéria orgânica em sua arquitetura. Assim, favorecem os organismos de menores dimensões e os de mobilidade reduzida, mais propensos a discriminar entre diferentes substratos. Com o objetivo de avaliar a influência da complexidade estrutural de plantas aquáticas sobre a composição da comunidade de Ostracoda, testou-se a hipótese que espécies não nadadoras e espécies de tamanho pequeno têm maior associação com plantas mais complexas. Neste sentido, foram analisadas as comunidades de ostrácodes da planície de inundação do alto rio Paraná, associadas a dez espécies de macrófitas aquáticas de diferentes complexidades estruturais, medidas pela dimensão fractal. Os ostrácodes foram categorizados quanto ao hábito, nadadora/não-nadadora, e quanto ao tamanho, pequena, média e grande. A relação entre o hábito e tamanho das espécies de Ostracoda indicadores e a dimensão fractal das macrófitas aquáticas foi evidenciada pela análise de indicadores de limiares (TITAN). A (dis)similaridade entre as espécies de plantas foi estimada com uma análise de coordenadas principais (PCoA). No entanto, a maioria das espécies não indicou associação à estrutura das macrófitas aquáticas, e houve pequena distinção entre as comunidades de diferentes plantas. Assim, as comunidades de Ostracoda têm ampla distribuição e se sobrepõe entre as macrófitas de diferentes estruturas, evidenciando que a maioria das espécies não tem preferências por complexidade de *habitat*. Estes resultados permitem afirmar que a complexidade é um importante fator que contribui na estruturação da composição da comunidade, mas que pode interagir com as características ambientais do local em que estão inseridas e a identidade da planta, afetando cada táxon de maneira diferente. Deste modo, pode-se concluir que a relação entre a complexidade de *habitat* e a composição da comunidade de Ostracoda é complexa e nem sempre responde às previsões gerais.

**Palavras-chave:** Microcrustáceos. Nadador. Complexidade. Fractal. Planície de inundação.

## **Body size and habit of ostracods association in relation to aquatic plants architecture**

### ***ABSTRACT***

Different physical structures present in the environment provide habitat heterogeneity and complexity, increasing the available resources. In this way, they promote greater diversity and abundance of organisms and also are relevant to the establishment and/or mobility of organisms in aquatic systems, being decisive in the species composition. Macrophytes are important structuring the aquatic environment. More complex plants likely to have lower living spaces and increasing organic matter accumulation in its architecture. Thus, they support smaller bodied organisms and those with reduced mobility, more susceptible to discriminate between different substrates. We aimed to assess the role of structural complexity of aquatic plants on the Ostracoda community composition, so we tested the hypothesis that non-swimmers and small size species have strong positive association to more complex plants. Therefore, we analyzed the ostracods communities, from the Upper Paraná River floodplain, associated with ten species of aquatic macrophytes of different structural complexities measured by fractal dimension. The ostracods species were categorized by habit in swimmer/non-swimmer and by body size, in small, medium and large. The relation between the habit and the size of indicator species of ostracods and fractal dimension of the macrophytes was evidenced by the Threshold Indicator Taxa ANalysis (TITAN). The (dis)similarity among plant species was estimated with a principal coordinate analysis (PCoA). However, most of the ostracods species suggested no association with aquatic macrophytes structure, and there was a small variation among the communities from the different plants. Thus, ostracods communities have wide distribution and overlap among the macrophytes of different structures, evidencing that most species have no preferences for habitat complexity. These results allowed us to affirm that the macrophytes complexity is a major contributing factor in structuring the community composition, but there may be interaction with surrounding environmental characteristics and plant identity, affecting each taxon differently. It can thus be concluded that the relation between habitat complexity and the Ostracoda community composition is complex and not always respond to general predictions.

***Keywords:*** Microcrustacean. Swimmer. Complexity. Fractal. Floodplain.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Aquatic Ecology*.

Disponível em: <  
[http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10452?detailsPage=pltdi\\_1060357](http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10452?detailsPage=pltdi_1060357)>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	12
2.2 AMOSTRAGEM DOS OSTRÁCODES E ANÁLISE LABORATORIAL .....	13
2.3 ANÁLISE DE DADOS .....	14
2.3.1 Comunidade de Ostracoda .....	14
2.3.2 Cálculo da Dimensão Fractal .....	15
2.3.3 Análise de Táxons Indicadores de Limiares (TITAN) .....	15
2.3.4 Análise de Coordenadas Principais (PCoA) .....	16
<b>3 RESULTADOS</b> .....	17
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	22
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	24
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

O arranjo de objetos físicos no espaço é uma propriedade fundamental na estruturação de sistemas ecológicos. A presença de estruturas físicas é relevante para o estabelecimento e/ou mobilidade dos organismos em sistemas aquáticos, pois a exposição à corrente na coluna d'água pode ser arriscada e energeticamente custosa (Tokeshi e Arakaki 2012). Diferentes componentes estruturais conferem heterogeneidade e complexidade ao ambiente (Bell et al. 1991) e promovem maior diversidade e abundância de organismos, aumentando os recursos disponíveis (Stewart et al. 2003). Em ambientes aquáticos, as macrófitas são importantes objetos para a estruturação, proporcionando maior disponibilidade de alimento, abrigo e locais de forrageamento para diversas comunidades (Thomaz e Cunha 2010; Lucena-Moya e Duggan 2011), como, por exemplo, Ostracoda (Benzie 1989; Kiss 2007; Higuti et al. 2010; Liberto et al. 2012).

Muitos estudos têm investigado o papel da complexidade estrutural das macrófitas aquáticas sobre a riqueza e a abundância de invertebrados (Jeffries 1993; Taniguchi et al. 2003; Dibble e Thomaz 2009; Moore e Hovel 2010; Ferreiro et al. 2011, St. Pierre e Kovalenko 2014). No entanto, a estrutura e a complexidade do hábitat também são fatores determinantes na distribuição de espécies (Rennie e Jackson 2005, Poi de Neiff e Neiff 2006, Verdonschot et al. 2012; Walker et al. 2013). Evidências da relação entre composição de espécies e complexidade têm sido analisadas por meio da morfologia, principalmente, tamanho do corpo (Taniguchi e Tokeshi 2004; McAbendroth et al. 2005; Gibb e Parr 2013) e traços funcionais de espécies, como exemplo, hábitos alimentares e mobilidade dos indivíduos (Cremona et al. 2008; Verdonschot et al. 2012; Fontanarrosa et al. 2013).

Plantas de arquitetura mais complexa, geralmente, têm estruturas altamente fragmentadas, e conseqüentemente, fornecem espaços habitáveis de menores tamanhos (Tokeshi e Arakaki 2012). Como a aquisição de recursos pelos organismos depende da resolução em que a espécie percebe o ambiente, a distribuição dos organismos pode ocorrer em função de seu tamanho e o espaço mínimo necessário para sua existência (Nash et al. 2014), favorecendo os indivíduos de menores dimensões. Estas plantas podem propiciar uma estrutura ainda mais complexa devido a maior retenção de partículas em suspensão e o aumento no acúmulo de matéria orgânica (Warfe e Barmuta 2006; Bouma et al. 2009; Hansen et al. 2010; Sueiro et al. 2012). Fornecendo um substrato complexo, estas estruturas proporcionam condições mais favoráveis para as espécies não nadadoras, uma vez que as

espécies de mobilidade reduzida estão mais propensas a discriminar entre diferentes substratos do que as espécies móveis (Lucena-Moya e Duggan 2011), que podem nadar livremente entre os bancos de macrófitas.

Invertebrados aquáticos, como os ostrácodes, são ricos e abundantes em macrófitas aquáticas. Alguns trabalhos têm evidenciado a importância da complexidade estrutural destas plantas sobre a estrutura da comunidade de Ostracoda (Kiss 2007, Higuti et al. 2010, Mormul et al. 2010). Muito comuns em águas continentais, eles também podem ser encontrados na fauna bentônica, fitófila e em ambientes semi-terrestres (Pinto et al. 2004; Martens et al. 2008). Estes pequenos crustáceos variam de 0,3 a 3 mm de comprimento, e são caracterizados por apresentar uma carapaça bivalvada que engloba totalmente o corpo e os apêndices (Horne et al. 2002). A locomoção é realizada com o auxílio de apêndices modificados, que podem ser robustos, com uma forte garra para auxiliar a caminhada e escalada, ou cerdas natatórias, utilizadas para natação (Meisch 2000). As espécies com cerdas natatórias desenvolvidas nadam livremente entre as macrófitas, mesmo não sendo verdadeiramente planctônicas, enquanto as espécies bentônicas, com cerdas reduzidas, são incapazes de nadar, e locomovem-se rastejando com auxílio de fortes apêndices (Martens e Horne 2009).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é investigar a influência da complexidade estrutural de plantas aquáticas sobre a composição da comunidade de Ostracoda da planície de inundação do alto rio Paraná. Assim, de acordo com o pressuposto de que a complexidade do *habitat* influencia a composição da comunidade, testou-se a hipótese que espécies não nadadoras e espécies de tamanho pequeno têm maior associação com plantas mais complexas, resultando em diferentes composições de espécies entre as plantas de diferentes complexidades.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDO**

A planície de inundação do alto rio Paraná (22°40'-22°50'S e 53°10'- 53°24'W) tem cerca de 230 km de comprimento, pode chegar a 20 km de largura com o alagamento das grandes áreas laterais e inclui-se completamente dentro do território brasileiro. Abrange os climas tropical e subtropical, com invernos secos e verões chuvosos, temperaturas médias mensais acima de 15°C e precipitações acima de 1500 mm por ano (Agostinho et al. 2004).

O pulso de inundação é a principal força que regula a estrutura das comunidades e o funcionamento deste ecossistema, com importante função na conservação da biodiversidade (Junk et al. 2014), apesar da interferência humana, como por exemplo, a barragem de Porto Primavera, localizada a montante da planície de inundação do alto rio Paraná. Neste trabalho, a planície foi classificada em três sistemas, sob a influência de três diferentes rios, o Paraná, Baía e Ivinhema, cada qual com sua geologia, hidrologia e limnologia (Roberto et al. 2009; Souza-Filho 2009).

## 2.2 AMOSTRAGEM DOS OSTRÁCODES E ANÁLISE LABORATORIAL

A coleta da comunidade de ostrácodos foi realizada em julho de 2012, na planície de inundação do alto rio Paraná. Em cada sistema, dez ambientes, lênticos e lóticos, conectados aos principais rios foram selecionados (Figura 1).

As mesmas espécies de macrófitas aquáticas não co-ocorrem em todos os ambientes. Desta forma, as espécies de plantas presentes em cada ambiente foram consideradas unidades amostrais. Plantas da mesma espécie em ambientes diferentes foram consideradas réplicas. Dez espécies de macrófitas aquáticas foram amostradas, perfazendo um total de 86 amostras, das quais 48 amostras foram compostas de plantas flutuantes livres, distribuídas em 15 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, 12 *Salvinia auriculata* Aubl., 12 *Salvinia herzogii* (de La Sota), 6 *Limnobium laevigatum* (H.B.K. ex Willd.) Heine e 3 *Salvinia minima* Baker; 8 amostras da macrófita flutuante fixa, *Nymphaea amazonum* Mart. et Zucc.; 14 da planta emersa enraizada, *Eichhornia azurea* Kunth; 3 da submersa livre, *Utricularia foliosa* L.; e 13 amostras das plantas submersas enraizadas, das quais 9 pertencem a *Hydrocotyle ranunculoides* L. e 4 *Cabomba furcata* Schult. & Schult.f.

As macrófitas aquáticas foram amostradas manualmente e imediatamente colocadas em baldes plásticos e lavadas, para a retirada dos ostrácodos. As raízes de *E. crassipes* e *E. azurea* foram separadas da parte aérea, e para as demais espécies de macrófitas aquáticas foi utilizada a planta inteira. Em seguida, as plantas foram armazenadas em sacos plásticos previamente etiquetados, para posteriores medidas de complexidade, secagem em estufa e pesagem. O material retido no balde foi filtrado em rede de 160 µm de abertura de malha e preservado em álcool 70%.

Em laboratório, as amostras foram divididas com o fracionador Folsom e ¼ das amostras foi quantificado. A amostra total foi analisada para estimar a riqueza de espécies. Os



natatórias foram reduzidas ou ausentes, foram categorizados como não-nadadoras (Meisch 2000; Martens e Horne 2009).

Quanto ao tamanho das espécies, uma classificação foi realizada com base no comprimento (C) e altura (A) da carapaça das espécies, obtidos através da microscopia eletrônica de varredura de um levantamento de dados realizado previamente na planície de inundação. Baseado no tamanho médio da comunidade de Ostracoda, as espécies foram categorizadas em: pequena (P),  $C \leq 0,54$  mm e/ou  $A \leq 0,32$  mm; média (M),  $0,55 \leq C \leq 1,32$  mm e/ou  $0,33 \leq A \leq 0,72$ ; e grande (G),  $C > 1,32$  mm e/ou  $A > 0,72$  mm. Algumas espécies tiveram discordâncias de classe de tamanho entre as duas dimensões (comprimento e altura). Nestes casos, foi considerada a classe de tamanho da dimensão de maior valor.

### 2.3.2 Cálculo da Dimensão Fractal

A complexidade das plantas foi mensurada pela dimensão fractal com procedimento adaptado de Thomaz et al. (2008). As macrófitas foram fotografadas em um aquário e as imagens armazenadas e transformadas em padrão preto e branco. No Microsoft PhotoEditor as bordas foram transformadas em estruturas de linhas, as imagens foram transferidas para o programa Fractop (Jelinek et al. 2003). Baseado no método de “box counting” (“boundary grid method” – Sugihara e May 1990), a dimensão fractal (D) foi estimada. Uma grade regular de caixas (boxes) com dimensão  $s$  foi superposta à imagem da planta e o número de “boxes” ocupados,  $N(s)$ , foi contado. Finalmente, o  $\log N(s)$  foi plotado como uma função de  $\log(1/s)$ , e a dimensão fractal obtida da inclinação da reta no gráfico (Halley et al. 2004).

### 2.3.3 Análise de Táxons Indicadores de Limiars (TITAN)

A fim de investigar os limites de dimensão fractal responsáveis pela distribuição da comunidade de Ostracoda na planície de inundação foi realizada uma análise para táxons indicadores de limiars (TITAN; Baker e King 2010). Ao combinar duas análises, a TITAN substitui a resposta de dissimilaridade de comunidade das árvores de regressão (MRT; De'Ath 2002), por escores táxon-específicos da análise de espécies indicadoras (IndVal; Dufrene e Legendre 1997). Isto possibilita avaliar como agrupamentos de unidades em amostragens explicam a distribuição de espécies no ambiente. Este procedimento identifica táxons indicadores robustos, baseado na incerteza (índice de confiança) e na consistência (índice de pureza) dos resultados obtidos por replicações bootstrap.

Com base nos valores indicadores individuais (IndVal), a análise identifica o ponto no qual a ocorrência e abundância relativa das espécies sofrem maior alteração ao longo do gradiente ambiental (ponto de mudança). Com a padronização dos valores IndVal, através da

subtração dos valores médios de IndVal, observados nas permutações aleatórias, e valores esperados de IndVal, e divisão pelo desvio padrão permutado, obtêm-se os escores  $z$ . Os escores  $z$  preservam informações dos táxons raros, ao contrário dos valores brutos do IndVal, que favorecem as espécies amplamente distribuídas, para facilitar a comparação entre os táxons, ao enfatizar as mudanças em seu padrão de abundância e ocorrência.

Os táxons com frequência menor que três foram excluídas da matriz e a densidade dos indivíduos foi transformada em  $\log_{10}(x+1)$ . Foram executadas 500 permutações aleatórias para cálculo do IndVal e 500 replicações *bootstrap* para índices de pureza e confiança. Apenas os indicadores com índices de valores maiores ou iguais a 0,95 foram considerados puros e confiáveis.

Os pontos de mudança na ocorrência e abundância dos táxons ao longo do gradiente de dimensão fractal evidenciam a influência da complexidade do hábitat na estruturação da comunidade. A magnitude da resposta a esta mudança reflete a intensidade da associação das espécies com a estrutura do *habitat*. Assim, uma forte associação de espécies não-nadadoras e/ou de tamanhos pequenos, suporta a hipótese de relação entre a complexidade do *habitat* e o hábito e tamanho das espécies de Ostracoda. Para tanto, foram considerados os pontos de mudança, os valores indicadores individuais e os índices de pureza e confiança dos táxons e da comunidade, a fim de reconhecer espécies indicadoras de alta complexidade puras e confiáveis

#### 2.3.4 Análise de Coordenadas Principais (PCoA)

A análise de coordenadas principais (PCoA) foi realizada a fim de avaliar a (dis)similaridade entre as unidades amostrais de diferentes complexidades estruturais e/ou espécies de planta. A matriz de densidade dos organismos foi transformada em  $\log_{10}(x+1)$ , padronizada pela distância de Hellinger e utilizada para o cálculo de uma matriz de similaridade euclidiana. Os dados foram sumarizados em duas dimensões e ordenados de forma que a proximidade entre amostras sugere composição de espécies similar, e a proximidade do táxon com a amostra sugere associação. Para verificar a significância dos agrupamentos observados, os escores dos eixos foram submetidos a uma ANOVA unifatorial. Perante diferenças estatisticamente perceptíveis, realizou-se um teste *a posteriori* de Tukey, para diferenciação entre as macrófitas. A formação de agrupamentos significativos ( $p < 0,05$ ) associados às espécies indicadoras sustentaria a hipótese de diferentes composições de ostrácodes em plantas com diferentes complexidades estruturais. Para tanto, foram

considerados o diagrama de ordenação, a proximidade entre seus objetos e a análise da significância das distâncias.

O programa R (R Development Core Team, 2014) foi utilizado para realizar todas as análises. As análises TITAN foram realizadas com pacote personalizado *TITAN*, escrito e disponibilizado por Baker e King (2010). A PCoA foi executada com o pacote *vegan* e análise da variância no pacote *car*.

### 3 RESULTADOS

Na planície de inundação do alto rio Paraná foi registrada 34 espécies de ostrácodes abrangendo quatro famílias, Cyprididae, Candonidae, Limnocytheridae e Darwinulidae. Com a predominância de Cyprididae, prevaleceram as espécies de hábito nadador. Entre Candonidae, apenas as espécies do gênero *Physocypria* foram consideradas nadadoras. Por outro lado, Darwinulidae, e o único Limnocytheridae registrado, foram categorizados não-nadadores (Tabela 1). Entre os organismos nadadores, observaram-se espécies de todas as classes de tamanho, enquanto nenhuma espécie não nadadora foi classificada em tamanho grande (Tabela 1). O valor da dimensão fractal das macrófitas aquáticas variou de 1,49 para *N. amazonum* à 1,94 para *E. crassipes* (Figura 2).

Os resultados da análise de táxons indicadores de limiares (TITAN) apontaram táxons indicadores puros e confiáveis associados apenas aos altos valores de dimensão fractal, com respostas positivas aos pontos de mudança (1,87 a 1,92; Tabela 2). Dentre esses indicadores, o hábito não nadador foi predominante, com apenas *Cypretta costata*, "*Cypridopsis*" n.gen. 2 n.sp. e *Strandesia trispinosa* aptas à natação (Tabela 2). Todas as espécies indicadoras foram classificadas como pequenas ou médias em relação ao tamanho da carapaça (Tabela 1).

A frequência e a abundância das principais espécies associadas à complexidade, demonstrada pela soma do IndVal padronizado, chamado escore z, evidenciou a distribuição destas espécies ao longo do gradiente de dimensão fractal, principalmente em torno de valores próximos a 1,90. A magnitude da associação das espécies indicadoras (valores de IndVal e z na tabela 2), principalmente as não nadadoras, com os altos valores de dimensão fractal, evidenciaram uma forte influência da complexidade estrutural na distribuição de espécies e composição da comunidade.

Tabela 1. Espécies de Ostracoda associadas as macrófitas aquáticas e a associação espécie/dimensão fractal a uma significância  $p < 0,05$ : positiva (+), negativa (-) ou não significativa (NS). Hábito e tamanho (T) dos ostrácodes: pequenos (P), médios (M) ou grandes (G). Comprimento (C) e altura (A) de cada espécie. NA = espécies infrequentes, portanto os dados não foram analisados. Para cada espécie foi designada uma sigla, a qual foi utilizada ao longo deste trabalho.

<b>Superfamília Cypridoidea</b> Baird 1845			T	C	A	
<b>Família Cyprididae</b> Baird 1845	Associação	Hábito		(mm)	(mm)	Sigla
<i>Diaphanocypris meridana</i> (Furtos 1936)	NS	Nadador	M	1,30	0,55	Dme
<i>Stenocypris major</i> (Braid 1859)	NS	Nadador	G	1,59	0,65	Smj
<i>S. malayica</i> Victor e Fernando 1981	NS	Nadador	M	1,14	0,55	Smy
<i>Strandesia psittacea</i> (Sars 1901)	NS	Nadador	G	1,61	0,87	Sps
<i>S. trispinosa</i> (Pinto e Purper 1965)	+	Nadador	M	0,94	0,56	Str
<i>S. mutica</i> (Sars 1901)	NS	Nadador	G	1,46	0,75	Smu
<i>S. variegata</i> (Sars 1901)	NA	Nadador	G	1,32	0,75	Sva
<i>S. tolimensis</i> Roessler 1990	NA	Nadador	M	0,91	0,58	Sto
<i>S. lansactohai</i> Higuti e Martens em Higuti et al. 2013	-	Nadador	M	0,97	0,51	Sla
<i>S. velhoi</i> Higuti e Martens em Higuti et al. 2013	NA	Nadador	M	1,14	0,68	Sve
<i>S. nupelia</i> Higuti e Martens em Higuti et al. 2013	NS	Nadador	M	1,04	0,61	Snu
<i>Cabelodopsis hispida</i> (Sars 1901)	NS	Nadador	M	0,89	0,53	Chp
<i>Bradleytriebella lineata</i> (Victor e Fernando 1981)	NS	Nadador	M	0,62	0,32	Bln
<i>Cypricercus centrura</i> (Klie 1940)	-	Nadador	M	1,18	0,54	Cce
<i>Chlamydotheca deformis</i> Farkas 1958	NS	Nadador	G	2,33	1,46	Cde
<i>C. iheringi</i> (Sars 1901)	+	Nadador	G	3,21	2,04	Cih
<i>Cypretta costata</i> G. W. Müller 1898	+	Nadador	M	0,66	0,50	Cco
<i>Cypretta</i> n.sp.	+	Nadador	P	0,40	0,28	Csp
<i>Cypridopsis vidua</i> O.F. Müller 1776	NS	Nadador	M	0,64	0,40	Cvd
" <i>Cypridopsis</i> " cf. <i>vidua</i> sp. 2	NS	Nadador	P	0,53	0,32	Cv2
" <i>Cypridopsis</i> " n.gen. 1 n.sp.	NA	Nadador	P	0,51	0,28	Cy1
" <i>Cypridopsis</i> " n.gen. 2 n.sp.	+	Nadador	P	0,38	0,17	Cy2
<i>Neocypridopsis nana</i> (Sars 1901)	NA	Nadador	P	0,35	0,21	Nna
<b>Família Candonidae</b> Kaufmann 1900						
<i>Candobrasilopsis brasiliensis</i> Sars 1901	NS	Não nadador	M	0,97	0,49	Cbr
<i>C. rochai</i> Higuti e Martens 2012	+	Não nadador	M	0,75	0,35	Cro
<i>Candonopsis</i> sp. 2 n.sp.	+	Não nadador	M	0,99	0,44	Cd2
" <i>Candona</i> " sp. 3 n.sp.	NA	Não nadador	M	0,67	0,38	Cn3
" <i>Candona</i> " sp. 4 n.sp.	+	Não nadador	M	0,66	0,33	Cn4
<i>Physocypris schubarti</i> Farkas 1958	NS	Nadador	M	0,56	0,37	Psc
<i>Physocypris</i> sp. 2 n.sp.	NA	Nadador	P	0,51	0,35	Ps2
<b>Superfamília Cytheroidea</b> Baird 1850						
<b>Família Limnocytheridae</b> Klie 1938						
<i>Cytheridella ilosvayi</i> Daday 1905	+	Não nadador	M	0,78	0,48	Cyi
<b>Superfamília Darwinuloidea</b> Brady e Norman 1889						
<b>Família Darwinulidae</b> Brady e Norman 1889						
<i>Alicenula serricaudata</i> (Klie 1935)	+	Não nadador	P	0,52	0,21	Ase
<i>Vestalenula pagliolii</i> (Pinto e Kotzian 1961)	+	Não nadador	P	0,48	0,22	Vpg
<i>Penthesilenula brasiliensis</i> (Pinto e Kotzian 1961)	+	Não nadador	P	0,45	0,21	Pbr

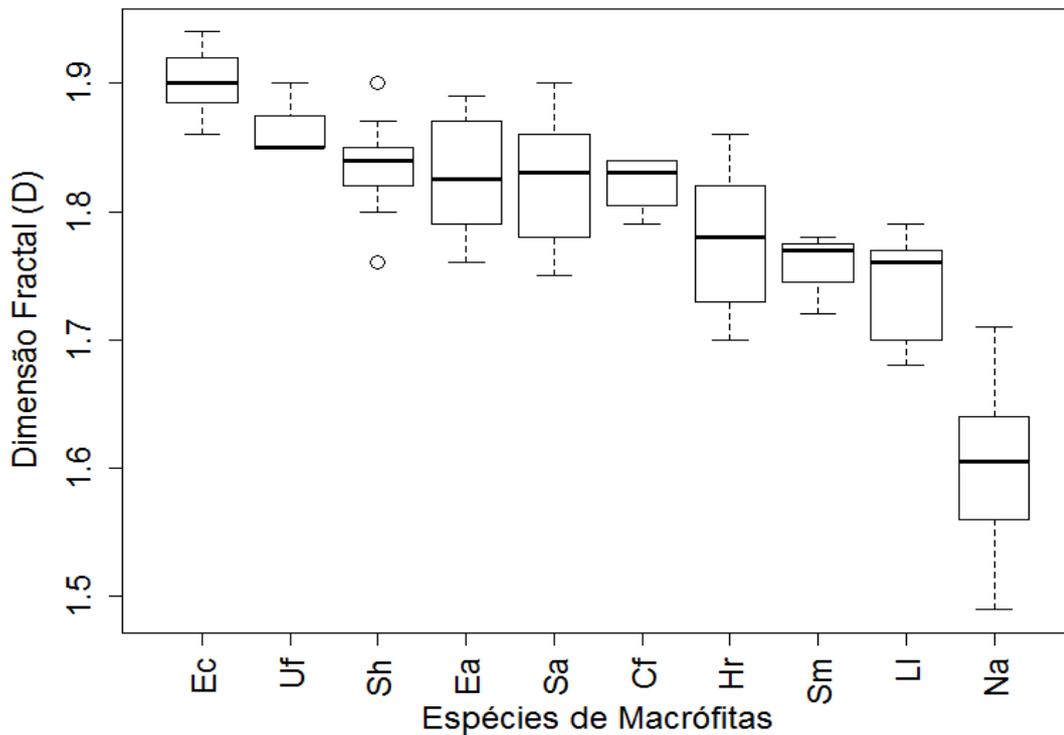


Figura 2. Boxplot da dimensão fractal (D) das macrófitas aquáticas da planície de inundação do alto rio Paraná. Ec= *Eichhornia crassipes*; Uf= *Utricularia foliosa*; Sh= *Salvinia herzogii*; Ea= *E. azurea*; Sa= *S. auriculata*; Cf= *Cabomba furcata*; Hr= *Hydrocotyle ranunculoides*; Sm= *S. minima*; LI= *Limnobium laevigatum*; Na= *Nymphaea amazonum*. Os maiores e os menores valores de dimensão fractal para cada espécie de planta estão representados pelos boxes, enquanto os círculos representam os *outliers*.

O escore z pode fornecer informações sobre o ponto de mudança da comunidade para os táxons associados positivamente (z+) e negativamente (z-). Porém, devido ao amplo limite de confiança obtido pelas réplicas *bootstrap*, as espécies integrantes do grupo z- não foram consideradas puras e confiáveis (Pureza e Confiança > 0,95). Isto promove incertezas acerca da relação destas espécies com a dimensão fractal e seus valores de ponto de mudança (estimada em 1,81), o que não nos permite estabelecer relações entre a sua distribuição e a complexidade do *habitat*.

Para aqueles com resposta positiva à complexidade, considerados indicadores robustos, as alterações na ocorrência e abundância dos organismos foram perceptíveis em dimensões fractais próximas a 1,91 (Figura 3).

Tabela 2. Táxons indicadores puros e confiáveis de associação positiva com a complexidade estrutural. O valor indicador individual (IndVal) e seu valor padronizado (z) refletem a associação espécie/planta à uma significância ( $p$ ) aos pontos de mudança observados (Obs.); o intervalo de confiança, corresponde aos menores (5%) e maiores (95%) valores obtidos através das 500 réplicas *bootstrap*, e a pureza (P) e a confiança (C) definem a incerteza dos dados a uma significância  $p < 0,05$ .

Espécie	IndVal	z	p	Ponto de Mudança			P	C
				Obs.	5%	95%		
<i>Alicenula serricaudata</i>	89,08	9,23	0,002	1,92	1,87	1,92	0,998	0,998
<i>Vestalenula pagliolii</i>	65,10	9,38	0,002	1,89	1,87	1,92	0,998	0,998
<i>Penthesilenula brasiliensis</i>	74,21	11,79	0,002	1,90	1,87	1,92	1,000	1,000
<i>Cypretta costata</i>	70,98	8,26	0,002	1,88	1,85	1,91	1,000	1,000
“ <i>Cypridopsis</i> ” n.gen. 2 n.sp.	42,38	6,34	0,006	1,92	1,70	1,92	0,944	0,928
<i>Candonopsis</i> sp. 2 n.sp.	68,34	6,82	0,004	1,92	1,85	1,92	0,996	0,980
<i>Candobrasilopsis rochai</i>	96,92	13,72	0,002	1,92	1,90	1,92	1,000	1,000
<i>Cytheridella ilosvayi</i>	57,39	5,45	0,002	1,87	1,80	1,92	1,000	1,000
<i>Strandesia trispinosa</i>	44,45	5,26	0,004	1,90	1,80	1,92	1,000	1,000

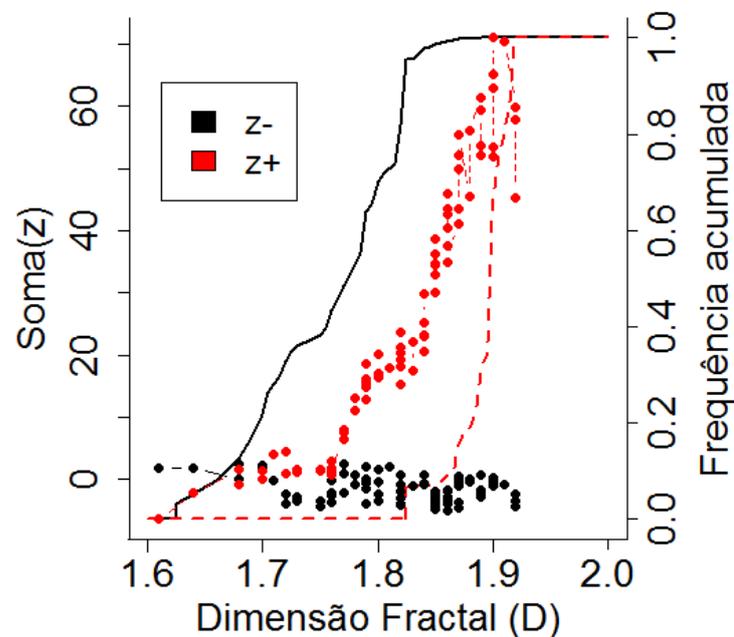


Figura 3. Soma dos valores indicadores padronizados ( $z^-$ ) e ( $z^+$ ) da TITAN, correspondente aos pontos de mudança dos táxons ao longo do gradiente de dimensão fractal. As linhas representam a distribuição da frequência acumulada dos pontos de mudança entre as 500 réplicas *bootstrap*, na cor preta para a soma ( $z^-$ ) e vermelha para a soma ( $z^+$ ).



## 4 DISCUSSÃO

A relação entre o hábito e tamanho das espécies de Ostracoda indicadores puros e confiáveis e a dimensão fractal das macrófitas aquáticas, evidenciada pela análise de espécies indicadoras de limiares, corroboram a importância da complexidade estrutural na distribuição das espécies. No entanto, a maioria das espécies não indicou associação à estrutura das macrófitas aquáticas, e a pequena distinção entre as comunidades de diferentes plantas sugere que, de forma geral, as espécies de Ostracoda não têm preferência pelas complexidades e/ou espécies de planta, não corroborando a hipótese deste trabalho.

Para as espécies não nadadoras, normalmente rastejadoras, a presença de um substrato adequado para locomoção é imprescindível para o sucesso da população. Além das estruturas físicas, plantas com maior dimensão fractal podem fornecer um complexo substrato, pois favorecem a retenção de partículas em suspensão (Warfe e Barmuta 2006; Bouma et al. 2009; Hansen et al. 2010; Sueiro et al. 2012), aumentando também o acúmulo de matéria orgânica, que também podem ser utilizadas como recursos alimentares. Os indicadores mais expressivos foram os darwinulídeos *Vestalenula paglioli*, *Alicenula serricaudata* e *Penthesilenula brasiliensis*, cujo hábito rastejador é característico desta família (Rossetti e Martens 1998), e são conhecidos como verdadeiramente bentônicos, adaptados tanto ao substrato quanto aos ambientes intersticiais aquáticos e ambientes (semi) terrestres (Pinto et al. 2004; Rossetti et al. 2011). Da mesma forma, *Candonopsis* sp. 2 n.sp., *Candobrasilopsis rochai* (Candonidae) e *Cytheridella ilosvayi* (Limnocytheridae) possuem mobilidade reduzida e são frequentemente encontradas no sedimento (Martens e Horne 2009). Desta forma, nossos resultados concordam com Lucena-Moya e Duggan (2011), evidenciando que espécies com mobilidade reduzida, em geral, estão mais propensas a discriminar entre diferentes substratos do que espécies que nadam livremente, e por este motivo demonstram associações mais fortes com determinado tipo de macrófita aquática do que espécies nadadoras. Constatou-se que as espécies indicadoras são altamente associadas ao sistema de raiz de *E. crassipes*, cujas raízes são longas e acumulam grande quantidade material orgânico, conferindo-lhe uma composição bastante distinta das demais plantas. Para ostrácodes bentônicos, Higuti et al. (2007) demonstraram que as raízes de macrófitas flutuantes também podem ser um importante *habitat* relacionado à adaptação aos pulsos de inundação. O sedimento anóxico, resultante da elevação repentina do nível da água, afeta, principalmente, os organismos incapazes de escapar. Nesse sentido, os ostrácodes associados ao sistema radicular dessas macrófitas mantêm-se protegidos, atenuando essa condição de estresse.

O tamanho observado das espécies indicadoras de complexidade suporta a relação de maior ocorrência e abundância das espécies de tamanho menor em plantas mais complexas, em concordância com dados da literatura, que predizem que estruturas mais complexas proporcionam espaços menores e retêm partículas de menor tamanho tornando-se um ambiente adequado para as espécies de tamanhos reduzidos (Taniguchi e Tokeshi 2004; Tokeshi e Arakaki 2012). Uma vez que o tamanho do espaço físico habitado e fontes de alimentos devem ser correspondente ao tamanho dos indivíduos, o tamanho é um fator determinante em como as espécies percebem o ambiente e adquirem recursos (Nash et al. 2014). Além das espécies pequenas, houve forte associação de espécies de tamanhos médios, o que indica que, além de maior dimensão fractal, os componentes estruturais da raiz de *E. crassipes* podem fornecer *habitat* de tamanhos variados. Dessa forma, sua arquitetura pode ser benéfica para organismos de ambas as classes de tamanho, conseqüentemente, contribuindo com a riqueza de espécies, como demonstrado por St. Pierre e Kovalenko (2014).

Em relação à complexidade estrutural, não foram observadas mudanças graduais na composição das comunidades, contrariando os resultados encontrados por Walker et al. (2013), que observaram diferenças na composição entre macrófitas aquáticas de diferentes estruturas. Isto sugere que a distribuição dos ostrácodes na planície de inundação do alto rio Paraná pode estar relacionada a outros fatores, que podem sobrepor ou interagir com os efeitos da complexidade das macrófitas. Uma vez que fornecem diferentes recursos, a variabilidade na composição de ostrácodes pode ser derivada dos variados contextos em que as plantas estão inseridas, assim como demonstrado por Matias (2013), através de comunidades bentônicas intertidais com respostas distintas às variáveis ambientais e interações bióticas, por meio de combinações entre tipos de *habitat* e matrizes ambientais.

Estas sobreposições podem ser decorrentes da grande variação na composição e, não necessariamente, pela falta de características específicas de cada macrófita (Walker et al. 2013). Com a única comunidade verdadeiramente distinta, *E. crassipes* evidencia alta associação com as espécies correlacionadas a este *habitat* na PCoA, indicando que algumas espécies de ostrácodes podem ter preferências a determinadas plantas. No entanto, associações entre táxon e macrófita não refletem, necessariamente, restrição na distribuição das espécies. Porém, este é um *habitat* adequado, capaz de propiciar condições para mudar a ocorrência e a abundância de determinados táxons.

A dissimilaridade de *E. crassipes* com a macrófita submersa livre *U. foliosa*, apesar da complexidade estrutural semelhante, mostra que características específicas das plantas, como

por exemplo, a liberação de substâncias alelopáticas, também podem determinar a composição das espécies (Hansen et al. 2010). Neste caso, *U. foliosa* é uma planta carnívora e alimenta-se de pequenos crustáceos, selecionando suas "presas" conforme o tamanho de suas estruturas de captura, denominadas utrículos, com 1 a 4 mm de comprimento (Adamec et al. 2010). Efeitos negativos desta macrófita sobre populações de crustáceos, devido a predação, foram registrados por Kurbatova et al. (2009). Dessa forma, apesar da alta complexidade, os efeitos da identidade poderiam sobrepor a estrutura da planta, tornando-o um *habitat* desfavorável.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem afirmar que a complexidade estrutural é um importante fator determinante na composição da comunidade de Ostracoda. No entanto, outros fatores, podem interagir, e até sobrepor, os efeitos da complexidade.

## 5 CONCLUSÃO

As comunidades de Ostracoda têm ampla distribuição e se sobrepõe entre as macrófitas de diferentes complexidades estruturais, evidenciando que a maioria dos ostrácodes não tem preferências de *habitat*. No entanto, as diferenças observadas na composição de espécies parecem ter mais influência da identidade das plantas do que necessariamente de sua complexidade estrutural. A estrutura de raiz de *E. crassipes* fornece um complexo substrato, capaz de reter partículas em suspensão, proporcionando um *habitat* adequado para os ostrácodes, especialmente não-nadadores. Características ambientais do local em que as macrófitas estão inseridas e a identidade da planta podem interagir com os efeitos da complexidade, afetando cada táxon de maneira diferente. Assim, os resultados do trabalho permitem concluir que a relação entre a complexidade estrutural das macrófitas aquáticas e a distribuição da comunidade de Ostracoda é complexa e nem sempre responde às previsões gerais.

## REFERÊNCIAS

- Adamec L, Sirová D, Vrba J, Rejmánková E (2010) Enzyme production in the traps of aquatic *Utricularia* species. *Biologia* 65:273-278.
- Agostinho AA, Thomaz SM, Gomes LC (2004) Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrol Hydrobiol* 4:255-256.
- Baker ME, King RS (2010) A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds. *Methods Ecol Evol* 1:25–37.
- Bell SS, McCoy ED, Mushinsky HR (1991) *Habitat Structure: the physical arrangement of objects in space*. Chapman and Hall, New York.
- Benzie JAH (1989) The distribution and habitat preference of ostracods (Crustacea: Ostracoda) in a coastal sand-dune lake, Loch of Strathbeg, north-east Scotland. *Freshwater Biol* 22:309–321.
- Bouma TJ, Olenin S, Reise K, Ysebaert T (2009) Ecosystem engineering and biodiversity in coastal sediments: posing hypotheses. *Helgol Mar Res* 63:95–106.
- Cremona F, Planas D, Lucotte M (2008) Biomass and composition of macroinvertebrate communities associated with different types of macrophyte architectures and habitats in a large fluvial lake. *Fundam Appl Limnol* 171:119-130.
- De'Ath G (2002) Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology* 83:1105–1117.
- Dibble ED, Thomaz SM (2009) Use of fractal dimension to assess habitat complexity and its influence on dominant invertebrates inhabiting tropical and temperate macrophytes. *J Freshw Ecol* 24:93-102.
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67:345–366.
- Ferreiro N, Feijó C, Giorgi A, Leggieri L (2011) Effects of macrophyte heterogeneity and food availability on structural parameters of the macroinvertebrate community in Pampean stream. *Hydrobiologia* 664:199-211.

- Fontanarrosa MS, Chaparro GN, O'Farrell I (2013) Temporal and spatial patterns of macroinvertebrates associated with small and medium-sized free-floating plants. *Wetlands* 33:47–63.
- Gibb H, Parr CL (2013) Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents. *PLoS ONE*. doi: 10.1371/journal.pone.0064005.
- Halley JM, Hartley S, Kallimanis AS, Kunin WE, Sgardelis P (2004) Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol Lett* 7:254–271.
- Hansen JP, Sagerman J, Wilkström SA (2010) Effects of plant morphology on small-scale distribution of invertebrates. *Mar Biol* 157:2143–2155.
- Higuti J, Velho LFM, Lansac-Tôha FA, Martens K (2007) Pleuston communities are buffered from regional flood pulses: the example of ostracods in the Paraná River floodplain, Brazil. *Freshwater Biol* 52:1930-1943.
- Higuti J, Declerck SAJ, Lansac-Tôha FA, Velho LFM, Martens K (2010) Variation in ostracod (Crustacea, Ostracoda) communities in the alluvial valley of the upper Paraná River (Brazil) in relation to substrate. *Hydrobiologia* 644:261-278.
- Horne DJ, Cohen A, Martens K (2002) Taxonomy, morphology and biology of Quaternary and living Ostracoda. In: Holmes JA, Chivas AR (eds) *The Ostracoda: Applications in Quaternary research*, AGU Geophysical Monograph Series, Washington, pp 5-36.
- Jeffries M (1993) Invertebrate colonization of artificial pondweeds of differing fractal dimension. *Oikos* 67:142-148.
- Jelinek H, Cornforth D, Weymouth L (2003) *FracTop v.0.3b*. Disponível em [www.csu.edu.au/faculty/sciagr/eis/fractop](http://www.csu.edu.au/faculty/sciagr/eis/fractop).
- Junk WJ, Piedade MTF, Lourival R, Wittmann F, Kandus P, Lacerda LD, Bozelli RL, Esteves FA, Nunes da Cunha C, Maltchik L, Schöngart J, Schaeffer-Novelli Y, Agostinho AA (2014) Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquat Conserv: Mar Freshw Ecosyst* 24:5–22.

- Kiss A (2007) Factors affecting spatial and temporal distribution of Ostracoda assemblages in different macrophyte habitats in a shallow lake (Lake Fehér, Hungary). *Hydrobiologia* 585: 89-98.
- Kurbatova SA, Yershov IYu (2009) Crustaceans and rotifers in the predatory feeding of *Utricularia*. *Inland Water Biol* 2:271–275.
- Liberto R, Mesquita-Joanes F, César I (2012) Dynamics of pleustonic ostracod populations in small ponds on the Island of Martín García (Río de la Plata, Argentina). *Hydrobiologia* 688:47-61.
- Lucena-Moya P, Duggan IC (2011) Macrophyte architecture affects the abundance and diversity of littoral microfauna. *Aquat Ecol* 45:279-287.
- Martens K, Schön I, Meisch C, Horne DJ (2008) Global diversity of ostracodes (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:185–193.
- Martens K, Horne DJ (2009) Ostracoda. In: Likens GE (ed) *Encyclopedia of Inland Waters*, Academic Press, Oxford, pp 405-414.
- Matias M (2013) Macrofaunal responses to structural complexity are mediated by environmental variability and surrounding habitats. *Mar Biol* 160:493-502.
- Mcabendroth L, Ramsay PM, Foggo A, Rundle SD, Bilton DT (2005) Does macrophyte fractal complexity drive invertebrate diversity, biomass and body size distribution? *Oikos* 111:279-290.
- Meisch C (2000) Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. In: Schwoerbel J, Zwick P (eds) *Süßwasserfauna von Mitteleuropa* 8/3. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, pp 522.
- Moore EC, Hovel KA (2010) Relative influence of habitat complexity and proximity to patch edges on seagrass epifaunal communities. *Oikos* 119:1299-1311.
- Mormul RP, Thomaz SM, Higiuti J, Martens K (2010) Ostracod (Crustacea) colonization of a native and non-native macrophyte species of Hydrocharitaceae in the Upper Paraná floodplain (Brazil): an experimental evaluation. *Hydrobiologia* 644:185-193.

Nash KL, Allen CR, Barichievy C, Nyström M, Sundstrom S, Graham NAJ (2014) Habitat structure and body size distributions: cross-ecosystem comparison for taxa with determinate and indeterminate growth. *Oikos* 123: 971–983.

Pinto RL, Rocha CEF, Martens K (2004) On the genus *Penthesilenula* Rossetti & Martens, 1998 (Crustacea, Ostracoda, Darwinulidae) from (semi-) terrestrial habitats in São Paulo State (Brazil), with the description of a new species. *J Nat Hist* 38: 2567-2589.

Poi de Neiff A, Neiff JJ (2006) Riqueza de especies y similaridad entre invertebrados que viven en macrófitas de la planicie de inundación del río Paraná. *Interciencia* 31:220–225.

R Core Team (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.

Rennie MD, Jackson LJ (2005) The influence of habitat complexity on littoral invertebrate distributions: patterns differ in shallow prairie lakes with and without fish. *Can J Fish. Aquat Sci* 62:2088-2099.

Roberto MC, Santana NF, Thomaz SM (2009) Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Braz J Biol* 69:717-725.

Rossetti G, Martens K (1998) Taxonomic revision of the Recent and Holocene representatives of the Family Darwinulidae (Crustacea, Ostracoda), with a description of three new genera. *Bull Inst R Sci Nat Belg Biol* 68:55-110.

Rossetti G, Pinto RL, Martens K (2011) Description of a new genus and two new species of Darwinulidae (Crustacea, Ostracoda), from Christmas Island (Indian Ocean) with some considerations on the morphological evolution of ancient asexuals. *Belg J Zool* 141:55-74.

Souza-Filho EE (2009) Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. *Braz J Biol* 69:707-716.

St. Pierre JI, Kovalenko KE (2014) Effect of habitat complexity attributes on species richness. *Ecosphere* 5:22.

Stewart TW, Shumaker TL, Radzio TA (2003) Linear and nonlinear effects of habitat structure on composition and abundance in the macroinvertebrate community of a large river. *Am Midl Nat* 149:293-305.

Sueiro MC, Bortolus A, Schwindt E (2012) The role of the physical structure of *Spartina densiflora* Brong. in structuring macroinvertebrate assemblages. *Aquat Ecol* 46:25-36.

Sugihara G, May RM (1990) Applications of fractals in ecology. *Trends Ecol Evol* 5:79-86.

Taniguchi H, Takano S, Tokeshi M (2003) Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants. *Freshw Biol* 48:718-728.

Taniguchi H, Tokeshi M (2004) Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshw Biol* 49:1164-1178.

Thomaz SM, Dibble ED, Evangelista LR, Higuti J, Bini LM (2008) Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshw Biol* 53:358–367.

Thomaz SM, Cunha ER (2010) The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnol Bras* 22:218-236.

Tokeshi M, Arakaki S (2012) Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia* 685:27-47.

Verdonschot RCM, Didderen K, Verdonschot PFM (2012) Importance of habitat structure as a determinant of the taxonomic and functional composition of lentic macroinvertebrate assemblages. *Limnologia* 42:31-42.

Walker PD, Wijnhovenb S, van der Veldea G (2013) Macrophyte presence and growth form influence macroinvertebrate community structure. *Aquat Bot* 104:80-87.

Warfe DM, Barnuta LA (2006) Habitat structural complexity regulates mediates food web dynamics in a freshwater macrophyte community. *Oecologia* 150:141-154.