

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALESSANDRO LÍVIO PRANTONI

**Variabilidade espacial do macrobentos em uma área de  
plataforma interna próximo à desembocadura da Baía de  
Paranaguá - Paraná - Brasil**

PONTAL DO PARANÁ

2010

ALESSANDRO LÍVIO PRANTONI

**Variabilidade espacial do macrobentos em uma área de  
plataforma interna próximo à desembocadura da Baía de  
Paranaguá - Paraná - Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos. Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana

PONTAL DO PARANÁ

2010

P899 Prantoni, Alessandro Lívio., 1971-  
Variabilidade espacial do macrobentos em uma área de plataforma  
Interna próxima à desembocadura da Baía de Paranaguá – Paraná -  
Brasil / Alessandro Lívio Prantoni - Pontal do Paraná,  
2010.  
50 f.: il. (algumas color.); 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em  
Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de  
Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Oceanografia biológica. 2. Bentos. 3. Variabilidade espacial.  
Plataforma continental - Paraná. I. Título. II. Paulo da Cunha Lana III.  
Universidade Federal do Paraná.

CDD 574.98162

*“Ao meu filho Gabriel, fonte maior  
da minha inspiração.  
Iluminado seja o seu nome e o seu  
caminho para que possas vencer.”*

*“Eu já passei por todas as religiões,  
filosofias, políticas e lutas. Aos 11  
anos de idade eu já desconfiava da  
verdade absoluta”*

*“Raul Seixas”*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Ana e Guido, por todo apoio recebido e pelos aportes financeiros recebidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Tenho orgulho de ter nascido de vocês.

A Simone por cuidar do nosso filho com carinho e dedicação em todos os momentos em que não pude estar presente.

Ao grande amigo e orientador professor Paulo Lana, por ter acreditado neste trabalho e principalmente por ter acreditado na minha capacidade de desenvolvê-lo. A você Paulo, muito obrigado pela paciência e dedicação e por me agüentar durante todos esses anos no laboratório.

A Verônica, um agradecimento especial pela paciência em me auxiliar na identificação dos poliquetas.

Ao grande amigo Orlei pela identificação de algumas amostras da primeira campanha de coleta.

Um agradecimento especial ao grande amigo e companheiro de cachaçadas Leonardo Sandrini pela ajuda fundamental nas análises estatísticas e confecção dos gráficos.

Aos amigos e companheiros de mergulho Felipe (Batata), Leonardo (Ieco), André, Glauco, Fabrício, Vader, Ciro e aos demais integrantes da equipe de coletas, que demandaram uma complicada logística, Kalina, Jose, Natália, Leonardo, Raissa, Marco meio fauna e ao amigo Henrique pela ajuda na triagem das amostras.

Ao grande amigo e companheiro de noitadas Maikon pelas excelentes discussões a respeito deste trabalho.

A todos os integrantes do Laboratório de Bentos, Verônica, Maikon, Kalina, Léo Sandrini, Carlos, Marco meio fauna, Tice Daniel, Micheli, Jose, Fabi, Aline, Augusto, Daphne e Camila pelo excelente e divertido ambiente de trabalho. Pessoal, vocês são demais!!!!!!

Ao Laboratório de geoquímica marinha e em especial a Liciane pelas análises das propriedades geoquímicas dos sedimentos.

Ao Laboratório de Geologia pelas análises sedimentológicas.

A todos os funcionários do Centro de Estudos do Mar que são os responsáveis por manter toda esta estrutura em funcionamento.

Aos membros da banca, um agradecimento antecipado por dispor de tempo e aceitar avaliar este trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa concedida.

## RESUMO

Uma das características mais marcantes das associações bênticas é a distribuição dos organismos em manchas ao longo do espaço e do tempo. Neste sentido, definir ou reconhecer padrões de distribuição exige o conhecimento da importância relativa das diversas escalas espaciais envolvidas. Este estudo avalia os padrões de distribuição espacial das associações macrobênticas em uma área ao largo da plataforma continental interna do Estado do Paraná ( $25^{\circ} 37' 18''$  S e  $48^{\circ} 23' 57''$  W), próximo à desembocadura da Baía de Paranaguá, através de um desenho amostral hierarquizado ao longo da isóbata de 10 m. Um delineamento amostral com quatro escalas espaciais de variação foi aplicado em períodos de verão e inverno: 3 setores (escala de  $10^3$  m), 3 locais ( $10^2$ ), 3 pontos ( $10^1$ ) e 6 réplicas ( $10^0$ ), totalizando 162 amostras. Em cada ponto foi caracterizado o sedimento e determinados os teores de carbono orgânico total, nitrogênio e fósforo total, clorofila-a e feopigmentos. A significância das variações na densidade dos organismos macrobênticos, nas diferentes escalas espaciais, foi analisada através de uma análise de variância hierárquica (*nested ANOVA*) com a estimativa dos componentes de variância, em conjunto com análises multivariadas (PERMANOVA, nMDS e BioEnv). As características do fundo e as propriedades geoquímicas dos sedimentos exibiram marcada heterogeneidade espacial. A temperatura e a salinidade de fundo, tanto nas amostragens de verão como nas de inverno, mostraram um marcado padrão sazonal, mas sem alterações consistentes entre pontos, locais e setores, mantendo-se praticamente estáveis. A macrofauna local mostrou-se bastante diversificada e numericamente dominada por poliquetas de pequeno porte, que representaram 87% e 90% do total da macrofauna respectivamente nos períodos de inverno e verão. Crustáceos, bivalves, ofiuróides, sipúnculos, nemertinos, anfioxos e hemicordados ocorreram em menor densidade. A análise hierarquizada dos padrões de distribuição revelou que as associações macrobênticas podem variar em todas as escalas espaciais investigadas. Contudo, a menor escala de investigação foi a que mais contribuiu para os padrões observados. Uma mesma espécie, como é o caso do capitelídeo *Mediomastus* sp, pode apresentar padrões de distribuição distintos ao longo do tempo. O estudo mostrou que modelos amostrais hierarquizados devem ser de fato aplicados para avaliar a variabilidade temporal das associações bênticas e das propriedades geoquímicas e granulométricas dos sedimentos, condicionadores da distribuição dos animais. Os poliquetas podem ser usados com segurança como um *proxy* para representação da estrutura das associações macrobênticas locais.

Palavras-chave: análise espacial hierárquica, macrobentos, variabilidade espacial, plataforma continental, Paraná.

## ABSTRACT

The patchy distribution of organisms both in space and time is one of the most remarkable features of benthic assemblages. The determination of their distribution patterns requires understanding of the involved spatial scales. Through a hierarchical sampling design, this study assesses spatial distribution patterns of macrobenthic assemblages in the inner shelf of Paraná State (25° 37' 18" S e 48° 23' 57" W) along the 10 m isobath, near the mouth of Paranaguá Bay. The sampling design comprised four different spatial scales: 3 sectors (at 10<sup>3</sup>m scale), 3 locations (10<sup>2</sup>m), 3 sites (10<sup>1</sup>m) and 6 cores (10<sup>0</sup> m), taken during summer and winter. Sediment texture and organic carbon, nitrogen and total phosphate, chlorophyll-*a* and phaeopigments content were determined. Differences in density and species number of macrofauna, besides differences in the density of numerically dominant species, were analyzed at each scale using a nested ANOVA and variance component estimates, combined with multivariate analysis (PERMANOVA, nMDS and BioEnv). Bottom characteristics and sediment geochemical properties showed marked spatial heterogeneity. Bottom temperature and salinity, in summer as well as in winter, followed a marked seasonal pattern. However, there were few consistent alterations among sites, locations and sectors. Local macrofauna was diverse and numerically dominated by small polychaetes, which constituted 87% and 90% of total macrofauna in winter and summer respectively. Crustaceans, bivalve mollusks, ophiuroids, sipunculids, nemerteans, lancelets and hemicordates occurred in smaller densities. The hierarchical analysis of distribution patterns revealed that macrobenthic assemblages vary at all assessed spatial scales. Nevertheless, the macrobenthos was most variable at small scales. A same species may show different distribution patterns throughout time, as the capitellid *Mediomastus* sp. The study also showed that hierarchical sampling designs must be incorporated to properly estimate temporal variability of benthic assemblages as well as geochemical and granulometric properties of sediments. Polychaetes can be used as a proxy of the responses of local macrofaunal assemblages to spatial variability.

Keywords: Hierarchical spatial analysis; Macrobenthos; Spatial variability; Continental shelf; Paraná.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.2 PLANEJAMENTO AMOSTRAL E AMOSTRAGENS.....	13
3.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	15
3.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	16
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL .....	17
4.1.1 Parâmetros físico-químicos.....	17
4.1.2 Caracterização sedimentar .....	19
4.2 ASSOCIAÇÕES MACROFAUNAIS .....	26
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## TERMO DE APROVAÇÃO

Alessandro Lívio Prantoni

*“Variabilidade espacial do macrobentos em uma área de plataforma interna próximo à desembocadura da Baía de Paranaguá - Paraná - Brasil.”.*

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Paulo da Cunha Lana'.

Paulo da Cunha Lana (UFPR/CEM)  
Orientador e Presidente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Therezinha Monteiro Absher'.

Dr.ª. Therezinha Monteiro Absher (UFPR/CEM)  
Membro Examinador

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Paulo César de Paiva'.

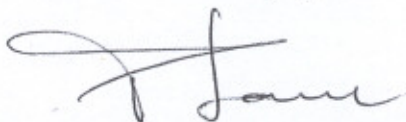
Paulo César de Paiva (UFRJ)  
Membro Examinador

*“Variabilidade espacial do macrobentos em uma área de plataforma interna próximo à desembocadura da Baía de Paranaguá - Paraná - Brasil.”*

POR

Alessandro Lívio Prantoni

Dissertação nº 45 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Dr. Paulo da Cunha Lana (UFPR/CEM)  
Orientador e Presidente



Dr.ª. Therezinha Monteiro Absher (UFPR/CEM)  
Membro Examinador



Dr. Paulo César de Paiva (UFRJ)  
Membro Examinador

## 1 INTRODUÇÃO

O reconhecimento da composição e estrutura espaço-temporal de associações biológicas é essencial para o manejo sustentado de recursos vivos e para o monitoramento do impacto de atividades antrópicas (SOARES-GOMES & PIRES VANIN, 2003). A identificação das escalas relevantes de variabilidade espacial e temporal é pré-requisito para a compreensão dos fatores e processos geradores dos padrões de distribuição dos componentes vivos e não-vivos dos ecossistemas (LEVIN 1992; BERGSTRÖM *et al.*, 2002). Em muitos casos, estas escalas de variação são desconhecidas. Conseqüentemente, a heterogeneidade em qualquer escala entre as unidades amostrais (pequena escala) e os locais amostrais (grande escala) não é revelada ou dada *a priori*. Assim, as variações locais não são adequadamente estimadas ou consideradas, dificultando ou impedindo comparações válidas entre locais e gerando pseudoreplicação na maioria das tentativas de amostragem (HULBERT, 1984; MORRISEY *et al.*, 1992a). Isso pode inviabilizar inferências consistentes sobre processos ecológicos a partir dos padrões observados.

Os organismos macrobênticos têm um papel importante na ciclagem de nutrientes, aeração dos sedimentos e produção secundária, entre outros processos essenciais ao funcionamento dos fundos marinhos (SNELGROVE, 1998; THRUSH & DAYTON, 2002). Em termos práticos, esses organismos são considerados elementos chave em muitos programas de monitoramento de ecossistemas costeiros.

Parâmetros estruturais como densidade, diversidade e riqueza de espécies de invertebrados bênticos são considerados uma ferramenta eficaz para a avaliação de impactos ambientais em sistemas aquáticos (CARTER *et al.*, 2006). Formam associações relativamente estáveis que integram e refletem as condições dos compartimentos bênticos e pelágicos por períodos de tempo relativamente longos (NALEPA, 1987). São ferramentas biológicas poderosas para avaliar as condições dos habitats e sua recuperação após perturbações ambientais ou para o monitoramento dos efeitos de poluentes (WARWICK, 1986). Entretanto, os programas correntes de avaliação e monitoramento de impactos

em ecossistemas marinhos raramente são analisados sob uma perspectiva multiescalar.

Variações na distribuição desses organismos ocorrem em distintas escalas espaciais e temporais. As variações espaciais podem ocorrer de centímetros a centenas de quilômetros (MORRISEY *et al.*, 1992a; JENKINS *et al.*, 2001). Em grande escala, fatores físico-químicos como diferentes condições hidrodinâmicas entre períodos do ano, distúrbios físicos episódicos, mudanças nas características sedimentares e da profundidade e salinidade parecem ser as principais forçantes que regulam a distribuição do bentos de sedimentos não consolidados (GRAY, 1974; ELLINGSEN, 2002). Por outro lado, os padrões de distribuição espacial em pequena escala, de centímetros a metros, podem ser também modificados por processos biológicos não necessariamente escalares, como migração, recrutamento, competição, predação e produtividade, ou pela interação entre eles (THRUSH, 1991; SANVICENTE-AÑORVE *et al.*, 2002), com importantes implicações em estudos comparativos e descritivos (MORRISEY *et al.*, 1992a).

Uma das características mais marcantes dos ecossistemas bênticos é a sua marcada heterogeneidade, expressa pela distribuição dos organismos em manchas no espaço e no tempo (THRUSH, 1991; STEVENS & CONNOLLY, 2004). É complexo definir se a variabilidade observada é maior dentro de uma determinada área amostral ou entre áreas (MORRISEY *et al.*, 1992a). Muitos padrões de distribuição das associações macrobênticas têm sido interpretados como processos de grande escala (JUMARS, 1993). Entretanto, eventos em pequena escala, de centímetros a metros, podem também causar fortes variações na estrutura das associações macrobênticas (TRUEBLOOD, 1991). Essas variações são conhecidas para muitos ambientes bênticos e também responsáveis por complexos padrões de agregação dos organismos (THRUSH, 1991; MORRISEY *et al.*, 1992a; ABERG & PAVIA, 1997; LI *et al.*, 1997), que podem potencialmente resultar na interpretação equivocada dos resultados (PAIVA, 2001).

Os problemas descritos acima podem ser solucionados ou amenizados aplicando-se um desenho amostral hierárquico, garantindo assim uma replicação apropriada. Estes desenhos se consolidaram como poderosas ferramentas para a

descrição da variação espacial da fauna bêntica de substratos não consolidados (MORRISEY *et al.*, 1992a; LINDEGARTH *et al.*, 1995; LI *et al.*, 1997; OLABARRIA & CHAPMAN, 2001; YSEBAERT & HERMAN, 2002; COMMITO *et al.*, 2006) por identificar as escalas que mais contribuem para a variabilidade de um dado fator a partir da alocação aninhada das unidades amostrais (UNDERWOOD, 1997).

Ao largo da costa sul e sudeste brasileira, a fauna bêntica de plataforma apresenta composição taxonômica e padrões de distribuição recorrentes (TEMPERINI, 1981; NONATO, 1981; LANA 1981, 1984; PAIVA, 1993) sendo presumidamente mais afetada pelas variações texturais de sedimento, ao largo de gradientes batimétricos (KLEIN *et al.*, 2001), do que pelas variações latitudinais. Gonçalves & Lana (1991), tomando como modelo os moluscos, sugeriram que a distribuição em larga escala dos macroinvertebrados da plataforma interna do Estado do Paraná estaria relacionada com o gradiente hidrodinâmico, responsável pela distribuição dos sedimentos dos fundos regionais. No entanto, ainda são escassos os estudos sobre os setores internos da plataforma (FLOETER & SOARES-GOMES 1999; BORZONE *et al.* 1999a; KLEIN, *et al.*, 2001; LORENZI, 2004), com exceção do litoral norte de São Paulo (LANA, 1981; PAIVA, 1993, 1997, 2001; PIRES VANIN, 1993; PETTI, 1997; SOARES-GOMES & PIRES VANIN, 2003) e de setores da plataforma do Rio Grande do Sul (BORZONE, 1988; CAPITOLI & BEMVENUTI, 2004, 2006).

Os padrões de variabilidade espacial das associações macrofaunais na plataforma interna do Estado do Paraná permanecem ainda pouco conhecidos (NEGRELLO FILHO *et al.*, 2004; PELAES 2005; PRANTONI, 2007). Neste contexto, assume particular relevância a realização de análises consistentes que determinem suas escalas espaciais de variação como ferramenta para programas de monitoramento e ações de manejo e conservação. Para isto, este estudo avalia os padrões de distribuição espacial das associações macrobênticas de uma área ao largo da plataforma continental interna do Estado do Paraná, próximo à desembocadura da Baía de Paranaguá, através de um desenho amostral hierarquizado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A costa do Estado do Paraná estende-se por aproximadamente 100 km, na direção NE-SW, entre as coordenadas 25° 20' – 25° 55' S e 48° 10' – 48° 55' W (MARTINS *et al.*, 2004), e pertence ao setor sudeste da costa brasileira entre Cabo Frio (ES) e o Cabo de Santa Marta (SC). Os limites estaduais do litoral do Estado do Paraná são a foz do rio Ararapira, na divisa com o Estado de São Paulo ao norte e a foz do rio Saí-Guaçu, na divisa com o Estado de Santa Catarina, ao sul.

Predominam na região as águas costeiras (AC) e de plataforma continental (APL), que sofrem a intrusão da ACAS (Água Central do Atlântico Sul) no final da primavera e início do verão (MATSUURA, 1996). A temperatura média da água na região pode variar entre 21° C no inverno e 29° C no verão, seguindo padrões bem definidos de aquecimento nos meses de verão e de resfriamento nos meses de inverno. A variação da salinidade é de 28 a 37 UPS, sendo que os menores valores ocorrem nas camadas superficiais da coluna d'água (BRANDINI *et al.*, 2007).

A composição sedimentar da plataforma interna apresenta grande predominância de areia fina. Corpos de areia grossa são encontrados entre as profundidade de 10 e 20m que varia de moderadamente a bem selecionada. Por outro lado, entre 5 e 10m ocorre uma faixa de areia muito fina com elevados teores de silte e argila, entre 10% e 40% que pode ultrapassar 2 km de largura. Esta área também é caracterizada por altos teores de matéria orgânica e CaCO<sub>3</sub> que podem ultrapassar 10% e 13%. As frações finas, dos sedimentos classificados como areia muito fina, apresentam grãos angulosos de quartzo, fragmentos de mica e restos vegetais abundantes, o que sugere aporte recente de sedimentos de origem continental (VEIGA *et al.*, 2004). Na medida em que ocorre um aumento no grau de seleção do sedimento de sul para norte e que a deriva litorânea na região segue o mesmo sentido (ÂNGULO, 1993), Veiga *et al.* (2004) sugerem que na área estuda, entre as coordenadas 25° 37' 18" S e 48° 23' 57" W, próxima ao delta de maré vazante associado a desembocadura sul do

complexo estuarino de Paranaguá (CEP), o transporte preferencial de sedimento ocorre nesta direção (FIGURA 1). O suprimento de material fino nesta região é bastante expressivo visto a proximidade com a desembocadura do CEP.

Análises de imagens evidenciaram a nítida influência da pluma estuarina do CEP que pode alcançar uma extensão superior a 25 km sobre a plataforma interna adjacente. Neste sentido, o CEP pode afetar em profundidade os processos físicos e ecológicos da região costeira, com o aporte variável de sólidos em suspensão ou material dissolvido (NOERNBERG, 2001).

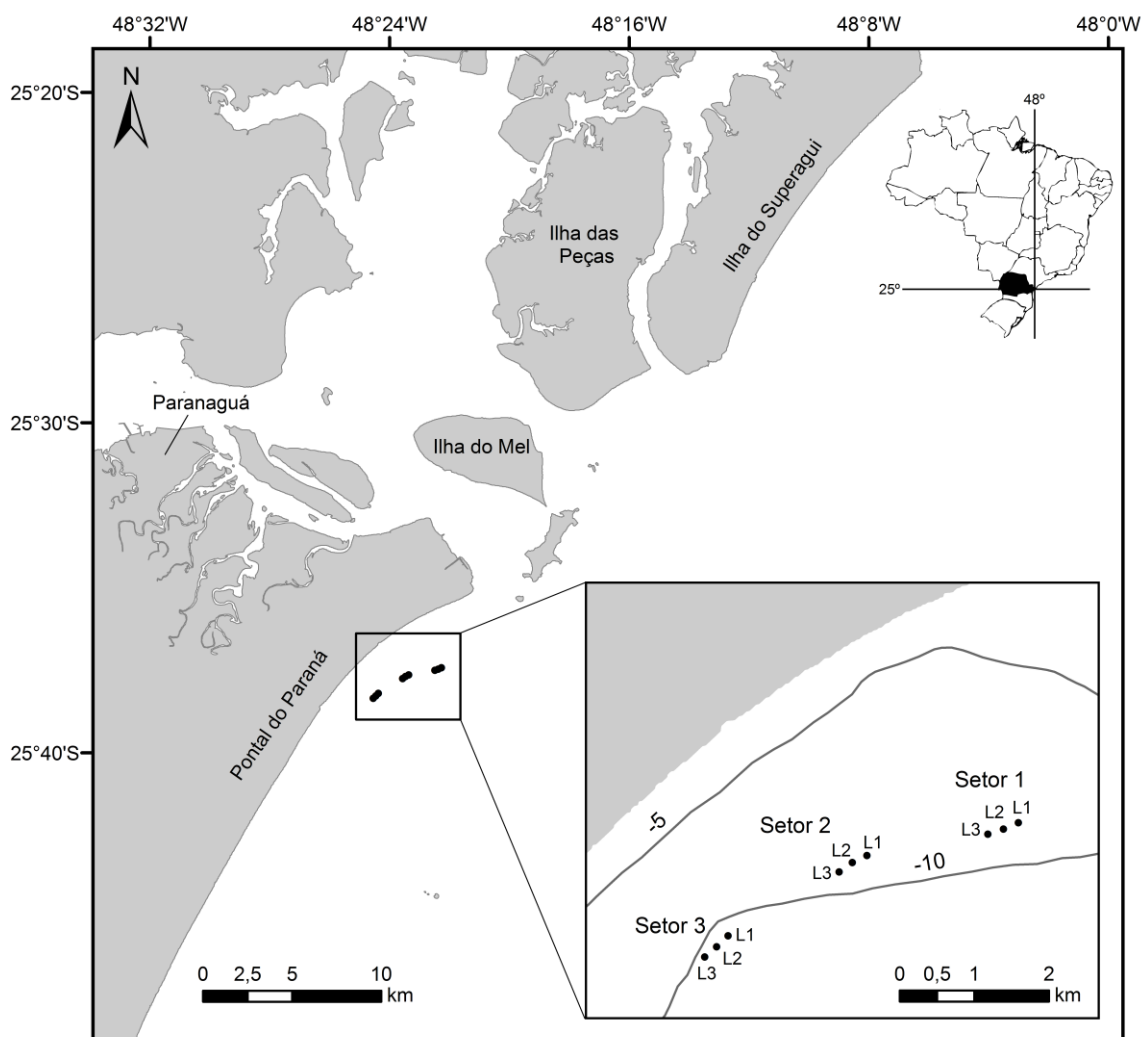


FIGURA 1: Área de estudo com indicação dos setores e locais de amostragem.

## 2.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGENS

Como a variabilidade nos padrões de distribuição, diversidade e abundância da fauna pode ocorrer em uma hierarquia de escalas espaciais

(MORRISEY *et al.*, 1992a; JENKINS *et al.*, 2001), foi adotado um desenho amostral hierárquico para discriminar a importância relativa destas escalas na ordem de quilômetros ( $10^3$  m), centena de metros ( $10^2$  m), dezena de metros ( $10^1$  m) e metros ( $\leq 10^0$  m) replicado em períodos de verão e inverno (Figura 2).

A distância entre os setores foi fixada na escala do quilômetro. Em cada setor foram determinados três locais distantes entre si na escala da centena de metros. Em cada local foram aleatorizados três pontos distantes entre si na escala da dezena de metros. Em cada ponto foram tomadas seis réplicas ou unidades amostrais para análises biológicas, uma para caracterização sedimentar e uma para determinação dos teores de Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio e Fósforo Total (NPT), Clorofila-*a* e feopigmentos, distantes entre si na escala do metro. Em cada ponto foram tomadas medidas de temperatura e salinidade. As amostragens no período do inverno foram realizadas em 17/09/2008 e as de verão em 27/03/2009.

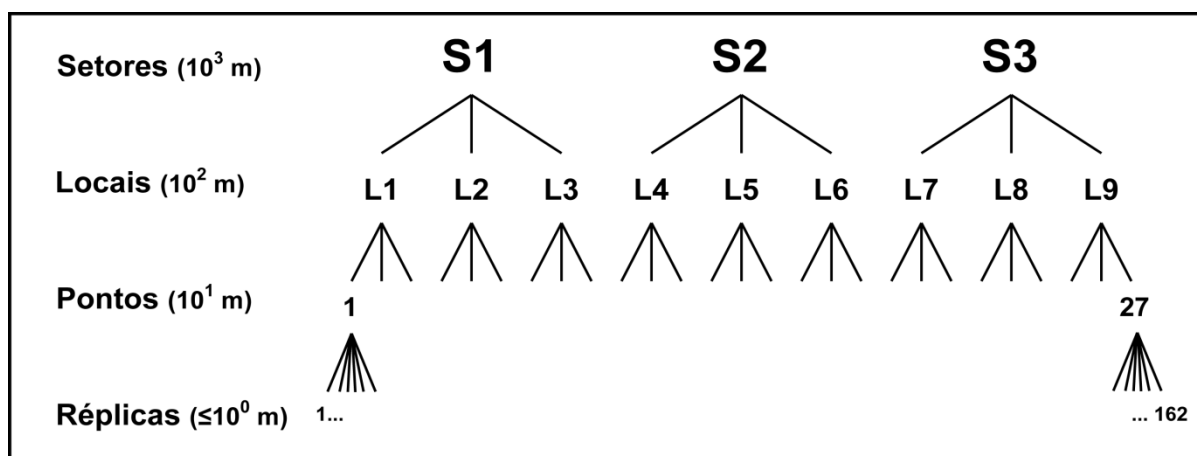


FIGURA 2: Delineamento amostral hierárquico com indicação das escalas espaciais de variação.

As amostragens para análises da macrofauna, caracterização sedimentar e dos parâmetros físico-químicos foram realizadas com mergulho autônomo. As duas primeiras utilizaram corers de 10 cm de diâmetro por 10 cm de altura totalizando uma área de  $78 \text{ cm}^2$  para as estimativas de densidade. Para as análises geoquímicas, foram amostradas as camadas superficiais dos sedimentos utilizando potes plásticos escuros, acondicionados em isopor com gelo e congelados em laboratório a  $-12^\circ\text{C}$  para posterior análise.

As amostras para análise do material biológico foram triadas através de peneira de malha de 0,5 mm e os organismos fixados em formalina a 10%, separados e identificados até o menor nível taxonômico possível, com o auxílio de microscópio estereoscópio.

Os parâmetros granulométricos, após análise do sedimento por peneiramento e pipetagem, foram obtidos pelo pacote SysGran, versão 3.0 para Windows (CAMARGO, 2006). Após o peneiramento, o teor de carbonatos foi determinado pela diferença de pesos após acidificação de 10 gramas de sedimento em HCl (10 %). O teor de matéria orgânica foi estimado pela queima de 5 g de sedimento coletado, em forno mufla a 550<sup>0</sup> C por 1 hora.

### 2.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio e fósforo totais (NPT), os sedimentos foram secos em estufa a 60°C e macerados a seguir.

Os teores de COT foram obtidos pelo método descrito por Strickland & Parsons (1972). Este método consiste na oxidação do carbono orgânico, presente no sedimento, com dicromato de potássio em meio ácido. Foi utilizado 0,2 g de sedimento para determinação deste parâmetro.

Os teores de NPT foram determinados por digestão ácida a quente, na presença de persulfato de potássio, conforme metodologia descrita por Grasshoff *et al.* (1983) e adaptada por Carmouze (1994). Foi utilizado 0,1 g de sedimento para determinação deste parâmetro.

Para extração dos pigmentos fotossintetizantes, foram adicionados 10 ml de acetona a 90% nas amostras ainda congeladas. As amostras foram mantidas em freezer (-12°C), por 24 horas. Os teores de clorofila-a e feopigmentos foram determinados através da leitura das absorbâncias a 665 e 750 µm, antes e após acidificação com HCl 2N, em um espectrofotômetro UV marca Shimadzu, modelo 1601. As concentrações de clorofila e feopigmentos foram calculadas pela equação de Lorenzen (1967).

As medidas de temperatura e salinidade foram tomadas *in situ*, em cada ponto amostral, utilizando uma multisonda marca YSI modelo 556.

## 2.4 ANÁLISE DOS DADOS

A significância das diferenças na densidade dos organismos macrobênticos, nos diferentes níveis espaciais, foi determinada por uma análise de variância hierárquica (nested ANOVA), com todos os fatores considerados randômicos. Este procedimento permite estimativas independentes das escalas com variabilidade significativa (de metros a quilômetros) e dos componentes de variância em cada uma das escalas consideradas. A estimativa dos componentes de variância é um importante passo para a interpretação ecológica da ANOVA, pois permite avaliar a contribuição de um dado fator (neste caso as diferentes escalas espaciais), para a variabilidade de uma variável-resposta qualquer. A homogeneidade das variâncias e a normalidade foram avaliadas pelos testes de Shapiro Wilk e Bartlett, respectivamente, e os dados foram transformados para raiz quadrada e raiz quarta quando necessário. Para visualizar os padrões de semelhança na estrutura das associações macrobênticas entre as escalas espaciais adotadas, foram aplicadas análises de proximidade nMDS (*non metric multidimensional scaling*) em separado para cada período do ano a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis.

A análise de variância permutacional não paramétrica (PERMANOVA) foi utilizada para avaliar a significância das diferenças na estrutura das associações entre as diferentes escalas espaciais nos períodos de verão e inverno (ANDERSON 2001, 2005). A análise é baseada no mesmo desenho das análises univariadas, porém aplicada à matriz de similaridade de Bray-Curtis. Foram realizadas 9999 permutações.

A correlação entre a distribuição das associações macrofaunais com as características do substrato e as concentrações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio e fósforo total (NPT), clorofila e feofitina foi investigada pela análise multivariada BioEnv. Esta rotina correlaciona uma matriz de dados bióticos com uma de dados abióticos. Os valores do coeficiente de correlação de Spearman (Rho), fornecidos pelo BioEnv, variam entre 1 e -1, e quanto mais próximo dos extremos, maior a correlação entre as variáveis bióticas e abióticas analisadas. Da mesma forma que as análises univariadas, a rotina BioEnv incluiu apenas as 6

espécies numericamente dominantes, que representaram 77% e 91% do total de organismos amostrados durante os períodos de inverno e verão respectivamente.

As análises univariadas e multivariadas, com exceção da PERMANOVA, foram realizadas através do software R versão 2.9.2 (R Development Core Team, 2008).

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL**

##### **3.1.1 Parâmetros físico-químicos**

A temperatura e a salinidade de fundo, tanto nas amostragens de verão como nas de inverno, mostraram um marcado padrão sazonal, mas sem alterações consistentes entre pontos, locais e setores, mantendo-se praticamente estáveis, com valores de em torno de 26,5°C e 34 ups no verão e em torno de 20,5°C e 32 ups no inverno. Uma vez que estes parâmetros não variaram nas distintas escalas espaciais investigadas, não foram incluídos nas análises de correlação.

Os teores de fósforo total  $\text{CaCO}_3$ , matéria orgânica e nitrogênio total, no inverno, foram maiores no setor 3 e decresceram em direção ao setor 1. A distribuição de carbono orgânico total mostrou-se mais homogênea e os maiores teores de clorofila foram observados no setor 2 (FIGURA 3).

Por outro lado, no verão, as concentrações de matéria orgânica, fósforo total e clorofila foram maiores no setor 1, enquanto as de carbono orgânico e nitrogênio total mostraram-se mais homogêneas. Já os teores de  $\text{CaCO}_3$  apresentaram-se homogêneos nos setores 1 e 2 com um forte declínio no setor 3 (FIGURA 4).

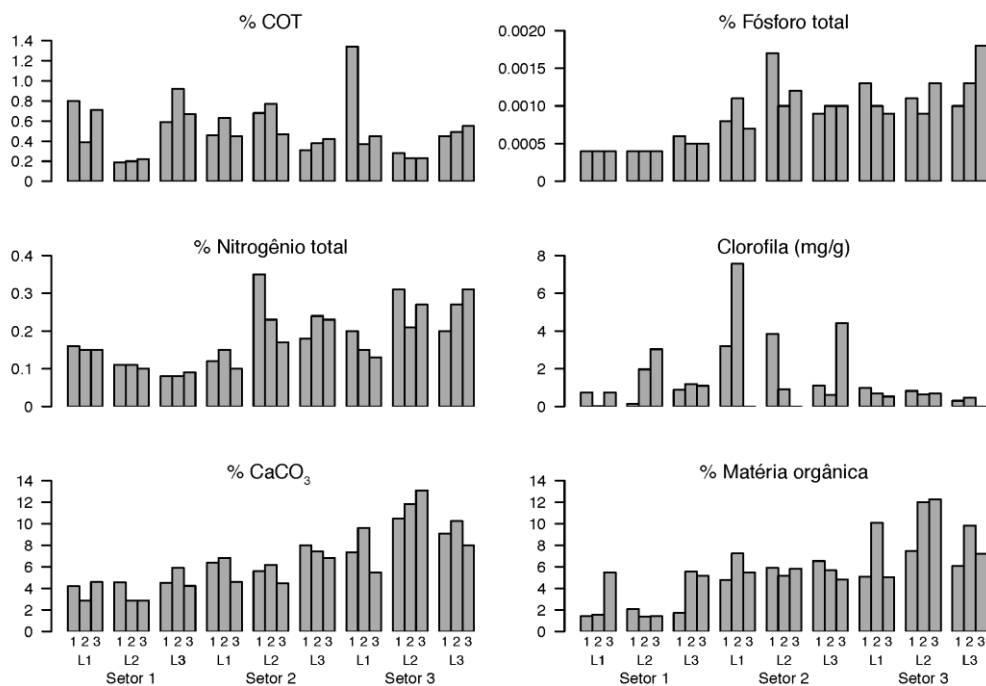


FIGURA 3: Variabilidade na concentração de carbono orgânico total (COT), fósforo total, Nitrogênio total, clorofila, carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e matéria orgânica no sedimento no inverno.

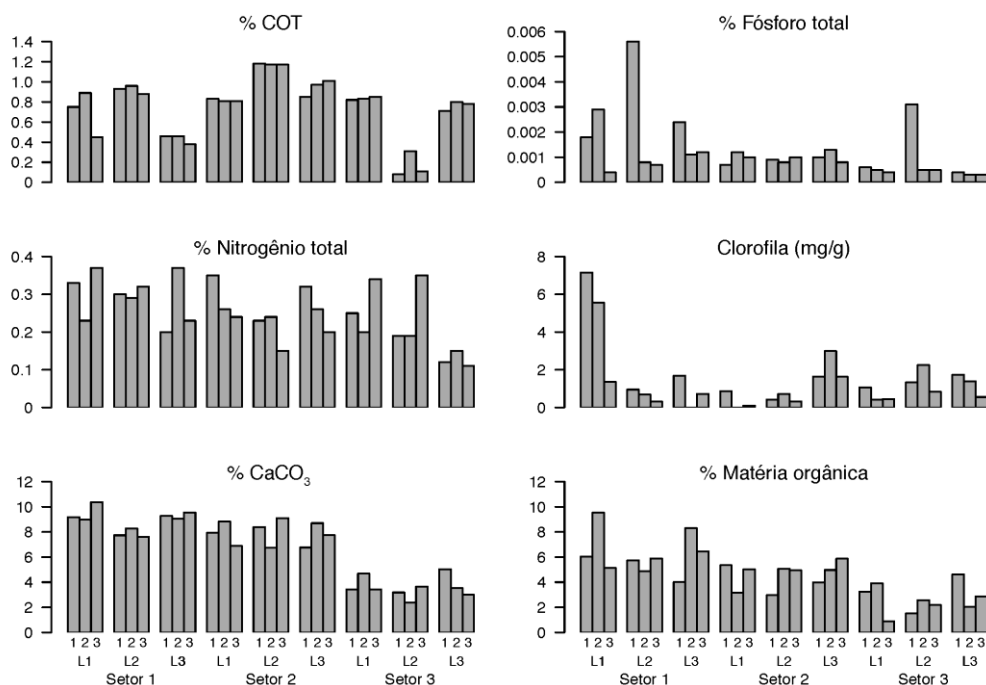


FIGURA 4: Variabilidade na concentração de carbono orgânico total (COT), fósforo total, Nitrogênio total, clorofila, carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e matéria orgânica no sedimento no verão.

### 3.1.2 Caracterização sedimentar

Os sedimentos exibiram marcada heterogeneidade espacial evidente nos dois períodos de amostragens e entre os setores (a maior escala de investigação dentro de cada período).

No inverno de 2008, houve claras diferenças entre os setores 1, 2 e 3. Foi observado um forte declínio das frações de areia, com incremento nas de silte, argila, matéria orgânica e  $\text{CaCO}_3$  do setor 1 em direção aos demais. No primeiro, os sedimentos foram compostos de areia fina e muito fina, classificadas predominantemente como bem selecionadas (FIGURA 3; Tabela 1). No setor intermediário, a composição do sedimento variou de silte grosso a areia muito fina, classificados em maior parte como pobremente selecionados. (FIGURA 4; Tabela 2). O último setor foi composto por silte médio e grosso, classificados entre muito pobremente e pobremente selecionados (FIGURA 5; Tabela 3).

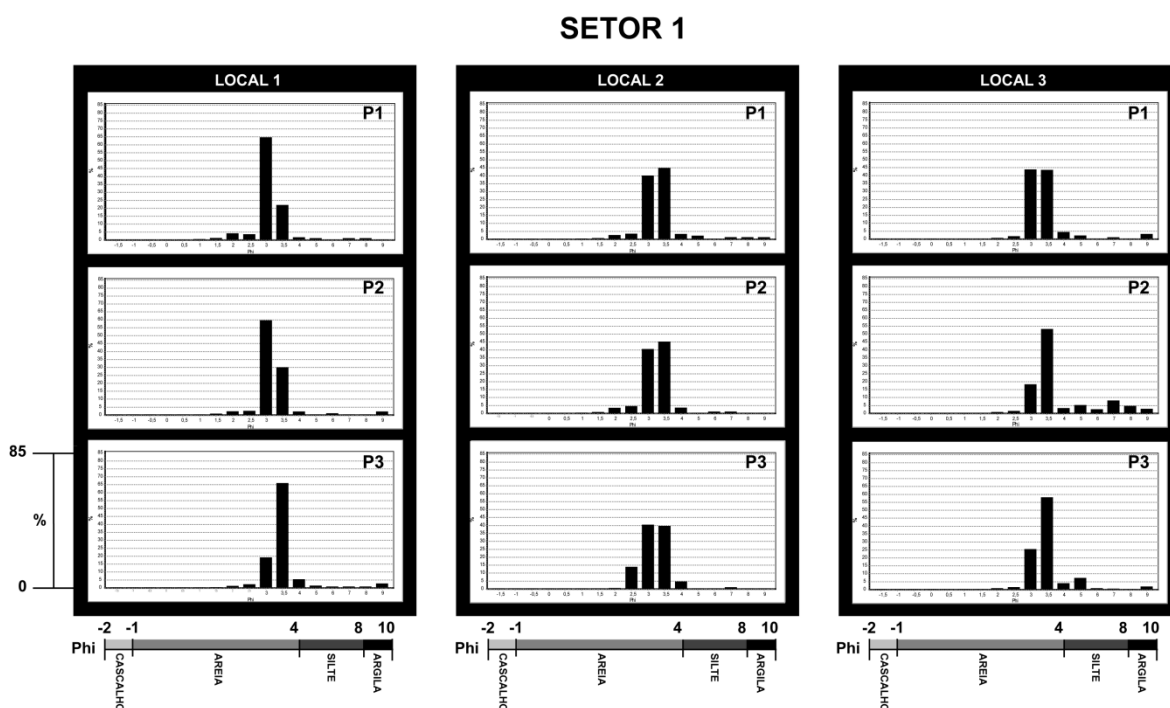


FIGURA 5: Histogramas de frequência granulométrica em phi para os locais e pontos do setor 1 no inverno com gradiente de classificação nominal das classes de tamanho de grão.

TABELA 1: Distribuição das frações sedimentares do setor 1 por pontos amostrados para o período de inverno.

Amostra	Cascalho %	Areia %	Silte %	Argila %	CaCO <sub>3</sub> %	MO %
S1L1P1	0,000	96,910	3,087	0,000	4,200	1,430
S1L1P2	0,000	96,960	1,014	2,027	2,860	1,560
S1L1P3	0,165	93,840	3,345	2,653	4,590	5,470
S1L2P1	0,000	94,720	4,227	1,057	4,560	2,090
S1L2P2	0,224	97,780	1,999	0,000	2,850	1,390
S1L2P3	0,000	98,980	1,018	0,000	2,870	1,410
S1L3P1	0,000	93,850	3,073	3,073	4,520	1,720
S1L3P2	0,029	76,900	20,290	2,780	5,910	5,560
S1L3P3	0,000	89,840	8,343	1,818	4,230	5,150

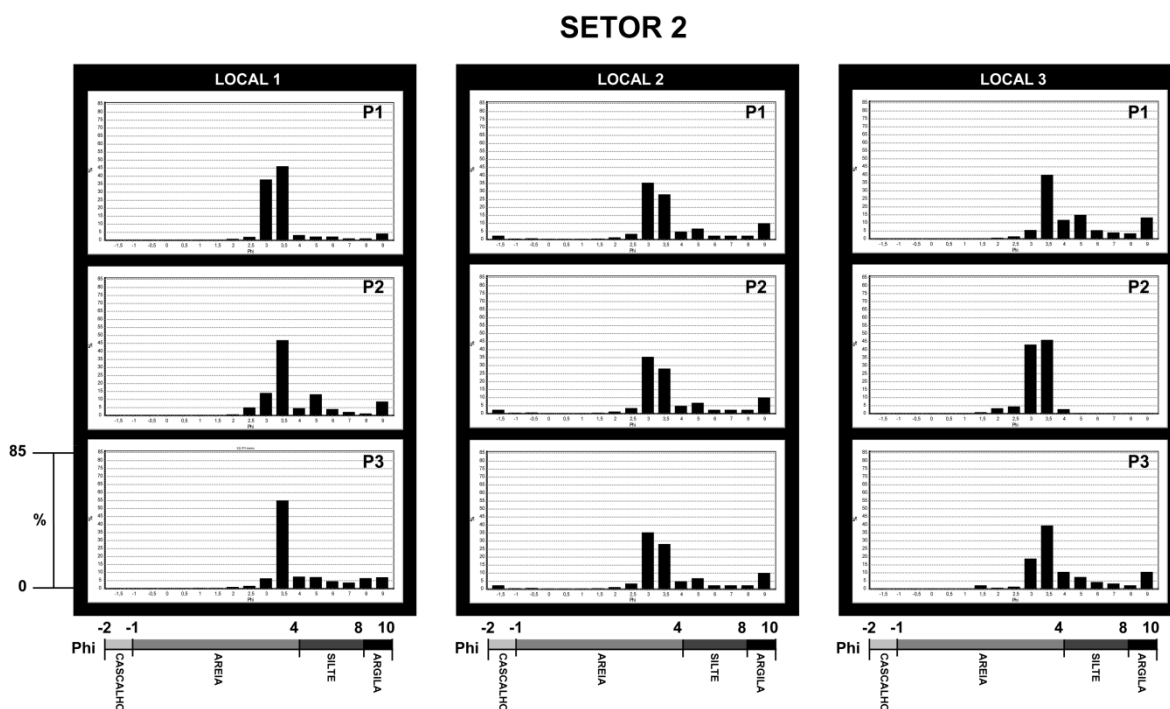


FIGURA 6: Histogramas de frequência granulométrica em phi para os locais e pontos do setor 2 no inverno com gradiente de classificação nominal das classes de tamanho de grão.

TABELA 2: Distribuição das frações sedimentares do setor 2 por pontos amostrados para o período de inverno.

Amostra	Cascalho %	Areia %	Silte %	Argila %	CaCO <sub>3</sub> %	MO %
S2L1P1	0,000	89,920	6,046	4,031	6,390	4,780
S2L1P2	0,089	71,320	20,040	8,551	6,840	7,240
S2L1P3	0,058	71,600	21,440	6,903	4,590	5,470
S2L2P1	2,695	74,070	13,270	9,956	5,590	5,900
S2L2P2	2,695	74,070	13,270	9,956	6,180	5,170
S2L2P3	2,695	74,070	13,270	9,956	4,470	5,820
S2L3P1	0,161	59,290	27,280	13,270	8,000	6,540
S2L3P2	0,000	100,000	0,000	0,000	7,420	5,675
S2L3P3	0,000	72,860	16,700	10,440	6,840	4,810

### SETOR 3

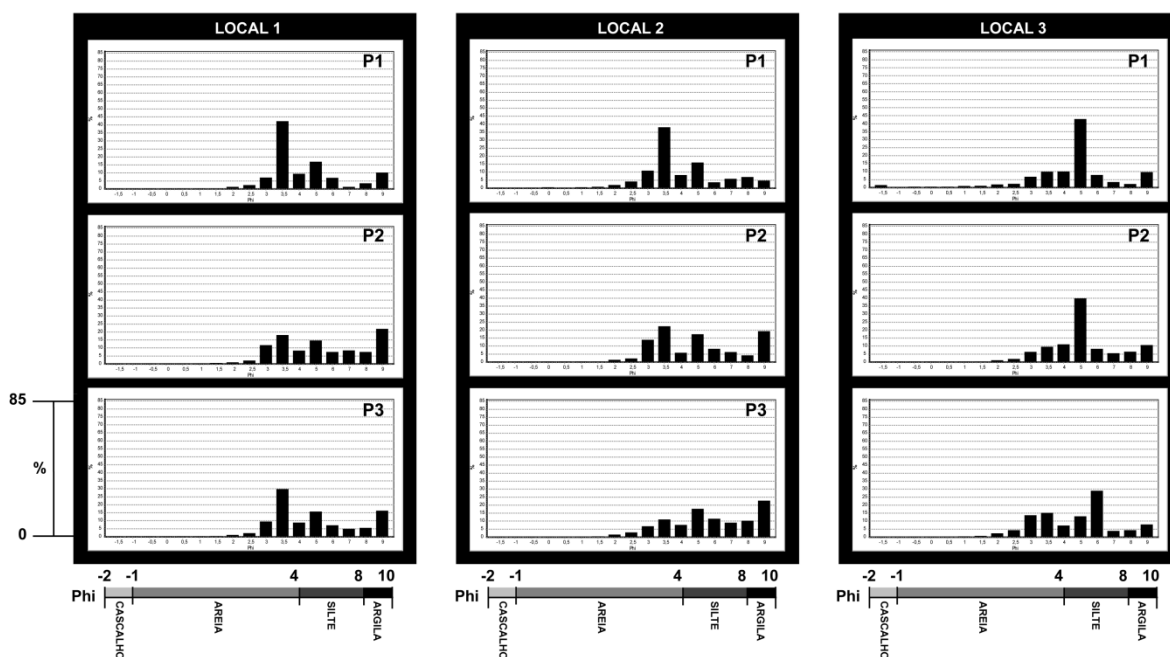


FIGURA 7: Histogramas de frequência granulométrica em phi para os locais e pontos do setor 3 no inverno com gradiente de classificação nominal das classes de tamanho de grão.

TABELA 3: Distribuição das frações sedimentares do setor 3 por pontos amostrados para o período de inverno.

<b>Amostra</b>	<b>Cascalho</b> %	<b>Areia</b> %	<b>Silte</b> %	<b>Argila</b> %	<b>CaCO<sub>3</sub></b> %	<b>MO</b> %
S3L1P1	0,000	61,920	28,000	10,080	7,340	5,080
S3L1P2	0,000	40,810	37,380	21,810	9,610	10,090
S3L1P3	0,000	50,970	32,870	16,160	5,470	5,040
S3L2P1	0,000	63,880	31,600	4,515	10,460	7,470
S3L2P2	0,000	45,460	35,350	19,190	11,830	12,000
S3L2P3	0,000	29,850	47,600	22,550	13,090	12,260
S3L3P1	1,583	33,060	55,880	9,483	9,080	6,070
S3L3P2	0,061	29,870	59,600	10,470	10,240	9,830
S3L3P3	0,000	42,820	49,460	7,729	7,980	7,220

Por outro lado, os parâmetros sedimentares evidenciaram um padrão espacial consistentemente inverso no verão. Ocorreu um empobrecimento nas frações de areia, com um acréscimo nas de silte e argila, do primeiro para o terceiro setor. No setor 1, a composição foi de silte médio pobremente e muito pobremente selecionado (FIGURA 6; TABELA 4). O segundo setor foi composto predominantemente de silte grosso pobremente selecionado. O terceiro teve o predomínio de areia muito fina variando de moderadamente a muito bem selecionada (FIGURA 7; TABELA 5). Nos dois primeiros setores as concentrações de matéria orgânica e CaCO<sub>3</sub> foram mais homogêneas e marcadamente menores setor 3 (TABELAS 4, 5 e 6). Os teores mais elevados de matéria orgânica e CaCO<sub>3</sub> observados no setor 3 durante o inverno e no setor 1 no verão, estão relacionados com fragmentos de conchas e detritos vegetais encontrados nestas áreas (TABELAS 3 e 4).

Ondulações no sedimento foram vistas através de mergulho autônomo durante as coletas. Essas formações são características de ambientes de plataforma interna e refletem a intensa ação de ondas, mesmo em profundidade. O padrão observado sugere um ambiente de alta energia ambiental (LORENZI, 2004), comuns em áreas próximas a desembocadura de um grande complexo estuarino como o de Paranaguá.

Os resultados refletem a alta complexidade na distribuição dos sedimentos de fundo na plataforma interna do Paraná, possivelmente relacionada com os distintos padrões de vento e correntes entre períodos de inverno e verão.

## SETOR 1

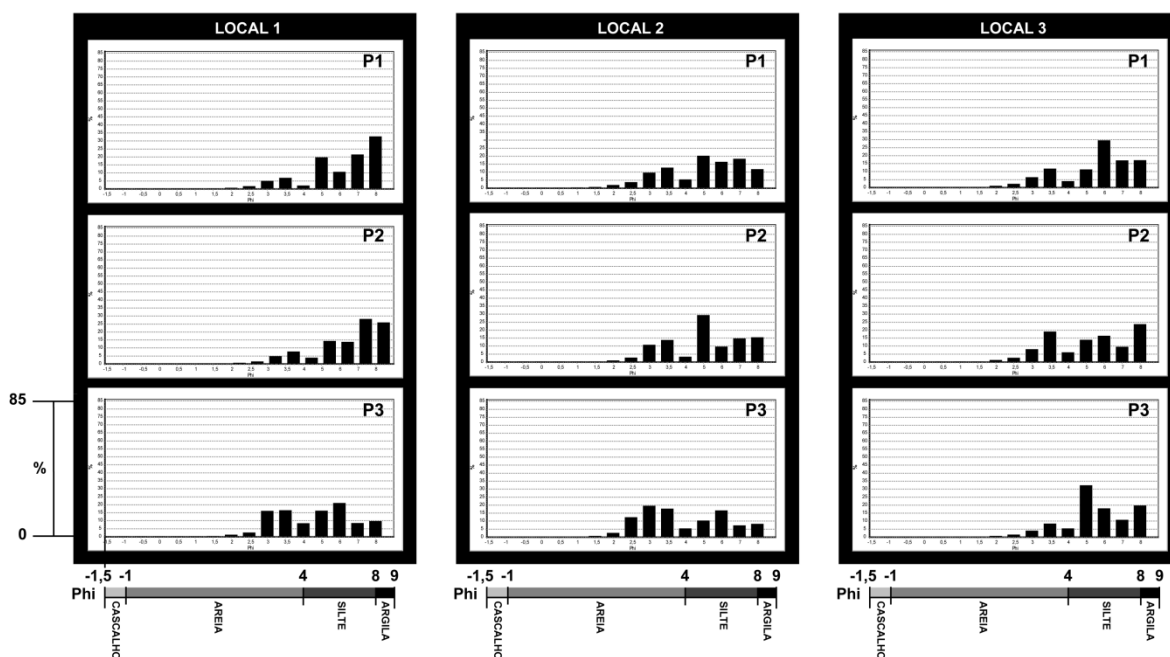


FIGURA 8: Histogramas de frequência granulométrica em phi para os locais e pontos do setor 1 no verão com gradiente de classificação nominal das classes de tamanho de grão.

TABELA 4: Distribuição das frações sedimentares do setor 1 por pontos amostrados para o período de verão.

Amostra	Cascalho %	Areia %	Silte %	Argila %	CaCO <sub>3</sub> %	MO %
S1L1P1	0,004	15,53	82,20	2,259	9,180	6,040
S1L1P2	0	14,92	66,42	18,66	8,980	9,530
S1L1P3	0,036	36,45	44,93	18,58	10,350	5,150
S1L2P1	0,010	30,62	60,21	9,156	7,730	5,730
S1L2P2	0,040	28,25	62,07	9,639	8,280	4,880
S1L2P3	0,002	47,02	34,22	18,76	7,600	5,880
S1L3P1	0,035	19,98	58,39	21,59	9,270	4,010
S1L3P2	0,077	30,84	52,56	16,52	9,040	8,300
S1L3P3	0	17,01	68,90	14,09	9,540	6,450

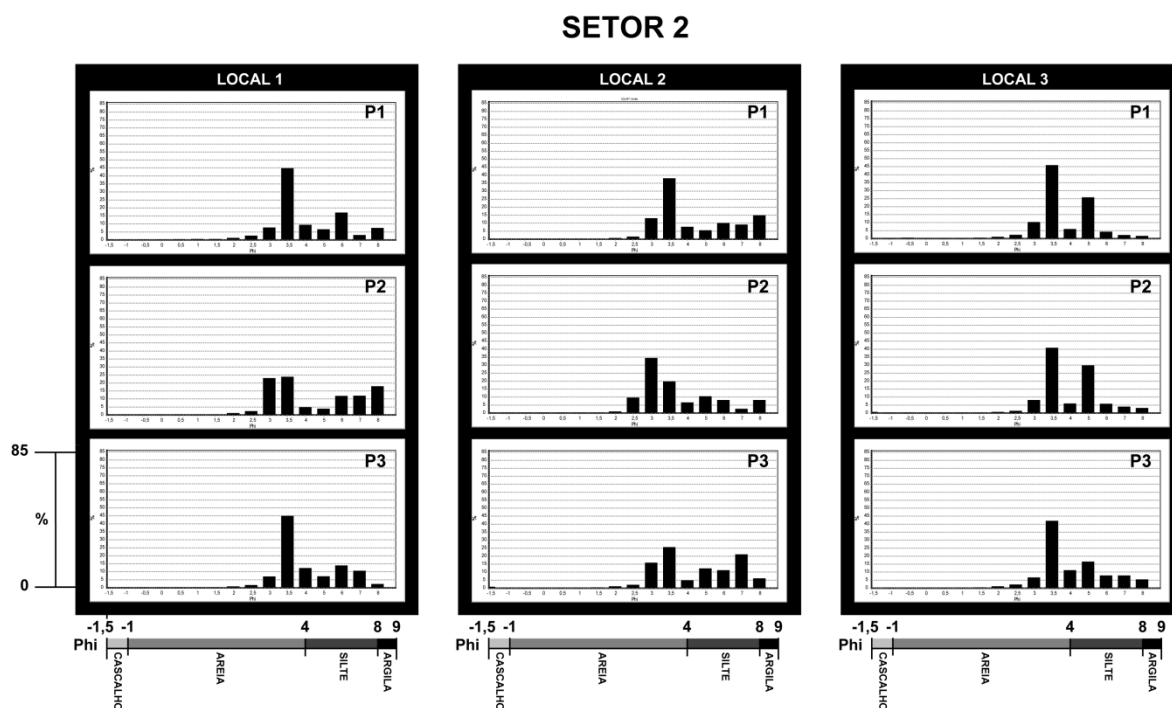


FIGURA 9: Histogramas de frequência granulométrica em phi para os locais e pontos do setor 2 no verão com gradiente de classificação nominal das classes de tamanho de grão.

TABELA 5: Distribuição das frações sedimentares do setor 2 por pontos amostrados para o período de verão.

Amostra	Cascalho %	Areia %	Silte %	Argila %	CaCO <sub>3</sub> %	MO %
S2L1P1	0,108	55,67	28,30	15,92	7,920	5,350
S2L1P2	0	51,95	42,69	5,356	8,820	3,150
S2L1P3	0,082	60,52	30,48	8,918	6,890	5,020
S2L2P1	0,196	53,25	34,18	12,37	8,380	2,960
S2L2P2	0,044	65,74	26,77	7,452	6,750	5,070
S2L2P3	0,588	43,74	44,21	11,46	9,100	4,940
S2L3P1	0,325	61,24	30,52	7,912	6,760	3,980
S2L3P2	0,542	53,05	39,18	7,227	8,700	4,970
S2L3P3	0,018	54,85	32,28	12,85	7,740	5,870

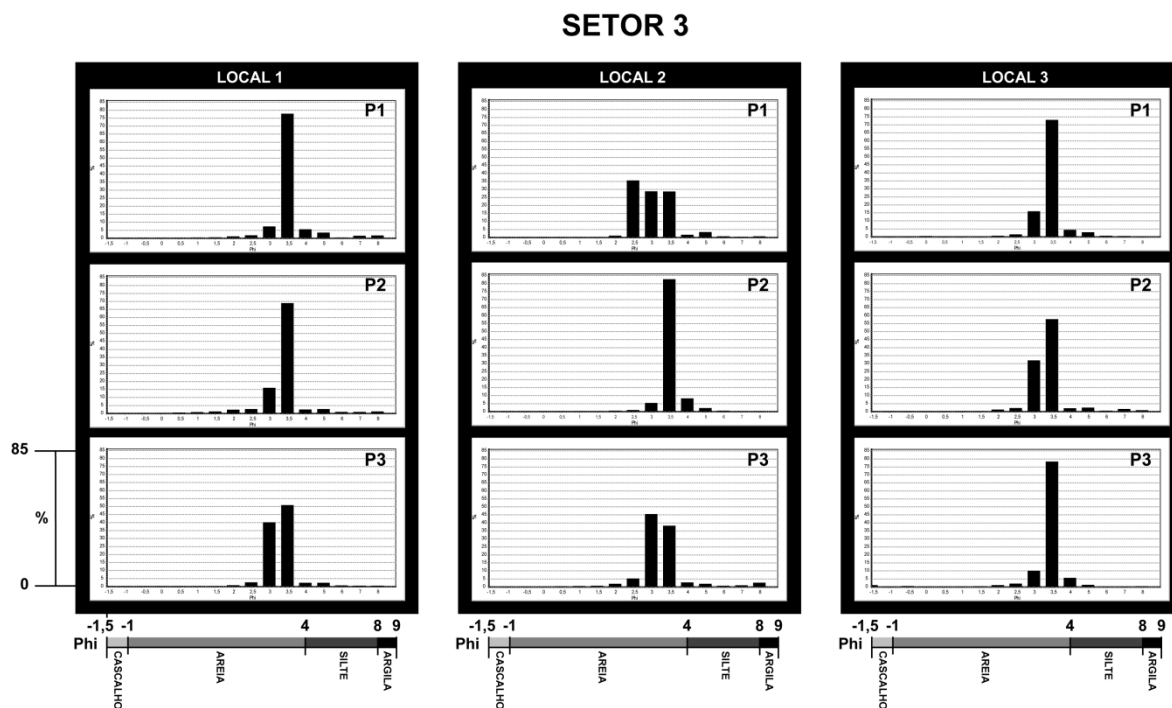


FIGURA 10: Histogramas de frequência granulométrica em phi para os locais e pontos do setor 3 no verão com gradiente de classificação nominal das classes de tamanho de grão.

TABELA 6: Distribuição das frações sedimentares do setor 3 por pontos amostrados para o período de verão.

Amostra	Cascalho %	Areia %	Silte %	Argila %	CaCO <sub>3</sub> %	MO %
S3L1P1	0,014	90,87	6,356	2,765	3,420	3,240
S3L1P2	0,205	92,52	5,300	1,977	4,680	3,910
S3L1P3	0	94,23	3,474	2,293	3,420	0,880
S3L2P1	0,016	93,70	4,375	1,907	3,180	1,520
S3L2P2	0	96,41	2,877	0,709	2,380	2,580
S3L2P3	0,074	93,05	5,567	1,310	3,660	2,190
S3L3P1	0	92,31	3,892	3,803	5,040	4,620
S3L3P2	0,050	93,73	4,789	1,427	3,530	2,050
S3L3P3	1,058	95,56	1,566	1,814	3,000	2,870

### 3.2 ASSOCIAÇÕES MACROFAUNAIS

Foi coletado um total de 8640 indivíduos nas amostragens realizadas durante o período de inverno de 2008. Os poliquetas representaram o grupo mais numeroso e diverso com 7652 indivíduos representando 87% do total da macrofauna. Crustáceos, bivalves, ofiuróides, sipúnculos, nemertinos, anfioxos e hemicordados ocorreram em menor densidade, representando juntos 13%. As espécies numericamente dominantes foram os poliquetas *Apoprionospio* sp com 4489 indivíduos, *Magelona posterelongata* com 619, *Mediomastus* sp. com 546, *Sigambra grubei* com 317 e *Aricidea* sp. com 299. Entre os crustáceos, destacou-se uma espécie não identificada de Gammaridae com 437 indivíduos (FIGURA 3).

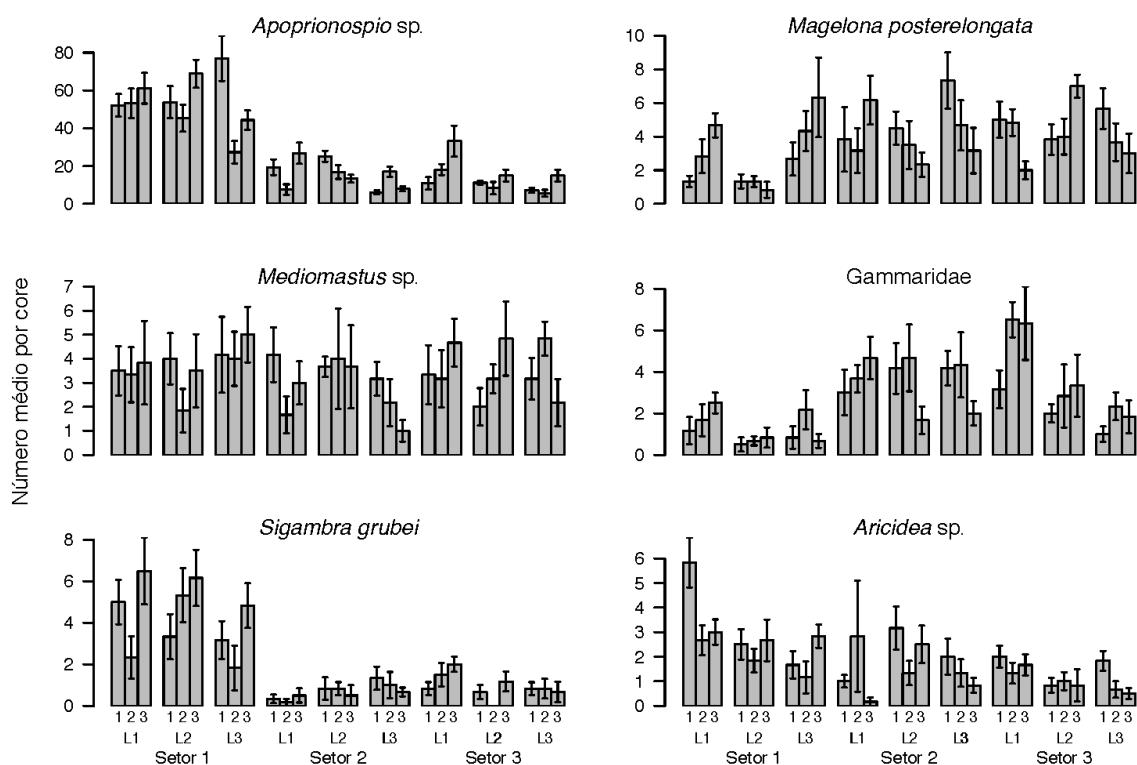


FIGURA 11: Distribuição e densidade média (+ erro padrão) das espécies numericamente dominantes no inverno.

No verão, foram coletados 5461 indivíduos, mostrando uma tendência de decréscimo na abundância total da fauna do inverno para o verão.

As espécies mais frequentes no verão foram *Mediomastus* sp. com 1785 indivíduos, *Apoprionospio* sp. com 1139, *M. posterelongata* com 783, *Aricidea* sp. com 593, *Prionospio pinnata* com 110 e *Poecilochaetus trilobatus* com 85. Neste período, foi observado o mesmo padrão de dominância numérica por poliquetas, com um total de 4924 indivíduos, representando 90% da fauna, mas com alterações da dominância dentro do grupo (FIGURA 4). O restante da macrofauna foi representado pelos mesmos táxons encontrados durante o inverno.

No inverno, a nested ANOVA indicou uma variabilidade significativa na densidade de *Apoprionospio* sp. entre setores ( $10^3$  m) e pontos ( $10^1$  m) ( $p < 0,001$ ). A maior escala foi a que mais contribuiu para o padrão observado com 65% da variabilidade total. A escala intermediária contribuiu com 12,7%. A densidade de *M. posterelongata* variou significativamente entre pontos ( $p < 0,05$ ), que explicaram 11% da variabilidade, a espécie de Gammaridae, entre setores ( $p = 0,05$ ) e locais ( $p < 0,05$ ), que explicaram respectivamente 19,9% e 10,2%, *S. grubei* entre setores ( $p < 0,01$ ) que explicaram 36,8%. As densidades de *Mediomastus* sp. e *Aricidea* sp. não variaram significativamente em nenhuma das escalas amostradas (TABELA 1).

A menor escala de investigação foi a que mais contribuiu para a variabilidade de *M. posterelongata*, *Mediomastus* sp., *S. grubei*, *Aricidea* sp. e Gammaridae, indicando um padrão de distribuição fortemente agregado em pequena escala. Neste contexto, *Mediomastus* sp. destacou-se com 99,99% da variabilidade concentrada nesta escala ( $\leq 10^0$  m). (TABELA 1).

As maiores densidades da fauna no período de inverno ocorreram no setor 1. As densidades de *Apoprionospio* sp. foram marcadamente maiores neste setor, com 2899 indivíduos, que representaram 65% da densidade total. *S. grubei*, seguiu o mesmo padrão com 231 indivíduos e 73% da densidade no mesmo setor (FIGURA 3).

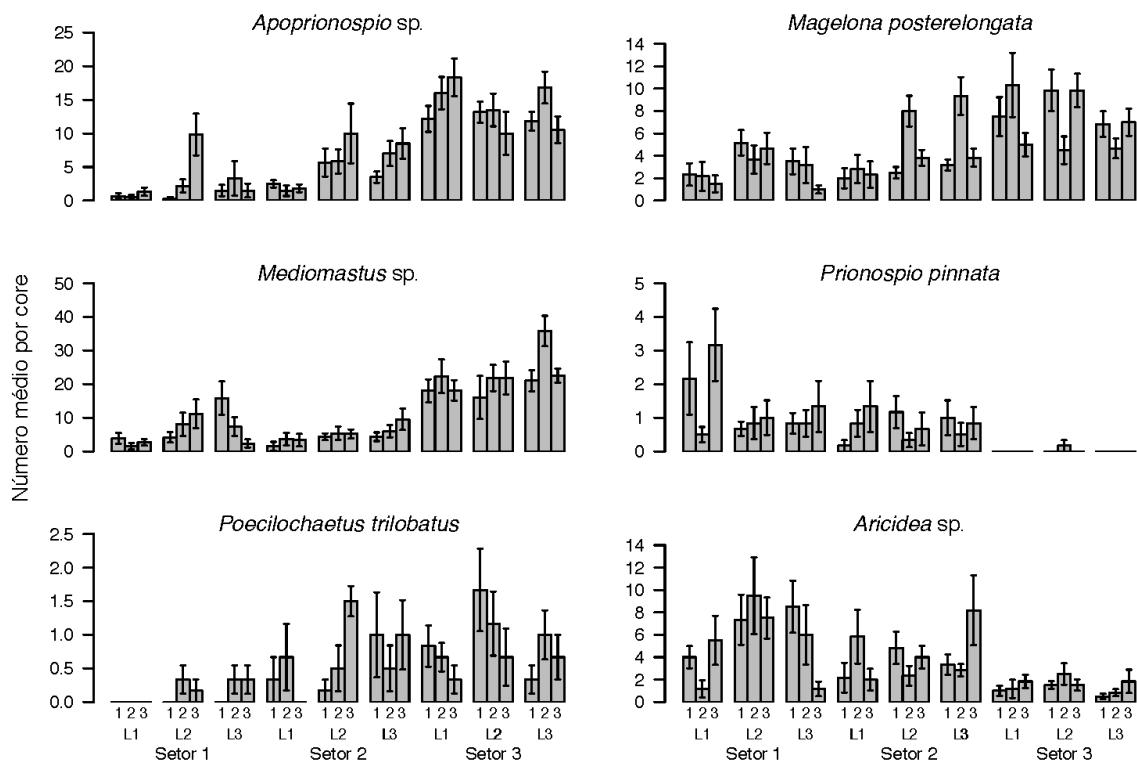


FIGURA 12: Distribuição e densidade média (+ erro padrão) das espécies numericamente dominantes no verão.

No verão, a densidade de *Mediomastus* sp. variou significativamente entre setores ( $p < 0,05$ ) e locais ( $p = 0,05$ ), que representaram 53,93% e 4,87% da variabilidade total. *Apoprionospio* sp. entre setores ( $p < 0,05$ ) e pontos ( $p < 0,05$ ) que contribuíram com 53,25% e 5,25%. *M. posterelongata* entre setores ( $p < 0,05$ ) e pontos ( $p < 0,05$ ) que explicaram 24,20% e 7,95% da variabilidade, *P. pinnata* e *P. trilobatus* unicamente entre setores ( $p < 0,05$ ) que explicaram respectivamente 20,49% e 16,16% da variabilidade. A densidade de *Aricidea* sp. não variou significativamente em nenhuma das escalas. A menor escala espacial concentrou 83,46% da variabilidade total, sugerindo uma agregação em pequena escala (TABELA 2).

A distribuição da fauna apresentou um padrão claramente inverso no inverno e no verão. *Mediomastus* sp., *Apoprionospio* sp. e *M. posterelongata* tiveram uma distribuição marcadamente distinta da encontrada no inverno, com 66%, 63% e 50% da densidade respectivamente no setor 3.

A nested ANOVA foi aplicada mesmo na ausência da normalidade dos dados nos dois períodos de amostragens e mesmo na ausência de

homocedasticidade após transformações na densidade de *P. pinnata*. Este tipo de teste é bastante robusto quando as amostras são de tamanhos iguais (balanceadas), com número relativamente grande de observações (UNDERWOOD, 1997).

TABELA 7: Nested ANOVA para densidade média das espécies numericamente dominantes em quatro níveis de hierarquia espacial e componentes de variância associados para o inverno. gl: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrados médios; CV: componentes de variância. (\* dados transformados para  $\sqrt{}$ , \*\* transformados para  $\sqrt[4]{}$ .)

	gl	SQ	QM	F	p	CV
<b><i>Apoprionospio sp*</i></b>						
Setor	2	460,32	23,016	39,312	< 0,001	65,02
Local(Setor)	6	35,128	5,855	0,908	0,511	0
Ponto(Local(Setor))	18	116,02	6,446	4,551	< 0,001	12,76
Resíduo	135	191,21	1,416			22,22
<b><i>M. posterelongata</i></b>						
Setor	2	77,086	38,543	1,767	0,249	3,11
Local(Setor)	6	130,85	21,809	1,467	0,245	3,87
Ponto(Local(Setor))	18	267,56	14,864	1,825	0,028	11,24
Resíduo	135	1099,7	8,146			81,77
<b><i>Mediomastus sp.</i></b>						
Setor	2	15,815	7,907	1,137	0,381	0,01
Local(Setor)	6	41,741	6,957	1,168	0,366	0,00
Ponto(Local(Setor))	18	107,22	5,957	0,744	0,760	0,00
Resíduo	135	1081	8,007			99,99
<b>Gammaridae*</b>						
Setor	2	25,18	12,590	5,072	0,051	19,48
Local(Setor)	6	14,892	2,482	3,477	0,018	10,22
Ponto(Local(Setor))	18	12,85	0,714	1,069	0,390	0,80
Resíduo	135	90,184	0,668			69,51
<b><i>S.grubei**</i></b>						
Setor	2	19,876	9,938	12,223	0,008	36,79
Local(Setor)	6	4,8784	0,813	2,192	0,092	5,35
Ponto(Local(Setor))	18	6,6753	0,371	1,515	0,094	4,58
Resíduo	135	33,038	0,245			53,28
<b><i>Aricidea sp.*</i></b>						
Setor	2	10,323	5,161	2,798	0,139	9,87
Local(Setor)	6	11,07	1,845	2,495	0,062	9,87
Ponto(Local(Setor))	18	13,311	0,739	1,639	0,059	7,72
Resíduo	135	60,921	0,451			72,54

TABELA 8: Nested ANOVA para densidade média das espécies numericamente dominantes em quatro níveis de hierarquia espacial e componentes de variância associados para o verão. gl: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrados médios; CV: componentes de variância. (\* dados transformados para  $\sqrt{\cdot}$ , \*\* transformados para  $\sqrt[4]{\cdot}$ .)

	gl	SQ	QM	F	p	CV
<b><i>Mediomastus sp.*</i></b>						
Setor	2	251,618	125,809	21,693	0,002	53,93
Local(Setor)	6	34,796	5,799	2,654	0,050	4,87
Ponto(Local(Setor))	18	39,336	2,185	1,365	0,159	2,37
Resíduo	135	216,062	1,600			38,84
<b><i>Apoprionospio sp</i></b>						
Setor	2	3698,679	1849,340	22,826	0,002	53,25
Local(Setor)	6	486,111	81,019	1,894	0,137	3,46
Ponto(Local(Setor))	18	769,889	42,772	1,828	0,028	5,25
Resíduo	135	3158,167	23,394			38,04
<b><i>M. posterelongata*</i></b>						
Setor	2	37,507	18,753	6,182	0,035	24,20
Local(Setor)	6	18,201	3,033	2,346	0,075	8,04
Ponto(Local(Setor))	18	23,278	1,293	1,798	0,031	7,95
Resíduo	135	97,111	0,719			59,81
<b><i>Aricidea sp.**</i></b>						
Setor	2	5,310	2,655	3,183	0,114	7,36
Local(Setor)	6	5,004	0,834	1,926	0,131	4,86
Ponto(Local(Setor))	18	7,794	0,433	1,094	0,365	1,35
Resíduo	135	53,448	0,396			86,43
<b><i>P. pinnata</i></b>						
Setor	2	42,086	21,043	9,712	0,013	20,49
Local(Setor)	6	13,000	2,167	1,290	0,311	1,59
Ponto(Local(Setor))	18	30,222	1,679	1,333	0,177	4,10
Resíduo	135	170,000	1,259			73,82
<b><i>P. trilobatus</i></b>						
Setor	2	5,729	2,865	8,808	0,016	16,16
Local(Setor)	6	1,951	0,325	0,997	0,457	0,00
Ponto(Local(Setor))	18	5,873	0,326	1,434	0,125	5,64
Resíduo	135	30,720	0,228			78,20

A análise de variância permutacional evidenciou diferenças significativas das associações macrobênticas entre setores, tanto no verão como no inverno. A comparação múltipla “*a posteriori*” fornecida pela análise mostrou que no inverno o setor 1 é distinto dos demais ( $p < 0,005$ ), ao contrário do que acontece no verão. Neste último, o setor 3 é significativamente diferente dos setores 1 e 2 ( $p < 0,05$ ) (TABELAS 3 e 4). Esses resultados confirmam os padrões de variação evidenciados pelas análises univariadas. As análises de proximidade mostraram claramente estas diferenças (FIGURA 5). A PERMANOVA mostrou ainda que houve variação significativa entre pontos no inverno e entre locais e pontos no verão (TABELAS 3 e 4).

TABELA 9: PERMANOVA calculada a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis para estrutura das associações macrofaunais entre as escalas de variabilidade: setores ( $10^3$  m), locais ( $10^2$  m), pontos ( $10^1$  m) e réplicas ( $10^0$  m) para o inverno. P(MC) Permutação de Monte Carlo.

Escalas	gl	SQ	QM	F	P(MC)
Setor	2	71006,276	35503,1378	12,5485	0,0001
Local (S)	6	16975,682	2829,2803	1,3252	0,1383
Ponto (S(L))	18	38429,005	2134,9447	2,0149	0,0001
Resíduo	135	143041,109	1059,5638		
Total	161	269452,071			

TABELA 10: PERMANOVA calculada a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis para estrutura das associações macrofaunais entre as escalas de variabilidade: setores ( $10^3$  m), locais ( $10^2$  m), pontos ( $10^1$  m) e réplicas ( $10^0$  m) para o verão. P(MC) Permutação de Monte Carlo.

Escalas	gl	SQ	QM	F	P(MC)
Setor	2	77677,015	38838.5075	10.2294	0.0001
Local (S)	6	22780,597	3796.7662	1.9472	0.0070
Ponto (S(L))	18	35097,809	1949.8783	1.2735	0.0500
Resíduo	135	206706,366	1531.1583		
Total	161	342261,788			

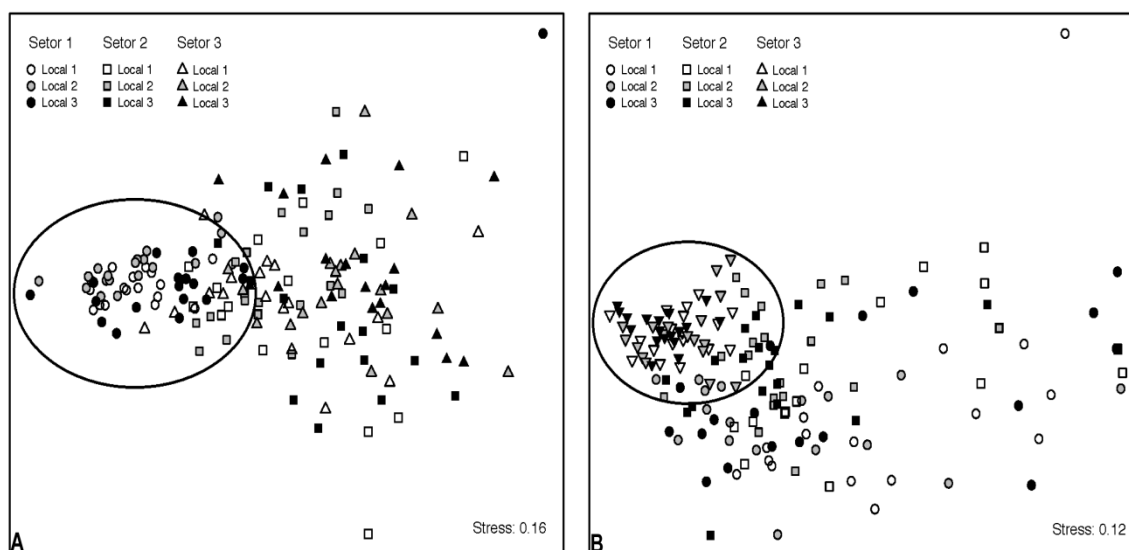


FIGURA 13: Análise de proximidade aplicada à matriz de abundância da macrofauna no inverno (A) e verão (B). ○: Correlação múltipla pareada ( $p < 0,05$ ).

A rotina BIOENV mostrou que a combinação de variáveis que melhor explicou os padrões biológicos observados no inverno foram os teores de fósforo total,  $\text{CaCO}_3$  e grau de seleção do sedimento (TABELA 5). Por outro lado, no verão, a variável tamanho médio de grão foi a única significativa a explicar a distribuição do macrobentos. Entretanto, pode-se observar que os valores encontrados para a combinação tamanho médio de grão e grau de seleção foram muito semelhantes àqueles apontados somente para o tamanho médio de grão (TABELA 6).

TABELA 11: Correlação entre a distribuição das espécies numericamente dominantes (Rho) e as variáveis abióticas no inverno. \* Maior correlação.

Variáveis abióticas	Rho
Teor P	0.536
Teor P; seleção	0.578
Teor P; teor $\text{CaCO}_3$ ; seleção*	0.589
Teor P; teor MO; teor $\text{CaCO}_3$ ; seleção	0.563
Teor P; clorofila; teor MO; teor $\text{CaCO}_3$ ; seleção	0.542
Teor P; teor N; clorofila; teor MO; teor $\text{CaCO}_3$ ; seleção	0.533
Teor P; teor N; clorofila; teor MO; teor $\text{CaCO}_3$ ; media; seleção	0.518
Teor COT; teor P; teor N; clorofila; teor MO; teor $\text{CaCO}_3$ ; media; seleção	0.460

TABELA 12: Correlação entre a distribuição das espécies numericamente dominantes (Rho) e as variáveis abióticas no verão. \* Maior correlação.

Variáveis abióticas	Rho
Média*	0.631
Média; seleção	0.630
Média; teor CaCO <sub>3</sub> ; seleção	0.624
Teor MO; média; teor CaCO <sub>3</sub> ; seleção	0.589
Teor N; teor MO; média; teor CaCO <sub>3</sub> ; seleção	0.560
Teor N; clorofila; teor MO; média; teor CaCO <sub>3</sub> ; seleção	0.529
Teor COT; teor N; clorofila; teor MO; média; teor CaCO <sub>3</sub> ; seleção	0.503
Teor COT; teor P; teor N; clorofila; teor MO; média; teor CaCO <sub>3</sub> ; seleção	0.481

## 4 DISCUSSÃO

A marcada variação observada nos padrões de distribuição das associações macrobênticas e dos sedimentos em distintas escalas espaciais e em períodos distintos do ano já era esperada em fundos de plataforma rasa, próximo à desembocadura de um grande sistema estuarino. A dinâmica destes ambientes é governada por complexas interações entre processos atmosféricos, ondas, marés e correntes, que dificultam consideravelmente o entendimento dos das respostas biológicas.

As características texturais dos fundos locais foram similares às descritas por Veiga *et al.* (2004), que relataram a ocorrência de uma faixa de areia muito fina e pobremente selecionada, com teores de finos (silte + argila) de 10 a 40 %, entre os 5 e 10 m de profundidade. Com o aumento da energia de ondas, estas frações finas podem ser ressuspensas, transportadas pelas correntes e depositadas em condição de calmaria (VEIGA *et al.* 2004).

A análise espacial hierárquica indicou que a densidade média das associações locais pode variar significativamente em escalas espaciais de metros a quilômetros. No entanto, o cálculo dos componentes de variância evidenciou que a escala de metros, com exceção de *Apoprionospio* sp. no inverno e *Mediomastus* sp. no verão, foi consistentemente a que mais contribuiu para os padrões observados.

Morrisey *et al.* (1992a), utilizando a mesma abordagem hierárquica em um ambiente sublitoral de substrato não consolidado, observaram padrões semelhantes, com variações significativas nas escalas de metros a quilômetros, distintas para os vários grupos taxonômicos. Kendall & Widdicombe (1999) observaram baixa variabilidade nas associações macrobênticas em escalas de 50 cm a 500 m, mas elevada heterogeneidade espacial em distâncias maiores que 500 m em sedimentos lodosos. Padrões de variabilidade de metros a quilômetros também foram reportados por Norén & Lindegarth (2005) em sedimentos costeiros da Suécia, de maneira muito consistente com o presente estudo, na medida em que a maior parte da variabilidade foi explicada pela menor escala de investigação. A elevada variabilidade na densidade de organismos em pequena escala espacial, de centímetros a metros, parece ser recorrente na

ecologia bêntica (YSEBAERT & HERMAN, 2002; CHAPMAN & TOLHURST, 2007; CHAPMAN *et al.* 2010).

Os problemas gerados pela sobreposição de escalas de variação em desenhos amostrais pseudoreplicados tornam-se particularmente críticos quando as densidades médias das réplicas amostrais são extrapoladas para grandes áreas com propósitos comparativos (MORRISEY *et al.*, 1992a). A sobreposição de escalas pode também atuar de maneira inversa, diminuindo a probabilidade de detecção de variabilidade significativa em grande escala.

Não foi objetivo principal deste estudo identificar os fatores e processos condicionadores da dispersão dos organismos macrobênticos, mas sim estimar e testar a significância da variabilidade das associações macrobênticas em múltiplas escalas espaciais. A descrição quantitativa de padrões precede a interpretação dos processos ecológicos (UNDERWOOD & CHAPMAN, 1996). Contudo, alguns processos podem ser inferidos de forma genérica, a partir da comparação com padrões já descritos, visando uma demarcação mais criteriosa de modelos e hipóteses de trabalho.

As maiores densidades de organismos, tanto no inverno como no verão, ocorreram em areias finas e muito finas bem selecionadas. Sedimentos arenosos permitem maior penetração de oxigênio devido à sua maior permeabilidade. Desta forma, a macrofauna pode ser favorecida pela ampliação da camada de sedimento a ser explorada (PAIVA, 1993). Entretanto, as correlações entre fauna e sedimento podem não ser derivadas das características do sedimento em si, mas sim dos ambientes de sedimentação como um todo, na medida em que grande parte dos sedimentos reflete o fluxo na camada limite e o regime de transporte sedimentar (SNELGROVE & BUTMAN, 1994).

As maiores densidades dos organismos macrofaunais no inverno no setor 1, mais ao norte, pode estar relacionada com sistemas frontais provenientes de sul. Estes eventos são mais frequentes durante o inverno e reguladores da dinâmica destes ambientes deposicionais (QUADROS, 2002). Estudos a partir de imagens de satélite mostram que as correntes paralelas à costa, ou deriva litorânea, são preferencialmente orientadas para norte. Em episódios de elevada energia de ondas, geralmente relacionados com a entrada de sistemas frontais vindos de sul estas correntes podem adquirir força suficiente para movimentar os sedimentos

de fundo (NOERNBERG, 2001). O autor analisou ainda imagens de satélite em conjunto com dados obtidos *in situ* durante um evento pósfrontal e concluiu que o Complexo Estuarino de Paranaguá atua principalmente como um fornecedor de propriedades (nutrientes, poluentes, sedimentos) para a região costeira adjacente, exercendo influência tanto na produtividade biológica quanto na redistribuição de sedimentos, o que confirma sua importância na distribuição da biota costeira. Por outro lado, as maiores densidades da macrofauna no setor 3 pode ter sido efeito da maior pluviosidade durante o verão. O maior aporte de água doce pode ampliar a área de atuação da pluma estuarina e deste modo influenciar a produtividade biológica em maior escala. O acúmulo de material particulado no compartimento bêntico, oriundo da coluna d'água como consequência do transporte vertical característico de frentes estuarinas, pode favorecer espécies com comportamento oportunista como os capitelídeos e espionídeos. As plumas estuarinas são a maior fonte de interação entre o estuário e a plataforma continental adjacente. Estas são formadas quando as águas mais leves deixam a área confinada dos estuários, dispersando-se sobre as águas costeiras e da plataforma (mais densas) (NOERNBERG, 2001). As bordas da pluma, chamadas de frentes, são regiões de intensos gradientes horizontais, onde se formam intensas zonas de mistura. Uma característica da maioria dessas frentes é uma acentuada convergência no fluxo horizontal de superfície. Associados a esta convergência, ocorrem movimentos verticais, fazendo da frente uma área de pronunciada transferência vertical de *momentum* e outras propriedades (SIMPSON & JAMES, 1986). As frentes também são caracterizadas por elevada produtividade biológica e capacidade de concentrar poluentes. Estes processos são ocasionados geralmente pelos movimentos da maré e pela influência do aporte de água continental.

Não se pode descartar, no entanto, a possibilidade de que o padrão encontrado possa ter sido causado pela passagem de redes de arrasto em uma área com atividade pesqueira elevada. Prantoni (2007), em um estudo experimental ao largo da plataforma interna paranaense, evidenciou um aumento significativo nas densidades de poliquetas espionídeos e capitelídeos, aproximadamente uma hora após arrastos de fundo. Durante os momentos de

amostragem, foram observadas várias embarcações pesqueiras de arrasto próximas a área de estudo (obs. pess.).

A dispersão de organismos bênticos pode ocorrer por transporte pela coluna d'água (PALMER *et al.*, 1996; (NEGRELLO FILHO, 2005), que permite e favorece a redistribuição destes organismos. Deste modo, a distribuição espaço-temporal das associações pode ser influenciada em distintas escalas (GÜNTHER, 1992; PALMER *et al.*, 1996; TURNER *et al.*, 1997). Animais como copépodes harpacticóides, anfípodas e anfioxos podem deixar o substrato ativamente, mas a maioria dos organismos é transportada passivamente com o sedimento (NEGRELLO FILHO, 2005).

Uma parcela significativa da infauna bêntica pode sofrer transporte em ambientes com alta dinâmica sedimentar após perturbações físicas (Commito *et al.*, 1995). Pires-Vanin (1993) sugeriu que a estrutura das associações macrofaunais ao largo da costa de Ubatuba, no litoral paulista, é condicionada pelos padrões hidrodinâmicos da região. Estes padrões seriam regidos por fenômenos sazonais relacionados com a incidência de frentes frias.

Métodos multivariados se mostraram mais eficazes para a detecção de pequenas mudanças na estrutura das associações do que modelos univariados, como índices de diversidade e riqueza específica (ANDERSON, 2008). Os padrões de variação das associações macrobênticas, evidenciados pelas análises permutacionais hierárquicas e pela comparação múltipla a "*posteriori*" fornecida pela PERMANOVA, mostram claramente a dominância numérica de poliquetas em todas as escalas espaciais investigadas.

O padrão de dominância numérica da macrofauna da plataforma interna paranaense por poliquetas de pequeno porte é consistente com as observações de Negrello Filho *et al.* (2005) e Prantoni (2007). Anelídeos poliquetas são geralmente os organismos dominantes em fundos rasos de plataforma (SHIN & ELLINGSEN, 2004; NORÉN & LINDEGARTH, 2005; JAYRAJ *et al.*, 2008). Segundo Paiva (1993) e Belan (2003), os poliquetas podem ser empregados com segurança para a representação da estrutura das associações macrobênticas em geral. Com exceção da espécie de Gammaridae, todas as outras espécies numericamente dominantes pertenceram a este grupo. Este padrão pode ser claramente identificado pelo agrupamento da macrofauna nos setores 1 e 3, nos

períodos de inverno e verão, mostrado pelas análises de proximidade. O elevado número de juvenis de *Apoprionospio* sp. e *S. grubei* no setor 1, no inverno, sugere um possível episódio de recrutamento recente.

Estimativas de densidade são fortemente dependentes do tamanho da área amostral, do número de unidades amostrais e das técnicas de amostragem utilizadas. Métodos de amostragens diretos como o mergulho autônomo utilizando corers de 10 x 10 cm estão entre os mais comuns em tais estudos (NORÉN & LINDEGARTH, 2005; & TOLHURST, 2007; CHAPMAN *et al.* 2010). O espaçamento entre réplicas amostrais geralmente ocorre em escalas de metros. Com a utilização de técnicas de amostragens sem controle visual, como dragas e pegadores de fundo, a distância entre as unidades amostrais é provavelmente desconhecida, e pode variar devido a fatores como profundidade local e intensidade das correntes (MORRISEY, 1992a). As vantagens da amostragem utilizando o mergulho autônomo em relação aos pegadores de fundo são: a) a regularidade de penetração no sedimento; b) o controle visual de toda a operação de coleta; c) uma boa retenção do material após a pegada; d) a precisão no volume de sedimento. A principal desvantagem desse método é a limitação da profundidade de amostragem, principalmente se forem realizados mergulhos consecutivos (PRANTONI & SILVA, 2007).

A determinação da relevância de uma ou mais variáveis abióticas é um importante auxílio na explicação dos padrões de distribuição das associações macrobênticas. A agregação dos organismos em pequena escala pode ser uma resposta da macrofauna a pequenas variações espaciais nas propriedades dos sedimentos. A rotina BioEnv evidenciou a importância do grau de seleção dos sedimentos e do teor de  $\text{CaCO}_3$  nos dois períodos de investigação (TABELAS 5 e 6). Os resultados da análise foram aparentemente mais consistentes no verão. Neste período, uma única variável, tamanho médio de grão, foi a que melhor explicou a distribuição da fauna. Entretanto, a combinação do tamanho médio de grão e do grau de seleção foi muito semelhante, o que sugere que ambos podem ter afetado a distribuição do macrobentos no verão. Chapman & Tolhurst (2007) não encontraram correlações satisfatórias entre a macrofauna e as propriedades geoquímicas dos sedimentos em manguezais da Austrália. Em sua análise, a

variação nas características texturais e geoquímicas dos sedimentos seguiu padrões extremamente complexos, nas escalas de metros a quilômetros.

A amostragem das variáveis texturais e geoquímicas dos sedimentos não seguiu a mesma espacialização hierárquica das variáveis biológicas. No entanto, da mesma forma que as associações macrobênticas, estas propriedades provavelmente variam em múltiplas escalas espaciais e também na escala de centímetros a metros (CHAPMAN & TOLHURST, 2007; CHAPMAN *et al.*, 2010) em ambientes rasos e dinâmicos de plataforma.

A relação entre organismos macrofaunais e os ambientes sedimentares tem sido amplamente discutida (GRAY, 1974; ANDERSON, 2008; CHAPMAN *et al.*, 2010). A presumida dependência entre a estrutura das associações macrobênticas e as características texturais dos sedimentos é um paradigma bem estabelecido na ecologia bêntica. Apesar de incontestável, esta relação pode ser determinada por outros fatores em fundos não consolidados (ANDERSON, 2008). Perturbações nos sedimentos decorrentes de tempestades, ação de ondas, passagem de redes de arrasto (PUSCEDDU *et al.*, 2005) e interações biológicas como predação (ERIKSSON *et al.*, 2005), bioturbação (PEARSON, 2001), processos de colonização (LUNDQUIST *et al.*, 2006), agregação de potenciais recursos alimentares (KELHAER & LEVINGTON, 2003), entre outros, podem regular a composição e estrutura destas associações. Estes processos descritos podem atuar simultaneamente em diferentes escalas ou não são escalares, o que pode torna ainda mais complexa a compreensão da estruturação das associações. Neste contexto, considerar as características texturais do sedimento como expressão única do ambiente físico é de fato uma abordagem muito simplificadora. A complexidade desta relação mostra que ambientes sedimentares similares não sustentam necessariamente as mesmas associações macrobênticas (ZAJAC *et al.*, 2000).

Os processos e eventos descritos acima, apesar de relevantes na variação em pequena escala das associações macrobênticas, não podem ser tratados como única fonte desta variabilidade (CARROLL, 2003). Na medida em que os organismos macrobênticos são geralmente sedentários, é nestas escalas, geralmente de centímetros a metros, que se movem e se alimentam (CHAPMAN *et al.*, 2010). Estes comportamentos certamente promovem a grande variabilidade

entre réplicas amostrais encontrada neste estudo.

As diferenças na densidade e nos padrões de distribuição da fauna não foram testadas estatisticamente entre os dois períodos do ano, pela impossibilidade prática de replicações ao longo do tempo, devido ao alto custo das campanhas de coleta e ao pouco tempo disponível para o processamento das amostras. Para uma estimativa adequada da variabilidade temporal das associações macrobênticas, as amostragens deveriam ser hierarquicamente replicadas em escalas de dias a anos, o que diminuiria a probabilidade de confusão entre as escalas temporais (MORRISEY *etal.*, 1992b). Entretanto, foi possível inferir que as associações macrobênticas na plataforma interna do Paraná não se comportam de maneira estável ao longo do tempo, mesmo na escala de meses.

O estudo enfatiza a necessidade de incorporação de desenhos amostrais hierarquicamente replicados nos estudos da distribuição das associações macrobênticas. O delineamento de experimentos mensurativos e manipulativos para o teste de hipóteses sobre os processos responsáveis pelos padrões de distribuição deve considerar a existência de uma enorme fonte de variabilidade operante em escalas extremamente reduzidas, responsável pela criação de um complexo mosaico de agrupamentos dentro dos padrões usualmente descritos.

## 5 CONCLUSÕES

De maneira geral, a macrofauna de fundos rasos da plataforma interna ao largo da costa do Paraná mostrou-se bastante diversa e numericamente dominada por poliquetas de pequeno porte. Uma análise espacialmente hierarquizada revelou que estas associações podem variar significativamente em todas as escalas espaciais investigadas, de metros a quilômetros, dependendo dos táxons considerados. Mesmo na ausência de replicação temporal adequada, foi possível observar que o padrão de distribuição espacial das espécies modificasse ao longo do tempo, como no caso do capitelídeo *Mediomastus* sp. De maneira geral, a escala de metros foi a que mais contribuiu para a variabilidade dos padrões observados. Isto traz implicações diretas para o monitoramento das associações macrobênticas, uma vez que os delineamentos amostrais convencionais comparam áreas distanciadas em escalas relativamente amplas e certamente geram estimativas espacialmente confundidas. Processos oceanográficos e/ou meteorológicos regionais, como a extensão da pluma estuarina do CEP sobre a plataforma interna, podem explicar a variabilidade da fauna local em escalas mais amplas.

O presente estudo mostrou ainda que os poliquetas podem ser empregados com segurança, devido à sua dominância numérica, como um *proxy* biológico para adequada representação da estrutura das associações macrobênticas da plataforma interna rasa do Paraná.

Modelos amostrais espacialmente hierarquizados no tempo também devem ser aplicados para avaliar a variabilidade das associações e das propriedades geoquímicas e granulométricas dos sedimentos, tendo em vista a complexa interação da matriz sedimentar com a distribuição dos animais macrobênticos.

## REFERÊNCIAS

- ABERG, P.; PAVIA, H. (1997). Temporal and multiple scale spatial variation in juvenile and adult abundance of the brown alga *Ascophyllum nodosum*. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 158, p. 111–119.
- ANDERSON, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, p. 32-46.
- ANDERSON, M. J.. (2005). PERMANOVA a Fortran Computer Program for Permutational Multivariate Analysis of Variance. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand, 24 p.
- ANDERSON, M. J.. (2008). Animal-sediment relationship re-visited: Characterising species distributions along an environmental gradient using canonical analysis and quantile regressions splines. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 366, p. 16 – 27.
- ANGULO, R. J. (1992). **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade do Estado de São Paulo.
- BELAN, T. A. (2003). Marine environmental quality assessment using polychaete taxocene characteristics in Vancouver Harbor. **Mar Env Res**, v. 57 p. 89–101.
- BERGSTRÖM, U.; ENGLUND, G.; BONSDORFF, E. (2002). Small-scale spatial structure of Baltic Sea zoobenthos: inferring processes from patterns. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 281, p. 123-136.
- BORZONE, C. A. (1988). **Estudo da macrofauna bentônica infralitoral da região costeira adjacente da barra de Rio Grande, RS, Brasil**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Fundação Universidade do Rio Grande.
- BORZONE, C. A.; GUTSEIT, K. C.; SOARES, C. R. (1999a). Sedimentos e macrofauna bentônica da zona de águas rasas da Praia de Matinhos, Paraná, Brasil. **Atlântica**, v. 21, p. 43-58.
- BORZONE, C. A.; PEZZUTO, P. R.; MARONE E. (1999b). Oceanographic characteristics of a multispecific fishing ground of the Central South Brazil Bight. **Mar Ecol**, v. 20(2), p. 131-146.

BRANDINI, F. P.; SILVA, A. S.; SILVA, E. T.; KOLM, H. (2007). Sources of nutrients and seasonal dynamics of chlorophyll in the inner shelf off Paraná state – South Brazil bight. **J Coastal Research**, v. 23 (5), p. 1131-1140.

CAMARGO, M. G. (2006). SysGran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 345-352.

CAPÍTOLI, R. R.; BEMVENUTI, C. (2004). Distribuição batimétrica e variações de diversidade dos macroinvertebrados bentônicos da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil. **Atlântica**, v 26 (1), p. 27-43.

CAPÍTOLI, R. R.; BEMVENUTI, C. (2006). Associações de macroinvertebrados bentônicos de fundos inconsolidados da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil. **Atlântica**, v 28 (1), p. 47-59.

CARMOUZE, J. P. (1994). **O Metabolismo dos Ecossistemas Aquáticos: Fundamentos Teóricos, Métodos de Estudo e Análises Químicas**. Editora Edgard Blücher, FAPESP, 253 p.

CARROLL, R.J. (2003). Variances are not always nuisance parameters. **Biometrics**, v. 59, p. 211 – 220.

CARTER, G. S.; NALEPA, T. F.; REDISKE, R. R. (2006). Status and Trends of Benthic Populations in a Coastal Drowned River Mouth Lake of Lake Michigan. **J. Gre. Lakes Res**, vol. 32, p. 578–595.

CHAPMAN, M. G.; TOLHURST, T. J. (2007). Relationships between benthic macrofauna and biogeochemical properties of sediments at different spatial scales and among different habitats in mangrove forests. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 343, p. 96-109.

CHAPMAN, M. G.; TOLHURST, T. J.; MURPHY, R. J.; UNDERWOOD, A. J. (2010). Complex and inconsistent patterns of variation in benthos, micro-algae and sediment over multiple spatial scales. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 398, p. 33–47.

COMMITO, J.A.; THRUSH, S.F.; PRIDMORE, R.D.; HEWITT, J.E.; CUMMINGS, V.J., (1995). Dispersal dynamics in a wind-driven benthic system. **Limnol Oceanogr**, v. 40, p. 1513-1518.

COMMITO, J. A.; DOW, W. E.; GRUPE, B. M. (2006). Hierarchical spatial structure in soft-bottom mussel beds. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 330, p. 27-37.

ELLINGSEN, K. E. (2002). Soft-sediment benthic biodiversity on the continental shelf in relation to environmental variability. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 232, p. 15–27.

ERIKSSON, S. P.; WENNHAGE, H.; NORKKO, J.; NORKKO, A. (2005). Episodic disturbance events modify predator-prey interactions in soft sediments. **Estuar Coast Shelf Sci**, v. 64, p. 289 – 294.

FLOETER, S. R.; SOARES-GOMES, A. (1999). Biogeographic and species richness patterns of Gastropoda on the southwestern Atlantic. **Rev Brasil Biol**, v. 59(4), p. 567-575.

GONÇALVES, E. M.; LANA, P. C.. (1991). Padrões de distribuição de Bivalvia e Gastropoda na plataforma continental da costa sudeste do Brasil (24°S - 27°S). **Nerítica**, Curitiba, v. 6 (1-2), p 73-92.

GRASSHOFF K.; EHRHARDT M.; KREMLING K. (1983). **Methods of Seawater Analysis, 2nd**, Verlag Chemie, Weinheim, 419 p.

GRAY, J. S. (1974). Animal-sediment relationships. **Oceanogr Mar Biol Annu Rev**, v. 12, p. 223–261

GÜNTHER, C. P., (1992). Dispersal of intertidal invertebrates: a strategy to react to disturbances of different scales? **Neth J Sea Res**, v. 30,p. 45-56.

JAYARAJ, K. A.; JOSIA, J.; DINESH KUMAR, P. K. (2008). Infaunal macrobenthic community of soft bottom sediment in a tropical shelf. **J Coast Res**, v. 24(3), p. 708–718.

JENKINS, S. R.; ÅBERG, P.; CERVIN, G.; COLEMAN, R. A.; DELANY, J.; HAWKINS, S. J.; HYDER, K.; MYERS, A. A.; PAULA, J.; POWER, A.-M.; RANGE, P.; HARTNOLL, R. G. (2001). Population dynamics of the intertidal barnacle *Semibalanus balanoides* at three European locations: spatial scales of variability. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 217, p. 207-217.

JUMARS, P. A. (1993). **Concepts in biological oceanography: an interdisciplinary primer**. Oxford University Press, New York, 358 p.

KELAHER, B. P.; LEVINTON, J. S., (2003). Variation in detrital enrichment causes spatio-temporal variation in soft-sediment assemblages. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 261, p. 85–97.

KENDALL, M. A.; WIDDICOMBE, S. (1999). Small scale patterns in the structure of macrofaunal assemblages os shallow soft-sediments. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 237, p. 127 – 140.

KLEIN, J. A.; BORZONE, C. A.; PEZZUTO, P. R. (2001). Macro e megafauna associada aos bancos de vieira *Euvola ziczac* (Mollusca Bivalvia) no litoral sul do Brasil. **Atlântica**, v. 23, p. 17-26.

LANA, P. C. (1981). **Padrões de distribuição e diversidade específica de anelídeos poliquetos na região de Ubatuba, Estado de São Paulo**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico da Universidade do Estado de São Paulo.

LANA, P. C. (1984). **Anelídeos poliquetas errantes do litoral do Estado do Paraná**. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Oceanográfico da Universidade do Estado de São Paulo.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. (2001). The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (eds.). **Coastal marine ecosystems of Latin America**, Berlin, Springer, 395 p.

LEVIN, S. A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. **Ecol**, v. 73, p. 1943-1967.

LI, J.; VINCX, M.; HERMAN, P. M. J.; HEIP, C. (1997). Monitoring meiobenthos using cm-, m- and km-scales in the southern bight of the North Sea. **Mar Environ Res**, v. 43, p. 265-278.

LINDEGARTH, M.; ANDRÉ, C.; JONSSON, P. R. (1995). Analysis of the spatial variability in abundance and age structure of two infaunal bivalves, *Cerastoderma edule* and *C. lamarcki*, using hierarchical sampling programs. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 116, p. 85-97.

LORENZEN, C. J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations. **Limnol Oceanogr**, v. 12, p. 343-346p.

LORENZI, L. (2004). **Estrutura das associações infaunais sublitorais de substrato inconsolidado adjacente a recifes artificiais e naturais (Paraná – Brasil)**. Curitiba 151 f. Tese (Doutorado em Zoologia) – Universidade Federal do Paraná.

LUNDQUIST, C. J.; THRUSH, S. F.; HEWITT, J. E.; HALLIDAY, J.; MACDONALD, I.; CUMMINGS, V. J.; (2006). Spatial variability in recolonisation potential: influence of organism behaviour and hydrodynamics on the distribution of macrofaunal colonists. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 324, p. 67–81.

MARTINS, G. J.; MARONE, E.; ÂNGULO, R. J.; NOERNBERG, M. A.; QUADROS, C. J. L. (2004). Dinâmica da zona de rasa de shoaling e o transporte de sedimentos na desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá. **Rev Bras Geo**, v. 54, p. 51-64.

MATSUURA, Y. (1986). Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta (RS). **Ciência e Cult**, v. 38(8) p. 1439-1450.

MORRISEY, D. J.; HOWITT, L.; UNDERWOOD, A. J.; STARK, J. S. (1992a). Spatial variation in soft-sediment benthos. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 81, p. 197-204.

MORRISEY, D. J.; UNDERWOOD, A. J.; HOWITT, L.; STARK, J. S. (1992b). Temporal variation in soft-sediment benthos. **J Exp Mar Biol Ecol**, v.164, p. 233 – 245.

NALEPA, T. F. (1987). Long-term changes in the macrobenthos of southern Lake Michigan. **Can J Fish Aquat Sci**, vol. 44, pp. 515–524.

NEGRELLO FILHO (2005). **A influência do vento sul sobre a estabilidade de associações bênticas da baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)**. Curitiba. 101 f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Universidade Federal do Paraná.

NEGRELLO FILHO, O. A.; BRAUKO, K.; SANDRINI NETO, L.; PRANTONI, A. L.; HAPONIUK, R. R.; ROCHA, D. (2005). Diagnóstico da diversidade e distribuição espacial da infauna bêntica da plataforma rasa do Estado do Paraná como pré-requisito à implementação da zona de exclusão da pesca por arrasto e recifes de recrutamento larval. 5 f. **Relatório Técnico**.

NOERNBERG, M. A. (2001). **Processos morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: um estudo a partir de dados in**

**situ e LANDSAT-TM** Curitiba. 127 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná.

NONATO, E. F. (1981). **Contribuição ao conhecimento dos anelídeos poliquetas bentônicos da Plataforma Continental Brasileira, entre Cabo Frio e o Arroio Chuí.** 246 f. Tese (Livre-Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

NORÉN, K.; LINDEGARTH, M. (2005). Spatial, temporal and interactive variability of infauna in Swedish coastal sediments. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 317, p. 53 – 68.

OLABARRIA, C.; CHAPMAN, M. G. (2001). Comparison of patterns of spatial variation of microgastropods between two contrasting intertidal habitats. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 220, p. 201-211.

PAIVA, P. C. (1993). Anelídeos poliquetas da plataforma continental norte do Estado de São Paulo: I – Padrões de densidade e diversidade específica. **Bolm Inst Oceanogr**, São Paulo, v. 41 (1/2), p 69-80.

PAIVA, P. C. (1997). **Variação espacial e temporal da macrofauna bentônica da Enseada de Picinguaba, Ubatuba, SP – Relevância no planejamento amostral em estudos oceanográficos e de monitoramento ambiental de fundos marinhos inconsolidados.** 102 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo.

PAIVA, P. C. (2001). Spatial and temporal variation of a near shore benthic community in southern Brazil: implications for the design of monitoring programs. **Estuar Coast Shelf Sci**, v. 52, p. 423-433.

PALMER, M.A.; ALLAN, D.; BUTMAN, C.A., (1996). Dispersal as a regional process affecting the local dynamics of marine and stream benthic invertebrates. **TREE**, v. 11,p. 322-326.

PEARSON, T.H., (2001). Functional group ecology in soft-sediment marine benthos: the role of bioturbation. **Oceanogr Mar Biol Ann Ver**, v. 39, p. 233– 267.  
PELAES, M. (2005). **Efeito da pesca de camarão com arrasto de porta sobre a comunidade macrobentônica da plataforma rasa do litoral do Paraná.** 50 f. (Bacharelado em Oceanografia) – Universidade Federal do Paraná.

PETTI, M. A. V. (1997). **Macrofauna bentônica de fundos inconsolidados das enseadas de Pinguaba e Ubatumirim e plataforma interna adjacente, Ubatuba, São Paulo**. 79 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo.

PIRES-VANIN, AMS. (1993). A macrofauna benthica da plataforma continental ao largo de Ubatuba, São Paulo, Brasil. **Publção Esp Inst Oceanogr**, v. 10, p. 137-158.

PRANTONI, A. L.; SILVA, C. E. (2007). Vantagens e desvantagens da amostragem do bentos em substrato inconsolidado utilizando mergulho autônomo. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MERGULHO CIENTÍFICO, 1<sup>o</sup>, Natal. **Resumos**.

PRANTONI, A. L. (2007). **Efeitos imediatos da pesca de arrasto sobre a macrofauna benthica da plataforma interna do Estado do Paraná**. 38 f. (Bacharelado em Oceanografia) – Universidade Federal do Paraná.

PUSCEDDU, A.; GRÉMARE, A.; ESCOUBEYROU, K.; AMOUROUX, J. M.; FIORDELMONDO, C.; DONAVARO, R. (2005). Impact of natural (storm) and anthropogenic (trawling) sediment resuspension on particulate organic matter in coastal environments. **Cont Shelf Res**, v. 25, p. 2506 – 2520.

SANVICENTE-AÑORVE, L.; LEPRÊTRE, A.; DAVOULT, D. (2002). Diversity of benthic macrofauna in the eastern English Channel: comparison among and within communities. **Biodiv Conserv**, v. 11, p. 265-282.

SHIN, P. K. S.; ELLINGSEN, E. K. (2004). Spatial patterns of soft-sediment benthic diversity in subtropical Hong Kong waters. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 276, p. 25 – 35.

SIMPSON, J. H.; JAMES, I. D. (1986). Coastal and estuarine fronts. In: MOOERS, C. N. K. (Ed.). **Baroclinic processes on continental shelves**. Washington: American Geophysical Union. p. 63-93.

SNELGROVE, P.V.R.; BUTMAN, C. A., (1994). Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. **Oceanogr Mar Biol Ann Ver**, v. 32, p. 111-177.

SNELGROVE, P. V. R. (1998). The biodiversity of macrofaunal organisms in marine sediments. **Biodiv Conserv**, v. 7, p. 1123–1132

SOARES-GOMES, A.; PIRES-VANIN, A. M. S. (2003). Padrões de abundância, riqueza e diversidade de moluscos bivalves na plataforma continental ao largo de Ubatuba, São Paulo, Brasil: uma comparação metodológica. **Rev Bras Zool**, v. 20 (4), p. 717-725.

STEVENS, T.; CONNOLLY, R. M. (2004). Testing the utility of abiotic surrogates for marine habitats mapping at scales relevant to management. **Biol Conserv**, v. 119, p. 351–362.

STRICKLAND J. L. H.; PARSONS T. R. (1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. **Bull Fish Res Board Can**, 167 p.

TEMPERINI, M. T. (1981). **Sistemática e distribuição dos poliquetas errantes da plataforma continental brasileira entre as latitudes de 23<sup>o</sup> 05' e 30<sup>o</sup> 00'**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico da Universidade do Estado de São Paulo.

THRUSH, S. F. (1991). Spatial patterns in soft-bottom communities. **Trends Ecol and Evol**, v. 6, p. 75–79.

THRUSH, S. F.; DAYTON, P. K. (2002). Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: implications to marine biodiversity. **Annual Reviews Ecology Systems**, v. 33, p. 449 - 473.

TRUEBLOOD, D. D. (1991). Spatial and temporal effects of terebellid polychaete tubes on soft-bottom community structure in Phosphorescent Bay, Puerto Rico. **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 149, p. 139–159.

TURNER, S.J.; GRANT, J.; PRIDMORE, R.D.; HEWITT, J.E.; WILKINSON, M.R.; HUME, T.M.; MORRISEY, D. J., (1997). Bedload and watercolumn transport and colonization processes by postsettlement benthic macrofauna - does infaunal density matter? **J Exp Mar Biol Ecol**, v. 216, p. 51-75.

UNDERWOOD, A. J. (1997). **Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance**. Cambridge: Cambridge University Press, 552 p.

UNDERWOOD, A. J.; CHAPMAN, M. G. (1996). Scales of spatial patterns of distribution of intertidal invertebrates. **Oecologia**, v. 107, p. 212-224.

VEIGA, F. A.; ANGULO, R. J.; MARONE, E.; BRANDINI, F. P. (2004). Características sedimentológicas da plataforma continental interna rasa na porção central do litoral paranaense. **Rev Bras Geo**, v. 55, p. 67-75.

WARWICK, R. M.(1986). Detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. **Mar Biol**, vol. 92, p. 557-562.

YSEBAERT, T.; HERMAN, P. M. J. (2002). Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment. **Mar Ecol Prog Ser**, v. 244, p. 105-124.

ZAJAC, R. N.; LEWIS, R. S.; POPPE, L. J.; TWICHELL, D. C.; VOSARICK, L. J.; DIGIACOMO, M. L. (2000). Relationships among sea floor structure and benthic communities in Long Island Sound at regional and benthoscape scales. **J Coas Research**, v. 13 (3), 627-640.