

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde**  
**Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação**  
**nos Trópicos**

RAFAEL CARNAÚBA FERREIRA

**Comunidade de Nematoda em diferentes ambientes límnicos**

RAFAEL CARNAÚBA FERREIRA

**Comunidade de Nematoda em diferentes ambientes límnicos**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Taciana Kramer Pinto

Maceió

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

F383e Ferreira, Rafael Carnaúba.

Comunidade de Nematoda em diferentes ambientes límnicos/ Rafael Carnaúba  
Ferreira. – 2015.

84 f. : il.

Orientadora: Taciana Kramer Pinto.

Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos) –  
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde.  
Maceió, 2015.

Inclui bibliografias.

1. Nematoda. 2. Rios de água doce. 3. Meiofauna. 4. Baixo São Francisco, I.  
Título.

CDU: 595.13

Folha de aprovação

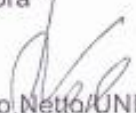
Rafael Carnaúba Ferreira


**COMUNIDADE DE NEMATODA EM DIFERENTES AMBIENTES  
LÍMNICOS**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Conservação da Biodiversidade Tropical.

Dissertação aprovada em 01 de julho de 2015.

  
Profa. Dra. Taciara Kramer de Oliveira Pinto /UFAL  
Orientadora

  
Prof. Dr. Sérgio Antônio Netto /UNISUL  
(membro titular)

  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Carneiro Vital/UFAL  
(membro titular)

  
Profa. Dra. Ana Cláudia Mendes Malhado/UFAL  
(membro titular)

MACEIÓ - AL  
Julho / 2015

Dedico aos meu familiares e amigos, por sempre acreditarem em mim e por todo apoio que sempre me deram, amo vocês.

## AGRADECIMENTOS

A minha família e amigos por estarem sempre ao meu lado me apoiando e dando força, sou eternamente grato a vocês.

A minha ilustre e querida orientadora Taciana Kramer, que desde o segundo período do curso de graduação me recebeu no Laboratório de Ecologia Bentônica, ou seja, me orientou durante toda a graduação e mestrado, mostrando o quanto fascinante e curioso é o mundo dos organismos da meiofauna. Enfim, uma pessoa em que me espelho pelo seu caráter, sua dignidade, profissionalismo, competência e mais uma infinidade de adjetivos que poderia citar aqui, sou muito grato a você, Obrigado!!!

Aos ilustres companheiros do Laboratório de Ecologia Bentônica, em especial a minha querida companheira de pesquisa Élen Marques, que teve papel importante nesse projeto, nas análises, na identificação dos gêneros, uma pessoa que posso contar em qualquer momento. A Laly que me ajudou nas análises de chl-a e que sempre esteve ao meu lado!! Enfim, a todos que de alguma maneira positiva me ajudaram.

Ao meu querido amigo Marquinhos GTM, que tornou possível as realizações das coletas desse projeto e por todo apoio e parceria, sempre estando ao meu lado.

Aos professores e os membros da secretaria (Gaio e Juliene) do Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, por todos os ensinamentos e por todo apoio durante toda a pós-graduação.

Gostaria de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova.  
(Mahatma Gandhi).

## RESUMO

O presente estudo foi realizado na bacia do rio São Francisco, sendo testada as seguintes hipóteses: (1) corpos d'água distintos presentes em um sistema límnic representam habitats diferentes e, conseqüentemente, apresentam assembleias de Nematoda com estruturas diferentes; (2) a estrutura multivariada das assembleias de Nematoda diferem em função da heterogeneidade do habitat sedimentar; (3) os espectros de tamanho dos Nematoda de diferentes habitats de água doce diferem em função das características do habitat sedimentar e da disponibilidade de alimento. As coletas foram realizadas em seis habitats da bacia hidrográfica: no curso principal da bacia foram coletados quatro habitats: areia vegetada (AVG) e não vegetada (ANV), lama vegetada (LVG) e não vegetada (LNV). Foram realizadas ainda, coletas em lagoas marginais (LMG) e em um efluente do rio principal da bacia (RBC). Foram registrados 39 táxons, sendo 38 gêneros, além de indivíduos pertencentes à ordem Dorylaimida para os quais não foi possível a identificação em gênero. Dentre estes táxons, os gêneros, Anonchus, Ironus, Paramonohystera e Microlaimus foram os mais abundantes. O maior valor para o número de gêneros foi registrado para o habitat AVG (26), e o menor para ANV (5). Os valores de densidade total dos Nematoda variaram entre 35,52 e 3803,8 ind./10cm<sup>-2</sup> para os habitats LVG e LGM, respectivamente. O comprimento total dos Nematoda variou entre 95,55 (Paramonohystera) e 2675 µm (Ironus), enquanto a largura oscilou entre 9,45 (Microlaimus) e 50,4 µm (Ironus). Os valores da razão comprimento/largura (C/L) variaram entre 12,4 (LGM) e 70,77 (AVG). Desta forma, pode-se concluir que habitats com características ambientais diferentes, podem ter a mesma importância para a morfometria e a manutenção da diversidade do sistema, sendo observado que, as características do sedimento, como proporção de silte+argila, tamanho médio, assimetria, curtose e grau de selecionamento dos grãos de sedimento influenciou diretamente a morfometria e a estrutura das assembleias de Nematoda estudadas. Apesar da morfometria dos Nematoda ter sido influenciada por diferentes características físicas do sedimento e pelas diferentes ofertas de alimento, foi possível observar que de maneira geral a morfometria dos Nematoda é influenciada por um conjunto de fatores ambientais interligados.

Palavras-chave: Rios de água doce, Meiofauna, Baixo São Francisco, Nematoda, água doce.



## ABSTRACT

This study was conducted at the São Francisco River basin, and the following hypothesis were tested: (1) distinct bodies of water in a limnic system represent different habitats and, consequently, display different Nematoda assemblies with different structures; (2) the multivariate structure of Nematode assemblies differ according to the heterogeneity of the sedimentary habitat. Field sampling took place in six habitats from a hydrographic basin: in the main course of the basin four habitats were sampled: vegetated sand (VGS), non-vegetated sand (NVS), vegetated mud (VGM), and non-vegetated mud (NVM). Sampling also took place in marginal lagoons (MGL) and in the effluent of the basin's main river (BCR). 39 taxa of Nematoda were registered in all of the studied habitats, being 38 genera and also individuals belonging to the Dorylaimida order, for which it wasn't possible to identify the genus. Among these taxa, the genera *Anonchus*, *Ironus*, *Paramonohystera* and *Microlaimus* were the most abundant. The highest value for the number of genera was registered in the VGS habitat (26) and the lowest in NVS (5). The total density values of the Nematoda ranged from 35,52 and 3803,8 ind./10cm<sup>2</sup> for the habitats LVG and LGM, respectively. The total length of the Nematoda varied between 95,55 (*Paramonohystera*) and 2675 µm (*Ironus*), while the width oscillated between 9,45 (*Microlaimus*) e 50,4 µm (*Ironus*). The values of the length/width ratio (l/w) varied between 12,4 (MGL) e 70,77 (VGS). In that way, it can be concluded that habitats with different environmental characteristics might have same importance for the morphometry and maintenance of the system's diversity, being noted that, the characteristics of the sediment, such as the silte+clay proportion, average size, asymmetry, kurtosis and selection of the sediment's grains influenced directly the morphometry and structure of the studied Nematoda groups. Even though the Nematoda's morphometry was influenced by various physical characteristics of the sediment and by the different food supplies, it was possible to observe in which general manner the morphometry of the Nematode is influenced by collective of integrated environment factors.

Key-words: Freshwater river, Meiofaun, Low San Francisco, Nematode, freshwater.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapa da área da bacia hidrográfica do rio São Francisco. (Fonte: KOHLER, 2003) . . . . . 16
- Figura 2 – Área de estudo evidenciando a localização dos habitats amostrados (·) no Rio São Francisco, Alagoas, Brasil (RBC=Rio Boa Cica, LNV=Lama Não Vegetada, LVG=Lama Vegetada, ANV=Areia Não Vegetada, AVG= Areia Vegetada e LGM=Lagoas Marginais). . . . 31
- Figura 3 – Valores médios ( média, +-desvio padrão, intervalo de confiança de 95%) dos parâmetros do sedimento: a) tamanho médio do grão de sedimento (mm); b) proporção de silte+argila; c) selecionamento dos grãos; d) assimetria; e) curtose; f) teor de matéria orgânica (%); g) Heterogeneidade do tamanho do grão, para os habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais)..... . . 35
- Figura 4 – Resultado da Análise dos Componentes Principais aplicada aos dados dos parâmetros do sedimento nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).
- Figura 5 – Valores de abundância relativa dos gêneros de Nematoda mais representativos (abundância relativa > 35%) nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais). . . . . 37
- Figura 6 – . a) Número total de gêneros e b) densidade média total ( $\pm$  desvio padrão) dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais). . . . 37
- Figura 7 – Valores de densidade média ( $\pm$  desvio padrão) dos gêneros de Nematoda mais abundantes nos habitats a) RBC (Rio Boa Cica), b) LNV (Lama Não Vegetada), c) LVG (Lama Vegetada), d) ANV (Areia Não Vegetada), e) AVG (Areia Vegetada) e f) LGM (Lagoas Marginais) (notar diferenças nas escalas). . . . . 38
- Figura 8 – Valores médios do índice ( média, +-desvio padrão, intervalo de confiança de 95%) de diversidade de Simpson ( $\lambda$ ) nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais). . . . . 39

Figura 9 – Análise de escalonamento multidimensional não métrica (nMDS) utilizando os dados de densidade dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais). . . . .	40
Figura 10 – Diagrama obtido pela análise de cluster para os dados de densidade média dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (lama não vegetada), LVG (lama vegetada), ANV (areia não vegetada), AVG (areia vegetada) e LGM (lagoas marginais) . . . . .	43
Figura 11 – Valores médios da abundância relativa dos grupos tróficos (RP: raspadores, PF: predadores facultativos, P: predadores, CC: comedores de ciliados e CE: comedores de epistrato nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (lama não vegetada), LVG (lama vegetada), ANV (areia não vegetada), AVG (areia vegetada) e LGM (lagoas marginais)..	44
Figura 12 – Diagram showing the main environmental, biological and ecological factors influencing the morphometric structure of nematode assemblage and how morphometry influences aspects of the life strategy of nematodes. . . . .	63
Figura 13 – Study area showing the location of sample habitats (·) in the São Francisco River, Alagoas, Brazil (BCR=Boa Cica River, NVM=Non-vegetated mud, VGM=Vegetated mud, NVS=Non-vegetated sand, VGS= Vegetated Sand MGL=Marginal Lakes). . . . .	65
Figura 14 – Mean sediment parameter values: a) mean size of sediment grains (mm); b) proportion of silt+clay; c) sorting of grains; d) asymmetry; e) kurtosis; f) grade of organic material (%); g) Heterogeneity of grain size, for the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats (boxes indicate standard deviation and bars indicate a confidence interval of 95%). . . . .	68
Figura 15 – Result of Principal Component Analysis of sediment parameter data in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes). . . . .	69
Figura 16 – Mean values ( $\pm$ standard deviation) of length (a) and width (b) of nematodes in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and	

MGL (Marginal Lakes) habitats. . . . .	70
Figura 17 – Result of regression analysis applied to length and width of nematode values measured in the a) BCR (Boa Cica River); b) NVM (Non-Vegetated Mud); c) VGM (Vegetated Mud); d) NVS (Vegetated Sand); VGS (Vegetated Sand); f) MGL (Marginal Lakes) habitats. . . . .	71
Figura 18 – a) Mean L/W ratio values and b) frequency of occurrence of individuals by class of L/W ratio values for nematodes in BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats. . . . .	72
Figura 19 – Mean density values ( $\pm$ standard deviation) of the genera: a) Anonchus; b) Ironus; c) Microlaimus; d) Neotobrilus; e) Paramonohystera; mean L/W ratio values ( $\pm$ standard deviation) (Anonchus; Microlaimus; Paramonohystera; Ironus; Neotobrilus) of the most representative nematodes (relative abundance > 35%) in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats (note differences in scale). . . . .	73
Figura 20 – Multidimensional scheduling analysis (MDS) using L/W ratio values nematode genera in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats . . . . .	74
Figura 21 – Percentages of slender (>15 $\mu$ m) and robust (<15 $\mu$ m) nematodes in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats. . . . .	75
Figura 22 – a) Mean total L/W ratio values by trophic groups b) Mean L/W ratio values of the trophic groups (CC: ciliate feeders, CE: epistrate feeders, P: predators and PF: optional predators) in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats. . . . .	75

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Resultado da análise PERMANOVA para os valores médios da densidade dos gêneros de Nematoda entre os habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais) ..... 41
- Tabela 2 – Valores do índice de diversidade beta dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais). . . . . 41
- Tabela 3 – Lista de estudos realizados em diferentes ambientes de água doce. . . . .45

## SUMÁRIO

1	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	16
1.1	Heterogeneidade Ambiental e diversidade .....	17
1.2	Assembleia de Nematoda .....	19
1.3	Morfometria dos Nematoda .....	21
1.4	Referências Bibliográficas .....	23
2	<b>DIVERSIDADE DE NEMATODA EM DIFERENTES HÁBITATS LÍMNICOS.</b> .....	27
2.1	Resumo .....	27
2.2	Abstract .....	27
2.3	Introdução .....	28
2.4	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
2.6.1	Área de estudo .....	31
2.6.2	Procedimentos em Campo .....	31
2.6.3	Processamento das amostras .....	32
2.6.4	Análise de dados .....	32
2.7	<b>Resultados</b> .....	33
2.7.1	Parâmetros do sedimento .....	33
2.7.2	Assembleia de Nematoda .....	36
2.7.3	Grupos Tróficos .....	43
2.8	<b>Discussão</b> .....	44
2.9	<b>Conclusão</b> .....	51
2.10	<b>Referências</b> .....	52
3	<b>BODY SIZE OF NEMATODE ASSEMBLAGES IN A RESHWATER SYSTEM</b> .....	61
3.1	Abstract .....	61
3.2	Introduction .....	61
3.3	<b>Material and methods</b> .....	65
3.3.1	Study area .....	65
3.3.2	Sampling .....	65
3.3.3	Sediment .....	66
3.3.4	Nematodes .....	66
3.3.5	Data analysis .....	67
3.4	<b>Results</b> .....	67

3.4.1	Sediment parameters . . . . .	67
3.4.2	Nematode Assemblage . . . . .	69
3.4.3	Morphotypes . . . . .	74
3.4.4	Trophic Groups . . . . .	75
<b>3.5</b>	<b>Discussion . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>3.6</b>	<b>Referências . . . . .</b>	<b>80</b>

## APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é composta por uma seção inicial de Revisão da Literatura relacionada ao tema aqui abordado, além de dois capítulos em forma de artigos científicos que tratam de diferentes aspectos da estrutura das assembleias de Nematoda em uma região do Baixo São Francisco.

O primeiro capítulo, intitulado *Diversidade de Nematoda em diferentes habitats límnicos*, teve como objetivo testar as seguintes hipóteses: 1. um sistema límnico apresenta diferentes habitats que abrigam diferentes assembleias de Nematoda; 2. a estrutura multivariada das assembleias de Nematoda diferem nestes habitats em função da heterogeneidade do habitat sedimentar.

O segundo capítulo, intitulado *Body Size of Nematode Assemblages in a Freshwater System*, teve como objetivo testar a hipótese de que características morfométricas das assembleias de Nematoda de diferentes habitats de um sistema de água doce diferem em função de características do habitat sedimentar.





córregos), sendo 99 perenes e 69 intermitentes. Os maiores afluentes encontrados na Bacia são os rios Paraopeba, das Velhas, Paracatu e Urucuia, localizados no estado de Minas Gerais, e os rios Corrente e Grande, no estado da Bahia (POMPEU e GODINHO 2003). Os afluentes da margem esquerda, entre as cidades da Barra (BA) e Penedo (AL), e os da margem direita, entre o estado da Bahia até o município de Propriá, em Sergipe são classificados como rios temporários, ou seja, em determinadas épocas do ano esses corpos d'água podem secar (Paiva, 1982)

A bacia do São Francisco é dividida em quatro sub-regiões: alto, médio, submédio e baixo São Francisco (ARAÚJO e SÁ, 2008). O alto São Francisco compreende desde a nascente no município de São Roque (MG) até Pirapora (MG), correspondendo a cerca de 630 km de extensão. O médio São Francisco compreende a região desde Pirapora até remanso (BA), com 1090 km de extensão. A região da bacia denominada submédio São Francisco se estende de Remanso até a cachoeira de Paulo Afonso (BA) com 686 km de extensão. Por fim o baixo São Francisco, a subdivisão da bacia que possui a menor extensão, com apenas 274 km, sendo localizada entre Paulo Afonso e a foz do rio, na divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe (PAIVA, 1982).

As diferentes subdivisões da bacia do rio São Francisco possuem características limnológicas distintas, sendo a região alta caracterizada pelo curso d'água mais rápido, possuindo águas mais frias e oxigenadas; a região média caracteriza-se por menor velocidade da água, e está mais sujeita a grandes cheias; a região do submédio São Francisco está praticamente "barrada", tendo em vista a maior incidência de hidrelétricas nessa região, e por fim a região do baixo São Francisco, que possui águas menos velozes (haja vista que está situada numa região de planície) e grande influência marinha devido à proximidade com a foz do rio (SATO e GODINHO, 1999).

O rio São Francisco atende a diversos usos como, irrigação, geração de energia, navegação, pesca, aquicultura e lazer, dentre os quais se destaca a geração de energia elétrica. Os principais reservatórios do Rio São Francisco são: Sobradinho (1.050 MW); Itaparica (1.500 MW); Paulo Afonso 1, 2, 3 e 4 (3.845 MW); e Xingó (3.000 MW) (FRANCISCO et al. 2008), sendo nestes reservatórios localizada as 5 usinas que geram cerca de 95% de toda energia elétrica produzida no rio, as usinas Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Xingó e Paulo Afonso (ANA, 2008). Haja vista a ocorrência de todos esses usos, o rio São Francisco possui uma elevada importância cultural e socioeconômica, tanto para as populações ribeirinhas quanto para toda a região Nordeste, sendo considerado como um dos principais fatores de desenvolvimento da região.

## 1.2. Heterogeneidade Ambiental e diversidade

Atualmente existem cerca de 2 milhões de espécies de seres vivos descritas em todo o mundo, porém sabe-se que esse valor é apenas uma parcela do total das

---

espécies existentes. As estimativas do número real de espécies existentes no mundo ainda são bastante discutidas por diversos autores, variando entre 5 e 100 milhões de espécies (PIMM et al., 1995; BROWN e LOMOLINO 1998; GROOMBRIDGE e JENKINS, 2000).

A diversidade biológica está diretamente relacionada com a heterogeneidade dos habitats. De acordo com Begon et al. (2006) a heterogeneidade dos habitats proporciona a existência de uma maior diversidade de espécies, devido à presença de micro-habitats distintos que possibilitam a criação de diferentes nichos ecológicos disponíveis para a colonização por diferentes indivíduos, resultando em uma fauna mais diversificada. A hipótese da heterogeneidade de ambientes consiste em afirmar que quanto mais heterogêneo for o ambiente, maior será a riqueza e diversidade de espécies (MORENO e HALFFTER, 2001).

A heterogeneidade de habitats tem se mostrado uma eficaz ferramenta para explicar as variações na diversidade de espécies (HUSTON, 1994). São poucos os grupos de metazoários utilizados em estudos para avaliar a influência da heterogeneidade ambiental para a diversidade biológica. Segundo Tews et al. (2004) entre os anos de 1960 e 2003 a maioria dos estudos realizados nesse contexto estiveram relacionados a artrópodes (40%) e aves (35%).

O sistema rio-planície de inundação compreende um ecossistema com uma gama de corpos d'água distintos, como rios, canais, lagos e brejos (ROCHA, 2002). Esses ambientes possuem características limnológicas particulares que os diferenciam quanto à morfologia, hidrodinâmica e o grau de comunicação com o rio principal (THOMAZ et al., 1997). Através do entendimento da influência que a heterogeneidade ambiental causa nos descritores das comunidades biológicas, é possível verificar como a diversidade de espécies é mantida nesses locais. Este entendimento é importante para a realização de planos de conservação para biodiversidade (JUEN e DE MARCO, 2011).

A diversidade beta ( $\beta$ ) ou diversidade regional pode ser utilizada para deduzir a variação de comunidades biológicas em regiões geográficas diferentes, através da heterogeneidade espacial, similaridade e estrutura das comunidades (WHITTAKER, 1972). A heterogeneidade ambiental é um dos principais fatores utilizados para a definição da diversidade beta, sendo também essencial para o entendimento de impactos de origens naturais ou antrópicos sofridos pela biota (MORENO e HALFFTER, 2001). O entendimento da diversidade beta é de grande importância para elaboração de medidas para conservação ambiental (BALVANERA et al., 2002).

## 1.2 Assembleia de Nematoda

A meiofauna é definida como sendo animais invertebrados, bentônicos e micros-cópicos que passam por peneira de abertura de malha de 0,5 mm e ficam retidos em peneira de abertura de malha de 0,045 mm (HIGGINS e THIEL, 1988). A comunidade da meiofauna possui representantes de quase todos os filos de animais invertebrados, que ocupam os espaços intersticiais do sedimento de ambientes aquáticos (GIERE, 1993). Geralmente os táxons mais representativos são: Copepoda, Ostracoda, Rotifera, Turbellaria, Nemertea, Tardigrada, Polychaeta, Oligoqueta, sendo o filo Nematoda o mais abundante (EYUALEM ABEBE; DECRAEMER; DE LEY, 2008), representando cerca de 50 a 90% de toda a fauna bentônica na maioria dos ambientes aquáticos (COULL, 1988).

Os Nematoda são considerados os metazoários mais abundantes do mundo e o segundo táxon em número de espécies (HEIP et al., 1985). Cerca de 27.000 espécies de Nematoda são conhecidas para a ciência em todo o mundo, incluindo espécies parasitas, sendo que apenas 7% destas são descritas para sistemas de água doce (HUGOT et al., 2001). As estimativas do número de espécies existentes ainda são bastante discutidas pelos cientistas da área, não havendo um consenso do número real de espécies, tendo estimativas de diversos autores variando entre 100 mil e 100 milhões de espécies (LAMBSHEAD, 1993). O relativamente baixo número de espécies conhecidas para a ciência em relação as estimativas são atribuídas a dificuldade de identificação dos Nematoda e o reduzido número de taxonomistas espalhados por todo o mundo (EYUALEM-ABEBE et al. 2008).

A nematofauna possui grande importância nos ambientes bentônicos (HEIP et al. 1985) por participar da teia trófica em sedimentos (LIU et al. 2007), servindo de alimento para peixes juvenis, larvas de insetos e pequenos invertebrados (STEAD; SCHMID-ARAYA; HILDREW, 2003), por estimular o metabolismo bacteriano (MOENS; VERBEECK; VINCX, 1999), absorver componentes orgânicos dissolvidos, regenerar nutrientes e influenciar nas características físico-químicas do ambiente sedimentar através da secreção de muco (BONGERS; VAN DE HAAR, 1990).

Fatores como a granulometria, disponibilidade de nutrientes e concentração de oxigênio são limitantes para assembleias de Nematoda (BONGERS et al 1991; STEYAERT et al., 2001), sendo esses os principais fatores responsáveis pela alteração dos caracteres morfométricos, dos valores de abundância e biomassa, e da composição de gêneros da assembleia.

Várias características do sedimento são apontadas por diferentes autores como sendo responsáveis pela colonização dos Nematoda no ambiente intersticial, como o tamanho e o selecionamento do grão de sedimento (GIERE, 1993), e o grau de

---

arredondamento e esfericidade (RENAU-DEBYSER e Salvat, 1963), sendo que, em geral, quanto maior a heterogeneidade do sedimento, maior a riqueza e abundância de espécies (CONRAD, 1976). Em sedimentos finos é observada uma relação inversa entre abundância e diversidade, sendo encontrada nestes ambientes uma fauna mais densa e menos diversificada (HEIP et al. **1992**), onde geralmente os maiores valores de densidades estão nos cinco primeiros centímetros de profundidade (SOETAERT et al. 1994). Ao contrário do que é observado nas assembleias de Nematoda que habitam sedimentos arenosos e areno-lodosos, onde a assembleia pode ser encontrada acima de um metro de profundidade do sedimento (FENCHEL e RIEDE, 1970).

De acordo com Moens e Vincx, (1997) a diversidade da nematofauna está diretamente relacionada com diversos fatores abióticos, como a disponibilidade de alimentos e a granulometria dos sedimentos. Os Nematoda apresentam uma elevada diversidade de morfologias da boca o que os permite se alimentar de diferentes itens como é bastante conhecido especialmente através dos trabalhos clássicos de Jensen (1987), Wiser (1953) e Moens e Vincx (1997). Esse alto grau de especialização alimentar leva a co-existência de várias guildas tróficas (MICHIELS e TRAUNSPURGER, 2005) e conseqüentemente uma maior diversidade da fauna.

Em relação à alimentação foram propostas duas classificações tróficas para o filo: Wieser (1953) que consiste na classificação dos grupos tróficos de Nematoda de acordo com a estrutura da cavidade bucal, onde as diferenças nas estruturas bucais estão relacionadas aos diferentes hábitos alimentares, sendo o táxon classificado em quatro grupos: os comedores seletivos de depósitos (Grupo 1A), os comedores não seletivos de depósitos (Grupo 1B), os comedores de epistrato (Grupo 2A), os predadores e onívoros (Grupo 2B), e a classificação proposta por Moens & Vincx (1997), baseada em observações dos Nematoda se alimentando em laboratório, a qual engloba seis grupos tróficos: micrófagos, comedores de ciliados, comedores de depósitos, comedores de epistrato, predadores facultativos e predadores.

Atualmente há um grande esforço dos pesquisadores para aumentar o conhecimento tanto ecológico quanto taxonômico desta assembleia, porém esses estudos ainda são encontrados distribuídos em mosaicos pelo mundo, havendo diversas regiões, inclusive a América do sul com escassez de estudos (GIERE, 2009). Nos ambientes lênticos é onde ocorre o maior déficit de estudos sobre meiofauna, no entanto a contri-buição da meiofauna em termos de diversidade e a sua importância nas comunidades bentônicas de rios vêm sendo reconhecidas aos poucos (ROBERTSON; RUNDLE; SCHMID-ARAYA, 2000).

Os estudos sobre gêneros de Nematoda de água doce estão em sua maioria concentrados em regiões temperadas (TRAUNSPURGER et al., 1997; EYUALEM-ABEBE et al., 2006; HEININGER et al 2007; RISTAU & TRAUNSPURGER 2011; Ristau,

---

Faupel & Traunspurger 2013). No Brasil não são encontrados estudos publicados sobre ecologia e diversidade dos gêneros de Nematoda de ambientes lênticos, sendo encontrados apenas estudos que tratam da diversidade em lagoas utilizando morfoespécies de Nematoda, ou trabalhos de meiofauna que tratam de Nematoda em nível taxonômico de Filo (CORGOSINHO et al., 2004). O único registro com maior resolução taxonômica feito para rios do Brasil foi em 1985 quando Andrásy descreveu a espécie *Cobbonchus collaris*, baseado em uma fêmea coletada na coluna d'água de um rio do Pará.

### 1.3 Morfometria dos Nematoda

Compreender como a densidade biológica é influenciada e por que muitas espécies são raras, enquanto outras são extremamente abundantes é de grande importância para a conservação biológica (BLACKBURN e GASTON, 1994). Aspectos morfométricos de espécies animais, como os Nematoda, são facilmente mensuráveis e tem sido sugerido como um potencial preditor da densidade ecológica (CARRASCAL e TELLERIA, 1991).

Os caracteres morfométricos estão diretamente ligados à morfologia, locomoção, alimentação, história de vida, necessidade de energia, e interações bióticas e abióticas dos Nematoda (PETERS 1983, CALDER, 1984). Várias características ecológicas e fisiológicas são influenciadas pelo tamanho dos organismos, como a Taxa de crescimento, taxa metabólica e a taxa de reprodução (BLUE-WEISS et al, 1978; Peters, 1983), restrições energéticas (Brown, MARQUET e TAPER 1993), determinantes biogeográficas (HUBBELL 1997; HOEKSTRA e FAGAN 1998), a estrutura do habitat (SCHWINGHAMER 1981) e interações biológicas (OKSANEN, FRETWELL e JARVINEN 1979), como as interações predador-presa (WARWICK, 1984).

A largura do corpo dos Nematoda pode aumentar ou diminuir a sua habilidade em relação às trocas gasosas, onde quanto menor a largura do indivíduo, menor será sua difusão de gases, portanto estes indivíduos são capazes de suportar concentrações menores de oxigênio, quando comparados com Nematoda de menor largura (SOETAERT et al. 2002).

As medidas de largura e comprimento influenciam diretamente as interações intraespecíficas da assembleia de Nematoda, como, por exemplo, a relação predador-presa, onde, os predadores em geral, devem possuir maior tamanho que as presas (PETERS, 1983). Nematoda mais robustos podem dificultar ou até impedir a sua predação, tendo em vista que os predadores irão ingerir a presa ou pela cabeça ou pela calda, desta forma sendo necessário o predador possuir uma cavidade bucal maior que a largura da presa. Mesmo se a predação ocorrer no meio do corpo, Nematoda mais robustos são mais difíceis de quebrar, além de poder apresentar saliências de proteção e cerdas, desta forma se tornando indivíduos com menor possibilidade de ser

---

predados (SOETAERT et al. 2002).

O conjunto de características sedimentares do ambiente é um fator determinante para as dimensões corporais dos Nematoda (REMANE, 1933), tendo em vista que as dimensões do corpo irão determinar o grau de mobilidade que os indivíduos terão entre o interstício, ou seja, a capacidade dos indivíduos de movimentar-se entre os espaços dos poros do sedimento (TITA et al., 1999). Essa capacidade de locomoção entre os grãos de sedimento pode vir a ser uma vantagem em relação a outros indivíduos da assembleia, possibilitando tanto uma possível mudança para condições ambientais mais favoráveis, como a busca de alimentos em estratos mais profundos do sedimento.

O tamanho dos animais bentônicos também varia de acordo com a disponibilidade de alimento, sendo encontrados indivíduos menores em locais com menor disponibilidade de alimento (THIEL, 1975). A partir dessas informações THIEL (1975) elaborou a seguinte hipótese: “As associações regidas pela constante disponibilidade limitada de alimentos são compostas por pequenos indivíduos, em média”. Essas informações corroboram com os resultados encontrados em outros estudos, que afirmam que devido à limitação de alimento não é possível a permanência de espécies maiores nesses ambientes, tendo em vista a necessidade de um maior consumo de energia por essas espécies (CARNEY et al., 1983; GAGE, 1978). Logo, ambientes com essas limitações são favoráveis à permanência de espécies com um custo de manutenção menor, ou seja, espécimes pequenos (FENCHEL, 1974).

Apesar da grande influência da morformetria nos processos biológicos e fisiológicos dos animais, ainda são poucos os estudos realizados com este enfoque (SCHWINGHAMER, 1981; WARWICK, 1984; GERLACH, 1985; RATSIMBAZAFY, 1998, TITA et al, 1999, SOETAERT et al 2009), e inexistentes utilizando a assembleia de Nematoda de água doce.

#### 1.4 Referências Bibliográficas

- ANA (Agência Nacional de Águas) Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio São Francisco. Brasília, v. 3, p. 1-15, 2008.
- ARAÚJO, J.S.; SÁ, M.F.P. Sustentabilidade da piscicultura no baixo São Francisco alagoano: condicionantes socioeconômicos. *Ambiente & Sociedade*. Campinas, v.11: p.405-424, 2008.
- BEGON, M., HARPER, J.L. and TOWNSEND, C.R. *Ecology: from Individuals to Ecosystems*. Blackwell Science, Oxford. v.4, 2006.
- BLUEWEISS L, Fox H, KUDZMA D, NAKASHIMA D, Peters R, Sams S. Relationships between body size and some life history parameters. *Oecologia (Berlin)* v.37: p.257–272, 1978.
- BALVANERA,P., LOTT,E., SEGURA,G., SIEBE,C. & ISLAS,A. Patterns of beta diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*, v.13, p.145-158, 2002.
- BROWN, J.H.,MARQUET, P.A.&TAPER,M.L. Evolution of body size: consequences of an energetic definition of fitness. *The American Naturalist*, v.142, 573–584, 1993.
- BROWN, J.H. & LOMOLINO, M.V. (1998) *Biogeography*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, v.2.
- BONGERS, T.; VAN DE HAAR, J. On the potential of basing an ecological typology of aquatic sediments on the nematode fauna: An example from the River Rhine. **Hydrobiological Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 37–45, 1990.
- CORGOSINHO, P. H. C. et al. Diversidade de habitat e padrões de diversidade e abundância de bentos ao longo de um afluente do reservatório de Três Marias , MG. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 71, p. 227–232, 2004.
- EYUALEM ABEBE; DECRAEMER, W.; DE LEY, P. Global diversity of nematodes (Nematoda) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 67–78, 2008.
- FLEEGER, J. W.; GRIPPO, M. A.; PASTORICK, S. T. What is the relative importance of sediment granulometry and vertical gradients to nematode morphometrics? **Marine Biology Research**, v. 7, n. December 2012, p. 122–134, 2011.
- FONSECA, G. et al. Testing for nematode-granulometry relationships. **Marine Biodiversity**, 2014.
- FRANCISCO, W. et al. Quantificação Preliminar Do Aporte De Sedimentos No Baixo São Francisco E Seus Principais Impactos. p. 1–14, 2008.



---

HEIP, C.; VINCX, M.; VRANK. The ecology of marine nematodes *Oceanograf. Marine Biology Annual Review*, 1985.

JENSEN, P. Differences in microhabitat, abundance, biomass and body size between oxybiotic and thiobiotic free-living marine nematodes. *Oecologia*, v. 71, p. 564–567, 1987.

LEDUC, D. et al. Further evidence for the effect of particle-size diversity on deep-sea benthic biodiversity. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 63, p. 164–169, 2012.

LOSI, V. et al. Nematode biomass and allometric attributes as indicators of environmental quality in a Mediterranean harbour (Ligurian Sea, Italy). *Ecological Indicators*, v. 30, p. 80–89, 2013.

MICHIELS, I. C.; TRAUNSPURGER, W. Impact of resource availability on species composition and diversity in freshwater nematodes. *Oecologia*, v. 142, p. 98–103, 2005.

MOENS, T.; VERBEECK, L.; VINCX, M. Feeding biology of a predatory and a predatory nematode (*Enoploides longispiculosus* and *Adoncholaimus fuscus*). *Marine Biology*, v. 134, p. 585–593, 1999.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. Ictiofauna de três lagoas marginais do médio São Francisco. *Água, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais* p. 167–181

QUANG, N. X.; CHAU, N. N.; VANREUSEL, A. Nematode morphometry and biomass patterns in relation to community characteristics and environmental variables in the Mekong Delta. *Raffles Bulletin Of Zoology* v. 62, p. 501–512, 2014.

RISTAU, K.; FAUPEL, M.; TRAUNSPURGER, W. Effects of nutrient enrichment on the trophic structure and species composition of freshwater nematodes—a micro-cosm study. *Freshwater Science*, v. 32, n. 1, p. 155–168, 2013.

RISTAU, K.; TRAUNSPURGER, W. Relation between nematode communities and trophic state in southern Swedish lakes. *Hydrobiologia*, v. 663, p. 121–133, 2011.

ROBERTSON, A. L.; RUNDLE, S. D.; SCHMID-ARAYA, J. M. Putting the meio-into stream ecology: Current findings and future directions for lotic meiofaunal research. *Freshwater Biology*, v. 44, p. 177–183, 2000.

SCHRATZBERGER, M.; WARR, K.; ROGERS, S. I. Functional diversity of nematode communities in the southwestern North Sea. *Marine Environmental Research*, v. 63, p. 368–389, 2007.

SOETAERT, K. et al. Factors affecting nematode biomass, length and width from the shelf to the deep sea. *Marine Ecology Progress Series*, v. 392, n. 1975, p.

---

123–132, 2009.

SOETAERT, K.; MUTHUMBI, A.; HEIP, C. Size and shape of ocean margin nematodes: Morphological diversity and depth-related patterns. **Marine Ecology Progress Series**, v. 242, p. 179–193, 2002.

STEAD, T. K.; SCHMID-ARAYA, J. M.; HILDREW, A. G. All creatures great and small: Patterns in the stream benthos across a wide range of metazoan body size. **Freshwater Biology**, v. 48, p. 532–547, 2003.

TITA, G.; VINCX, M.; DESROSIERS, G. Size spectra, body width and morphotypes of intertidal nematodes: an ecological interpretation. **Journal of the Marine Biological Association of the UK**, v. 79, p. 1007–1015, 1999.

UDALOV, A. A.; AZOVSKY, A. I.; MOKIEVSKY, V. O. Depth-related pattern in nematode size: What does the depth itself really mean? **Progress in Oceanography**, v. 67, p. 1–23, 2005.

VANAVERBEKE, J. et al. Nematode assemblages from subtidal sandbanks in the Southern Bight of the North Sea: Effect of small sedimentological differences. **Journal of Sea Research**, v. 48, p. 197–207, 2002.

VANAVERBEKE, J. et al. Nematode biomass spectra as descriptors of functional changes due to human and natural impact. **Marine Ecology Progress Series**, v. 249, p. 157–170, 2003.

VANAVERBEKE, J.; SOETAERT, K.; VINCX, M. Changes in morphometric characteristics of nematode communities during a spring phytoplankton bloom deposition. **Marine Ecology Progress Series**, v. 273, p. 139–146, 2004.

WARWICK, R. M. Species size distributions in marine benthic communities. **Oecologia**, v. 61, p. 32–41, 1984.

THIEL H. The size structure of the deep-sea benthos. *Int Rev Gesamten Hydro-biol*, v.60:575–606, 1975.

TEWS, J., BROSE, U., GRIMM, V., TIELBORGER, K., WICHMANN, M.C., SCHWAGER, M., JELTSCH, F. Animal diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the important of keystone structures. *Journal of Biogeography* v.31, p.79-92, 2004.

TITA G., VINCX M. & DESROSIERS G. Size spectra, body width and morphotypes of intertidal nematodes: an ecological interpretation. **Journal of the Marine Biological Association of the UK**, v.79, p.1007–1015, 1999.

THOMAZ, S. M. et al. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A. E. A M. et al. A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos e biológicos e socioeconômicos. Maringá:

Eduem, p. 73-102, 1997

WARWICK R.M. Species size distributions in marine benthic communities. **Oecologia** v. 61, p. 32–41, 1984.

Wieser, W. Die Beziehung zwischen Mundhohlengestalt, Ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden. *Arkiv för zoologi* . v.4: p.439–484, 1953.

WHITTAKER, R.H., Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, v. 21, p. 213-251, 1972.

## 2 Diversidade de Nematoda em diferentes habitats límnicos.

### Resumo

O presente estudo foi realizado na bacia do rio São Francisco, sendo testada as seguintes hipóteses: (1) corpos d'água distintos presentes em um sistema límnico representam habitats diferentes e, conseqüentemente, apresentam assembleias de Nematoda com estruturas diferentes; (2) a estrutura multivariada das assembleias de Nematoda diferem em função da heterogeneidade do habitat sedimentar. As coletas foram realizadas em seis habitats da bacia hidrográfica: no curso principal da bacia foram coletados quatro habitats: areia vegetada (AVG) e não vegetada (ANV), lama vegetada (LVG) e não vegetada (LNV). Foram realizadas ainda, coletas em lagoas marginais (LMG) e em um efluente do rio principal da bacia (RBC). Foram registrados 39 táxons de Nematoda levando em consideração todos os habitats estudados, sendo 38 gêneros, além de indivíduos pertencentes à ordem Dorylaimida para os quais não foi possível a identificação em gênero. Dentre estes táxons, os gêneros, Anonchus, Ironus, Paramonohystera e Microlaimus foram os mais abundantes. O maior valor para o número de gêneros foi registrado para o habitat AVG (26), e o menor para ANV (5). Os valores de densidade total dos Nematoda variaram entre 35,52 e 3803,8 ind./10cm<sup>-2</sup> para os habitats LVG e LGM, respectivamente. Desta forma, pode-se concluir que habitats com características ambientais diferentes, podem ter a mesma importância para manutenção da diversidade do sistema, sendo observado que, as características do sedimento, como proporção de silte+argila, tamanho médio, assimetria, curtose e grau de selecionamento dos grãos de sedimento influenciou diretamente a estrutura das assembleias de Nematoda estudadas.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Rios, Heterogeneidade.

## Abstract

This study was conducted at the São Francisco River basin, and the following hypothesis were tested: (1) distinct bodies of water in a limnic system represent different habitats and, consequently, display different Nematoda assemblies with different structures; (2) the multivariate structure of Nematode assemblies differ according to the heterogeneity of the sedimentary habitat. Field sampling took place in six habitats from a hydrographic basin: in the main course of the basin four habitats were sampled: vegetated sand (AVG), non-vegetated sand (ANV), vegetated mud (LVG), and non-vegetated mud (LNV). Sampling also took place in marginal lagoons (LMG) and in an effluent of the basin's main river (RBC). 39 taxa of Nematoda were registered in all of the studied habitats, being 38 genera and also individuals belonging to the Dorylaimida order, for which it wasn't possible to identify the genus. Among these taxa, the genera Anonchus, Ironus, Paramonohystera and Microlaimus were the most abundant. The highest value for the number of genera was registered in the AVG habitat (26) and the lowest in ANV (5). The total density values of the Nematoda ranged from 35,52 and 3803,8 ind./10cm<sup>2</sup> for the habitats LVG and LGM, respectively. In this way, it can be concluded that habitats with different environmental characteristics can have the same importance for the maintenance of the system's diversity, being observed that the characteristics of the sediment, such as the silte+clay ratio, average size, asymmetry, kurtosis, and the degree of sedimentary grain screening has directly influenced the structure of the studied Nematoda assemblies.

Key-words: Hydrographic basins, heterogeneity, River.

## 2.5 Introdução

O Brasil possui uma elevada diversidade biológica, apresentando cerca de 14% das espécies de seres vivos do mundo (LEWINSOHN & PRADO, 2002). As águas con-tinentais brasileiras abrigam um rico número de espécies de diversos grupos biológicos, como algas (ROCHA, 2002), peixes (BUCKUP & MENEZES, 2003) e crustáceos decá-podas (MAGALHÃES, 1999), que representam cerca de 25, 21 e 10% das espécies descritas no mundo, respectivamente.

A perda da diversidade em ambientes límnicos está relacionada a diversas inter-ferências antrópicas, tais como a poluição e eutrofização de riachos e rios (MARQUES & BARBOSA, 2001, MARTINELLI et al., 2002), lagoas (ESTEVEES et al. 2002) e lagos (BARBOSA et al. 1993). O estudo da diversidade de habitats é uma ferramenta útil para a avaliação de diferentes níveis de impactos antrópicos em bacias hidrográficas (GALDEAN et al. 2000) e conseqüentemente para a elaboração de programas de monitoramento ambiental (CALLISTO et al., 2001).

O sistema rio-planície de inundação compreende um ecossistema com uma gama de corpos d'água distintos, como rios, canais, lagos e lagoas. Diferentes níveis de heterogeneidade ambiental são encontrados nesses corpos d'água, haja vista as características particulares que cada um deles possui quanto a sua morfologia, hidrodinâmica

e grau de comunicação com o rio principal (THOMAZ et al., 1997). A hidrodinâmica em especial, possui grande importância para heterogeneidade dos habitats bentônicos, afetando as características físico-químicas e estruturais do ambiente sedimentar, a configuração dos microhabitats e a distribuição de recursos (AUSTEN et al. 2002). Portanto, a heterogeneidade desses ambientes possui grande influência na estrutura das assembleias, modificando a riqueza, composição e estrutura das comunidades biológicas que neles habitam (AUSTEN et al 2002).

A heterogeneidade dos ambientes tem sido bastante utilizada para avaliar a variação da diversidade de espécies em diferentes locais (HUSTON, 1994). A maior heterogeneidade ambiental resulta na criação de habitats distintos e conseqüentemente, de diferentes nichos ecológicos disponíveis para ser ocupados por diferentes espécies, resultando em uma fauna mais diversificada (BEGON et al. 2006). Desta maneira, a hipótese da heterogeneidade do habitat consiste em, quanto mais heterogêneo for o habitat, maior será a riqueza e a diversidade de espécies (MORENO & HALFFTER, 2001).

Os Nematoda são considerados os metazoários mais abundantes do mundo e o segundo táxon em número de espécies (HEIP et al., 1985), sendo geralmente os organismos mais abundantes da meiofauna em ambientes de água doce (ANDERSON, 1992, BEIER e TRAUNSPURGER, 2003, MICHIELS e TRAUNSPURGER, 2004, Ristau et al 2012). As assembleias de Nematoda são encontradas em todos os tipos de habitats límnicos, inclusive sob condições desfavoráveis (altas temperaturas, acidez, anóxia), apresentando papel fundamental na produção microbiana (TRAUNSPURGER 2000), na dinâmica trófica bentônica (TRAUNSPURGER et al., 1997), servindo de alimento para grupos tróficos superiores (STEAD et al 2003), e na ciclagem de nutrientes, remineralizando o sedimento e facilitando a reciclagem de matéria orgânica (GERLACH, 1978).

Descritores das assembleias de Nematoda, como a densidade, riqueza, composição de espécies e grupos tróficos funcionais possuem alta capacidade de responder a variações ambientais, permitindo detectar alterações entre assembleias naturais e impactadas (SCHRATZBERGER et al. 2007; MORENO et al. 2008). O entendimento sobre a influência que a heterogeneidade ambiental causa nesses descritores das assembleias, é de grande importância para verificar como a diversidade de espécies é mantida nesses locais.

As relações entre a heterogeneidade do ambiente sedimentar e os descritores das assembleias de Nematoda tem sido demonstrada em vários estudos realizados em ambientes marinhos (**Steyaert et al., 1999; VINCX et al., 1990**). De forma geral, os gêneros de Nematoda apresentam preferências por diferentes características do ambiente sedimentar, sendo observado dissimilaridades quanto a composição das

assembleias de Nematoda em ambientes marinhos com diferentes características granulométricas (VINCX et al., **1990**, VANAVERBEKE et al. **2002** , **2011**).

Em geral, sedimentos mais grosseiros apresentam assembleias de Nematoda mais diversificadas e menos densas, quando comparado com sedimentos mais finos, sendo este padrão de diversidade relacionado, principalmente, ao fato de que sedimentos mais grosseiros podem apresentar uma maior gama de microhabitats (HEIP et al., 1985), logo, apresentando uma menor competição dos Nematoda por recursos (VANAVERBEKE et al. 2011).

As assembleias de Nematoda podem ser influenciadas por uma variedade de fatores ambientais, além dos parâmetros do sedimento, tais como oxigênio, temperatura e disponibilidade de alimentos, e em diferentes escalas espaciais (FLEEGER & DECHO 1987). É observado que as variações das assembleias em ambientes distantes em termos de metros ou quilômetros (m-km) tendem a ser influenciadas por fatores físicos e químicos do ambiente (BARNES et al. 2008), enquanto em escalas mais locais, como centímetros, a assembleia é influenciada por fatores ecológicos, como as interações inter-específicas (presa-predador) (SWAN & PALMER, 2000). Estudos recentes tem demonstrado a influencia das escalas espaciais na assembleia de Nematoda de agua doce, sendo observado variações nos descritores da assembleia, como na diversidade e na composição de Nematoda (FLACH et al 2012).

Dentro deste contexto, WHITTAKER (1960) estudou a relação entre a diversidade e a escala espacial, propondo o conceito de partição da diversidade em três componentes: a diversidade de um determinado local, diversidade alfa, a diversidade entre dois locais dentro de uma mesma região, diversidade beta, e a diversidade de toda uma região geográfica, diversidade gama. A diversidade beta ( $\beta$ ) pode ser utilizada para deduzir a variação nas assembleias biológicas em locais diferentes, comparando estes locais, através da heterogeneidade espacial, similaridade e estrutura das assembleias (WHITTAKER, 1972). O entendimento da diversidade beta é fundamental para mensurar a importância ecológica de um determinado habitat em termos de diversidade biológica e na elaboração de medidas para conservação ambiental (BALVANERA et al., 2001).

Assim foram testadas as seguintes hipóteses: (1) Corpos d'água distintos presentes em um sistema límnico representam habitats diferentes e, conseqüentemente, apresentam assembleias de Nematoda com estruturas diferentes; (2) A estrutura multi-variada das assembleias de Nematoda diferem em função da heterogeneidade do habitat sedimentar.

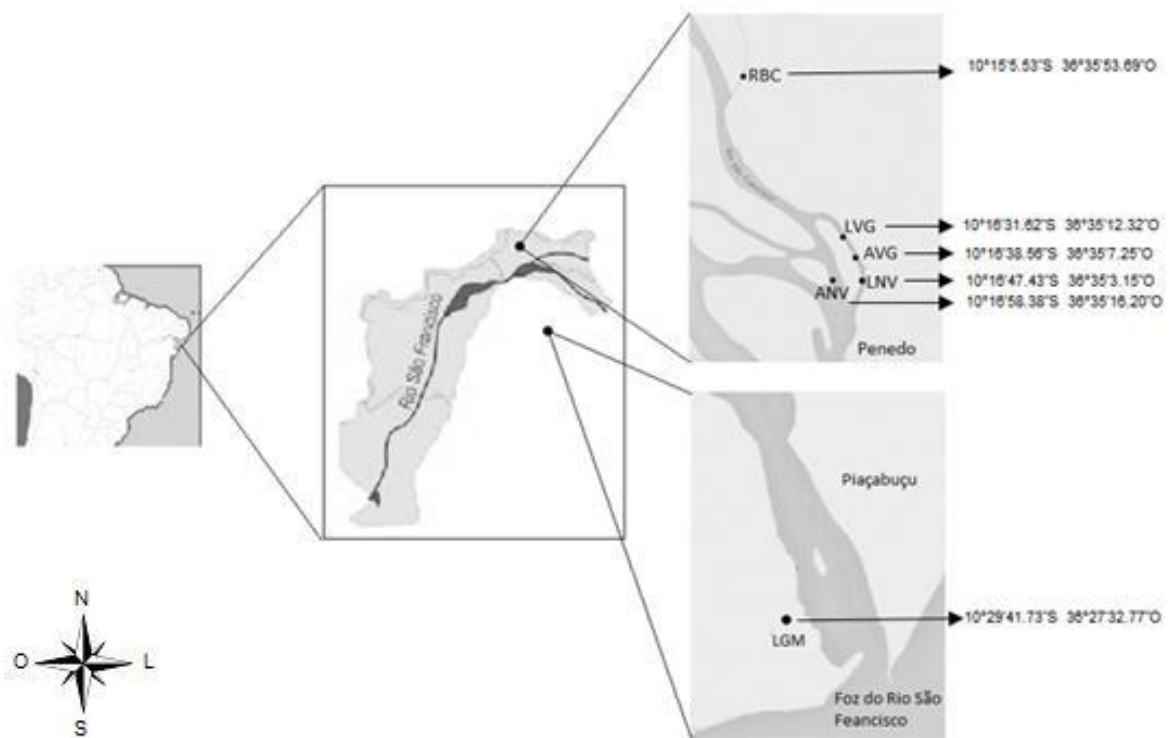


## 2.6 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.6.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em diferentes habitats da região baixa da bacia do Rio São Francisco (fig. 1). Esta bacia possui uma área superior a 630.000 km<sup>2</sup> e tem uma vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s, sendo seu curso principal o rio São Francisco com cerca de 2.700 km de extensão. Foram coletadas amostras em 6 habitats desta bacia (profundidade: 0,85 a 2 m), sendo quatro no curso principal do rio: areia vegetada (AVG), areia não vegetada (ANV), lama vegetada (LVG) e lama não vegetada (LNV); em lagoas marginais (LGM) e em um efluente de pequeno porte do Rio São Francisco, chamado rio Boa Cica (RBC) (fig. 1).

**Figura 2 – Área de estudo evidenciando a localização dos habitats amostrados (·) no Rio São Francisco, Alagoas, Brasil (RBC=Rio Boa Cica, LNV=Lama Não Vegetada, LVG=Lama Vegetada, ANV=Areia Não Vegetada, AVG= Areia Vegetada e LGM=Lagoas Marginais).**



### 2.6.2 Procedimentos em Campo

Foram coletadas nove réplicas de sedimento, retiradas aleatoriamente, em cada habitat para o estudo da assembleia de Nematoda, utilizando um corer com 2,8 cm de diâmetro interno sendo inserido nos 5 primeiros centímetros do sedimento trazido por uma draga do tipo Van Veen. As amostras foram fixadas em campo com formalina a 4%.

Para análise granulométrica e cálculo do teor de matéria orgânica contido nos sedimentos foram coletadas 3 réplicas em cada habitat, utilizando draga do tipo Van Veen e retirando a camada superficial do sedimento.

### 2.6.3 Processamento das amostras

O processamento das amostras biológicas foi realizado utilizando a metodologia proposta por Elmgren (1976), através da lavagem úmida em peneiras geológicas com aberturas de malha de 0,5 mm e 0,045 mm. Em seguida foi realizada a triagem das amostras, sendo os 120 primeiros Nematoda (quando existentes na amostra) foram retirados para posterior montagem de lâminas permanentes e identificação em nível genérico utilizando chaves de identificação (DE LEY et al, 2006; WARWICK et al, 1998; ZULLINI, 2010). Em amostras com número de indivíduos menor do que 120, todos os Nematoda foram retirados para identificação.

A classificação trófica dos indivíduos foi realizada de acordo com Moens & Vincx (1997). Os autores classificam os gêneros de Nematoda em seis grupos tróficos: “comedores de epistrato”, “comedores de ciliados”, “comedores de depósitos”, “raspadores”, “predadores facultativos”, e os “predadores.

Para a análise granulométrica foi seguida a metodologia sugerida por Suguio (1973), que consiste no peneiramento a seco dos grãos de sedimento, e os intervalos de tamanho propostos por Wentworth (1922). Os resultados foram analisados através de programa SYSGRAM 3.0, o qual permite calcular parâmetros como tamanho médio, mediana, grau de selecionamento, assimetria e curtose, seguindo o método proposto por Folk & Ward (1957). O cálculo do teor de matéria orgânica contida nos sedimentos foi obtido através da metodologia de ignição em mufla proposta por Walkley & Black (1934).

A heterogeneidade do sedimento foi obtida utilizando o índice de diversidade de Shannon Wiener (H) (ETTER e GRASSLE, 1992) aplicado ao percentual do peso seco de sedimento obtido nas cinco classes de tamanho dos grãos utilizadas, considerando que quanto maior o valor de diversidade, maior a heterogeneidade do sedimento.

### 2.6.4 Análise de dados

Os resultados obtidos foram analisados através de análises estatísticas uni e multivariadas. Para observar tendências de variação nos parâmetros do sedimento entre os diferentes habitats, foi realizada a Análise dos Componentes Principais, PCA realizada através do programa estatístico PRIMER v.5.2.4.

Os valores do índice de diversidade de Simpson ( $\lambda$ ) e de Equitabilidade de Pielou (J) foram obtidos através da rotina DIVERSE, utilizando o programa estatístico

PRIMER v.5.2.4. O cálculo da diversidade beta ( $\beta$ ) foi realizado utilizando o pacote estatístico Past.

Para visualização das dissimilaridades na estrutura das assembleias de Nematoda, nos diferentes habitats, uma análise de ordenação do tipo nMDS (análise de escalonamento multidimensional não métrica) foi aplicada aos dados de densidade dos gêneros (Clarke e Warwick, 1994). Para testar diferenças significativas na densidade dos gêneros de Nematoda entre os diferentes habitats, foi aplicada análise multivariada do tipo PERMANOVA. No caso de resultado significativo ( $p < 0,05$ ), um teste pareado foi aplicado utilizando permutação de Monte Carlo. Para estas análises uma matriz de similaridade foi construída utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis.

Para a obtenção dos valores de diversidade beta ( $\beta$ ) foi utilizado o índice proposto por WHITTAKER (1960), o qual varia de 0 (zero) a 1 (um), onde os valores próximos de 0 (zero) significam que as amostras apresentam pouca ou nenhuma diferença na composição de espécies, enquanto que os valores próximos de 1 (um) significam que as amostras apresentam maiores diferenças na composição de espécies.

Para observar as tendências de variação na estrutura multivariada da assembleia de Nematoda, foi utilizada uma análise de agrupamento do tipo Cluster para os dados de presença/ausência dos gêneros de Nematoda, a partir de uma matriz de similaridade utilizando o índice de bray-curtis, ambas realizadas através do programa estatístico PRIMER v.5.2.4.

Para verificar quais dos parâmetros do sedimento apresentaram maior correlação com a densidade dos gêneros de Nematoda em cada habitat estudado, foi aplicada uma análise do tipo BIOENV, a qual verifica correlações entre duas matrizes de dados, uma biológica, construída utilizando o índice de similaridade de bray-curtis, e uma de parâmetros ambientais, construída utilizando distâncias euclidianas. Para o valor da correlação entre estas matrizes foi utilizado o índice de correlação de Spearman utilizando o pacote estatístico PRIMER v.5.2.4. (Clarke e Warwick 1994).

## 2.7 Resultados

### 2.7.1 Parâmetros do sedimento

Através das análises granulométricas foi possível verificar que o maior valor para o tamanho médio dos grãos de sedimento foi registrado para o habitat ANV, 2,97 mm, e o menor para LVG, 0,73 mm (fig. 2a). Os sedimentos nos habitats RBC, LNV e LVG foram classificados em areia muito fina com percentual médio de silte+argila de 44,84, 42,17 e 49,06%, respectivamente (fig. 2b). Os sedimentos dos habitats AVG e LGM foram classificados como areia fina e ANV como areia média, com percentual de silte+argila de 0,17, 1,02 e 0,77%, respectivamente (fig. 2b).

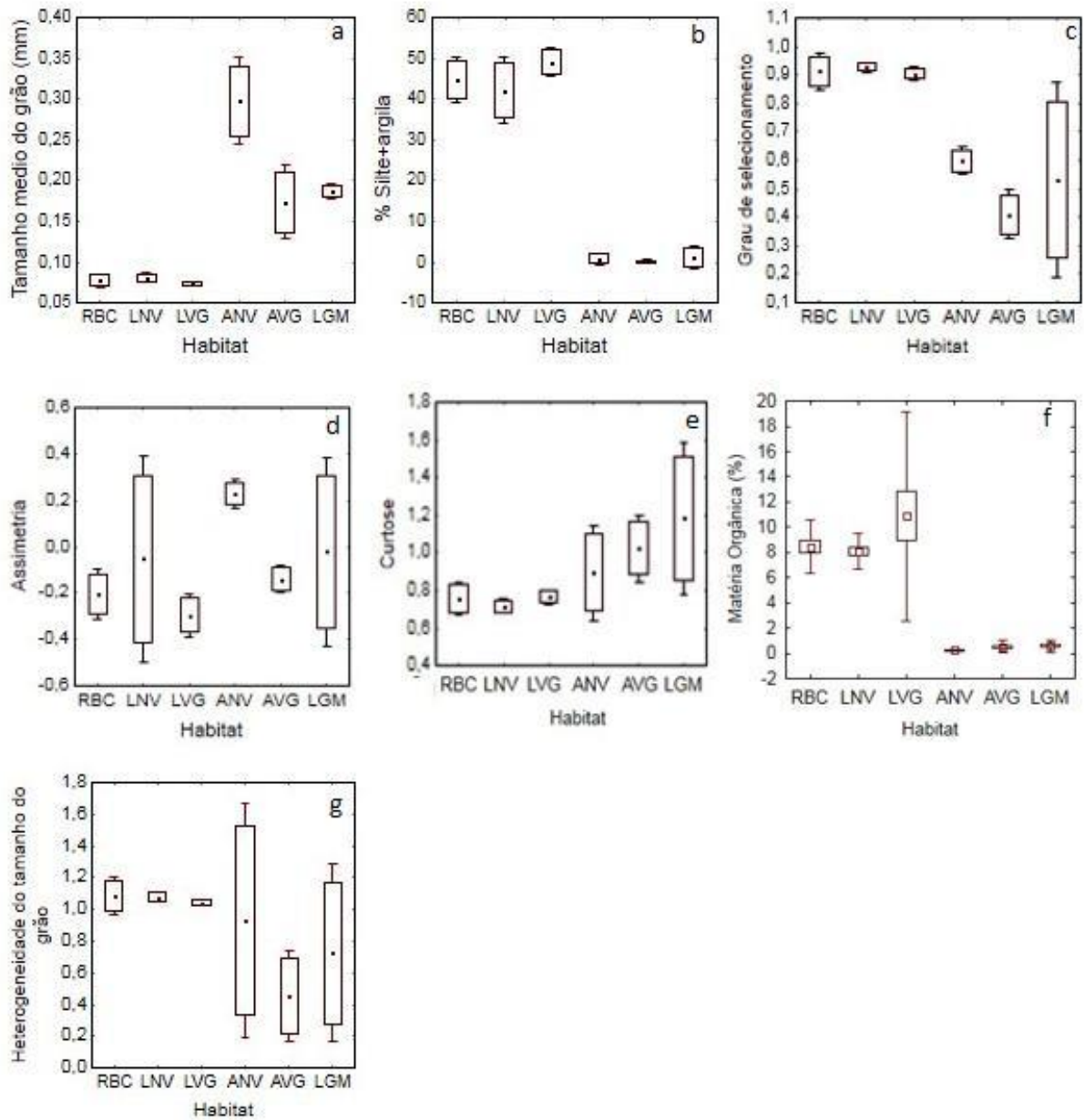
Nos habitats AVG e LGM os grãos de sedimentos foram bem selecionados, com valores médios para o grau de selecionamento de 0,38 e 0,47, respectivamente (fig. 2c). Os habitats ANV, RBC, LVG e LNV foram classificados como moderadamente selecionados com valores médios do grau de selecionamento dos grãos de 0,59, 0,91, 0,90 e 0,93, respectivamente (fig. 2c).

Os valores para a assimetria e curtose dos grãos de sedimento foram maiores nos habitats ANV e LGM, 0,25 e 1,37, enquanto os menores valores foram registrados nos habitats LVG e LNV, -0,33 e 0,70, respectivamente (fig. 2d, e).

Os maiores valores para o teor de matéria orgânica contido nos sedimentos (M.O) foram registrados nos habitats RBC, LNV e LVG (7,48 – 14,69 %), seguido pelos habitats AVG e LGM (0,43 – 0,78 %), sendo no habitat ANV registrado os menores valores (0,22 - 0,26 %) (fig. 2f).

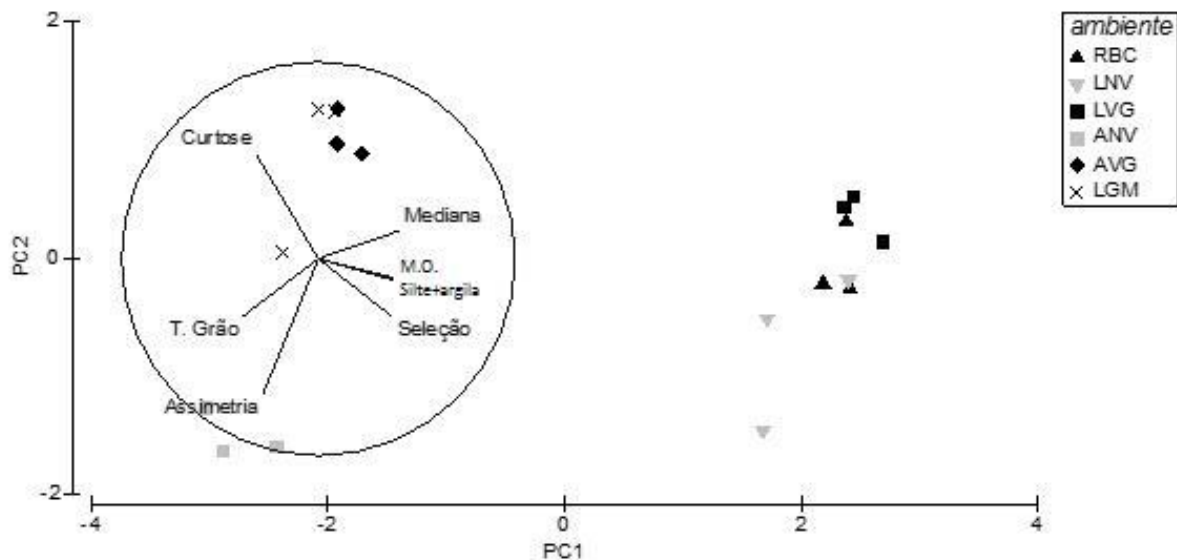
Os valores do índice de diversidade de Shannon, para o tamanho dos grãos foram mais elevados no ambiente RBC, LNV e LVG 1,08, enquanto os menores valores foram observados no habitat AVG (0,45).

**Figura 3 – Valores médios ( média, +-desvio padrão, intervalo de confiança de 95%) dos parâmetros do sedimento: a) tamanho médio do grão de sedimento (mm); b) proporção de silte+argila; c) selecionamento dos grãos; d) assimetria; e) curtose; f) teor de matéria orgânica (%); g) Heterogeneidade do tamanho do grão, para os habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**



Através da Análise dos Componentes Principais, PCA, aplicada aos dados dos parâmetros do sedimento foi possível observar que os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicaram 92,7% da variabilidade entre os habitats (fig. 3). O primeiro componente (PC1) separou os ambientes em dois grupos, os habitats RBC, LNV e LVG e os habitats ANV, AVG, LGM. As variáveis que apresentaram maior correlação com o PC1 foi a concentração de M.O (0,41), proporção de silte+argila (0,42), mediana (0,41) e seleção (0,38) dos grãos de sedimento (fig. 3). O segundo componente (PC2) foi responsável por 13,7% da variabilidade entre os habitats, sendo a curtose (0,53), a assimetria (-0,7) e o tamanho (0,3) dos grãos de sedimento, as variáveis que apresentaram maior a correlação com este componente (fig. 3).

**Figura 4 – Resultado da Análise dos Componentes Principais aplicada aos dados dos parâmetros do sedimento nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**

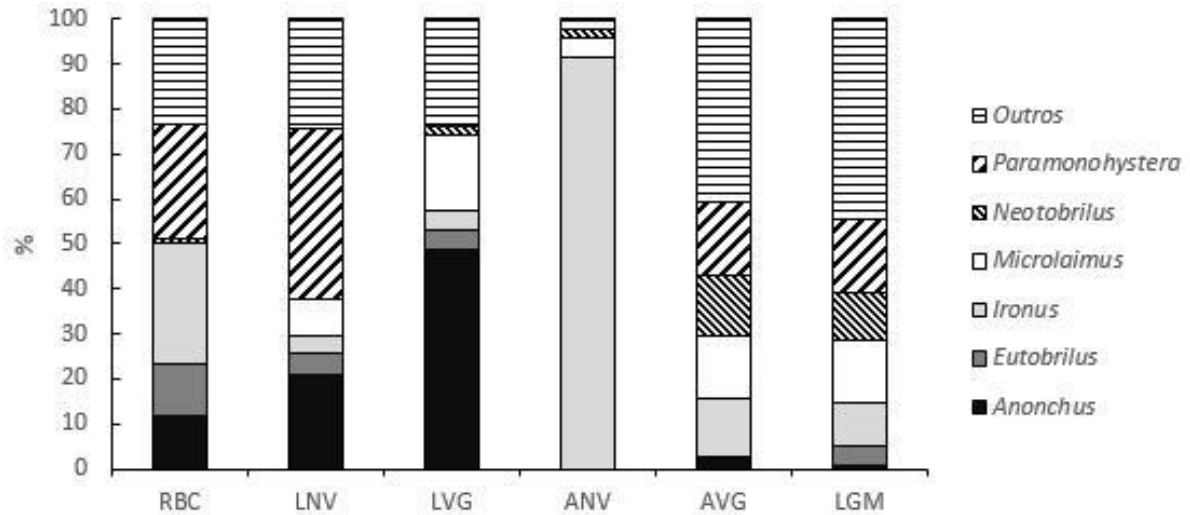


### 2.7.2 Assembleia de Nematoda

Foram registrados 39 táxons de Nematoda levando em consideração todos os habitats estudados, sendo 38 gêneros, além de indivíduos pertencentes à ordem Dorylaimida para os quais não foi possível a identificação em gênero.

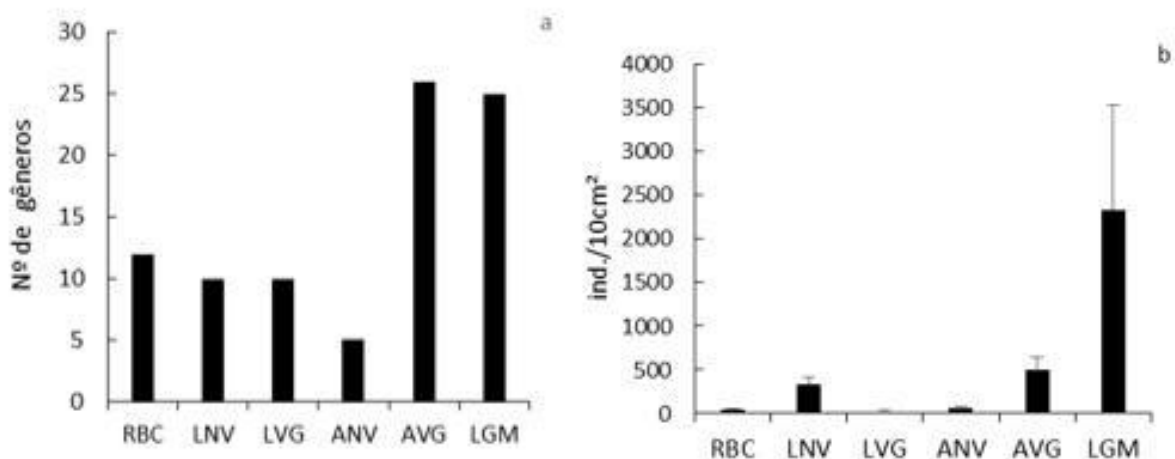
Dentre estes táxons, os gêneros, Anonchus, Ironus, Paramonohystera e Microlaimus foram os mais abundantes (fig.4). No habitat RBC os gêneros Ironus e Paramonohystera foram os mais representativos em termos de abundância relativa (52,26%), enquanto que em LNV os gêneros mais representativos foram Anonchus e Paramonohystera, com 59,12% da nematofauna deste habitat. Anonchus e Ironus representaram 49,21 e 91,67% da assembleia de Nematoda dos habitats LVG e ANV, respectivamente. As assembleias de Nematoda dos habitats AVG e LGM foram domi-nadas pelos gêneros Ironus, Microlaimus e Paramonohystera (fig.4).

**Figura 5 – Valores de abundância relativa dos gêneros de Nematoda mais representativos (abundância relativa > 35%) nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**



O maior valor para o número de gêneros foi registrado para o habitat AVG (26), e o menor para ANV (5) (fig. 5a). Os valores de densidade total dos Nematoda variaram entre 35,52 e 3803,8 ind./10cm<sup>-2</sup> para os habitats LVG e LGM, respectivamente (fig. 5b).

**Figura 6 – a) Número total de gêneros e b) densidade média total (±desvio padrão) dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**

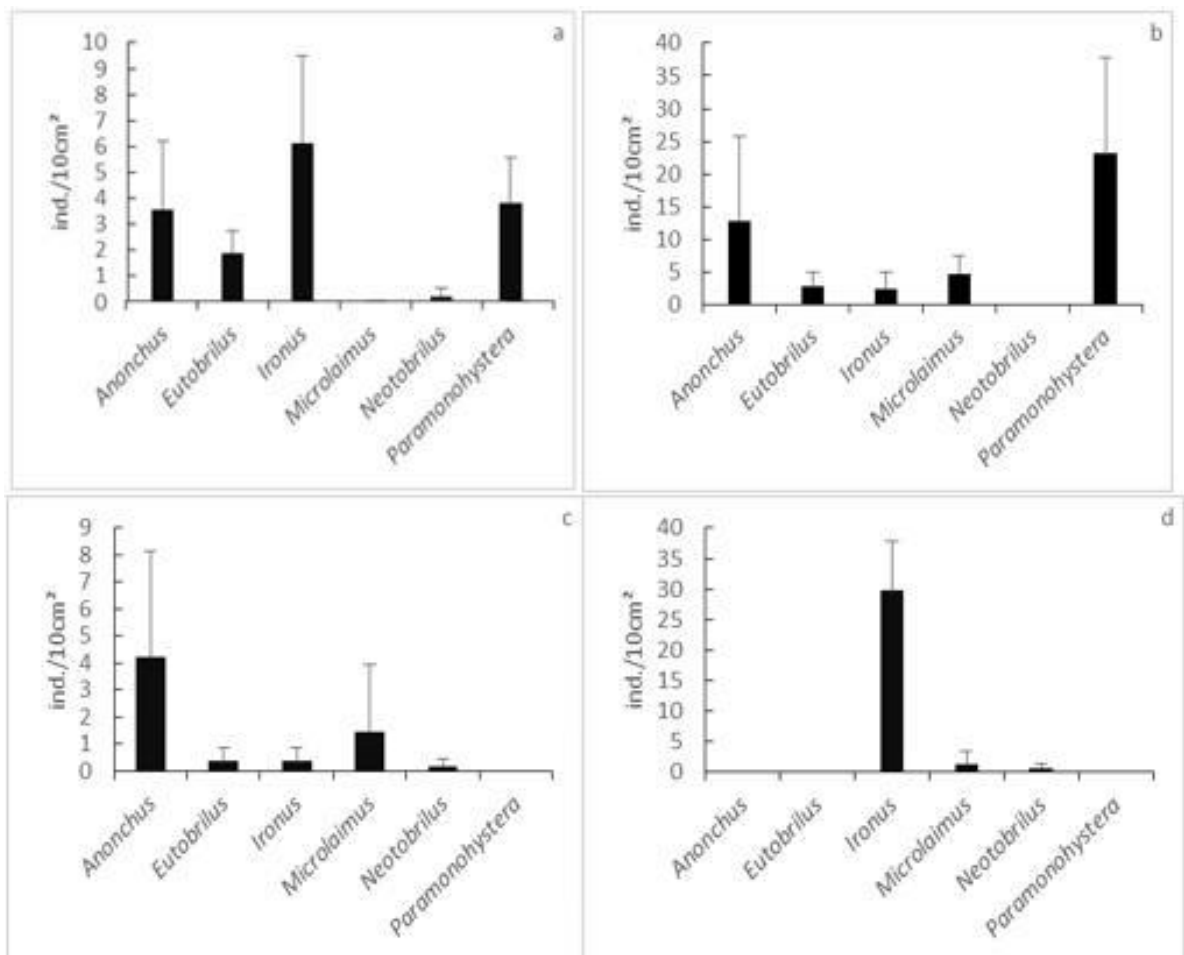


Após verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, foi possível observar a partir da ANOVA aplicada ao número gêneros de Nematoda diferenças significativas entre os habitats ( $F=19,56$ ,  $p<0,001$ ), sendo através do teste de tukey verificado que estas diferenças ocorreram entre os habitats AVG e LGM, e todos os outros habitats (valores de  $p<0,03$ ). A mesma análise foi realizada para a

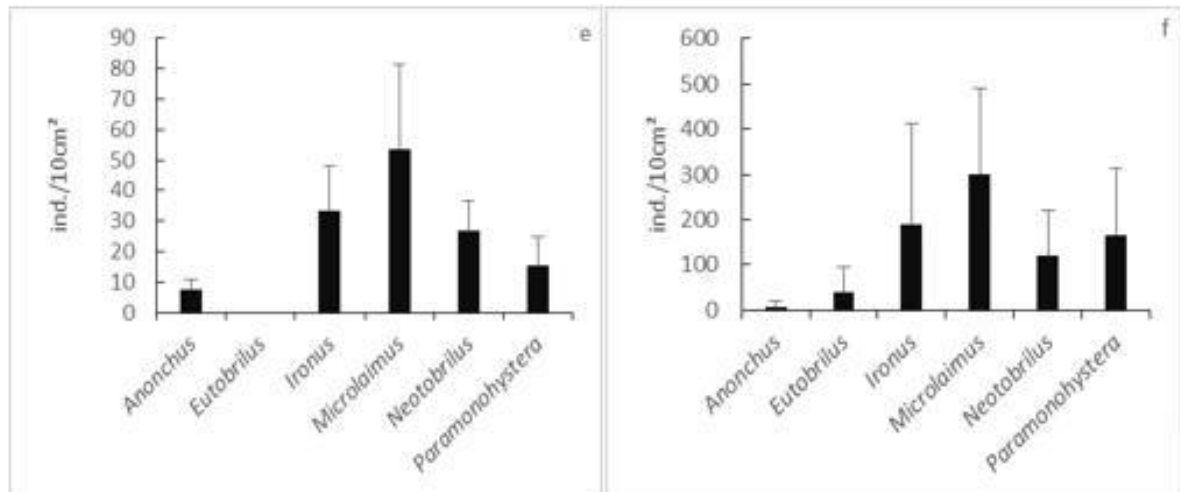
densidade total dos gêneros de Nematoda, onde também foi observado diferenças significativas entre os habitats ( $F=10,26$ ,  $p<0,001$ ), sendo evidenciado pelo teste de tukey que apenas o habitat LGM diferiu significativamente dos outros habitats estudados (valores de  $p<0,001$ ).

O maior valor médio de densidade dos gêneros por habitat foi observado para o gênero *Microalaimus*, 301,44 ind./10cm<sup>-2</sup> em LGM, sendo o gênero *Neotobrilus* responsável pelo menor valor, 0,18 ind./10cm<sup>-2</sup> (LVG) (fig.6 a,b,c,d,e,f). Apenas o gênero *Ironus* esteve presente em todos os habitats, com o menor valor de densidade média registrado no habitat LVG (0,36 ind./10cm<sup>-2</sup>) e o maior valor no habitat LGM, 190,23 ind./10cm<sup>-2</sup> (fig.6 a,b,c,d,e,f).

**Figura 7 – Valores de densidade média ( $\pm$ desvio padrão) dos gêneros de Nematoda mais abundantes nos habitats a) RBC (Rio Boa Cica), b) LNV (Lama Não Vegetada), c) LVG (Lama Vegetada), d) ANV (Areia Não Vegetada), e) AVG (Areia Vegetada) e f) LGM (Lagoas Marginais) (notar diferenças nas escalas).**

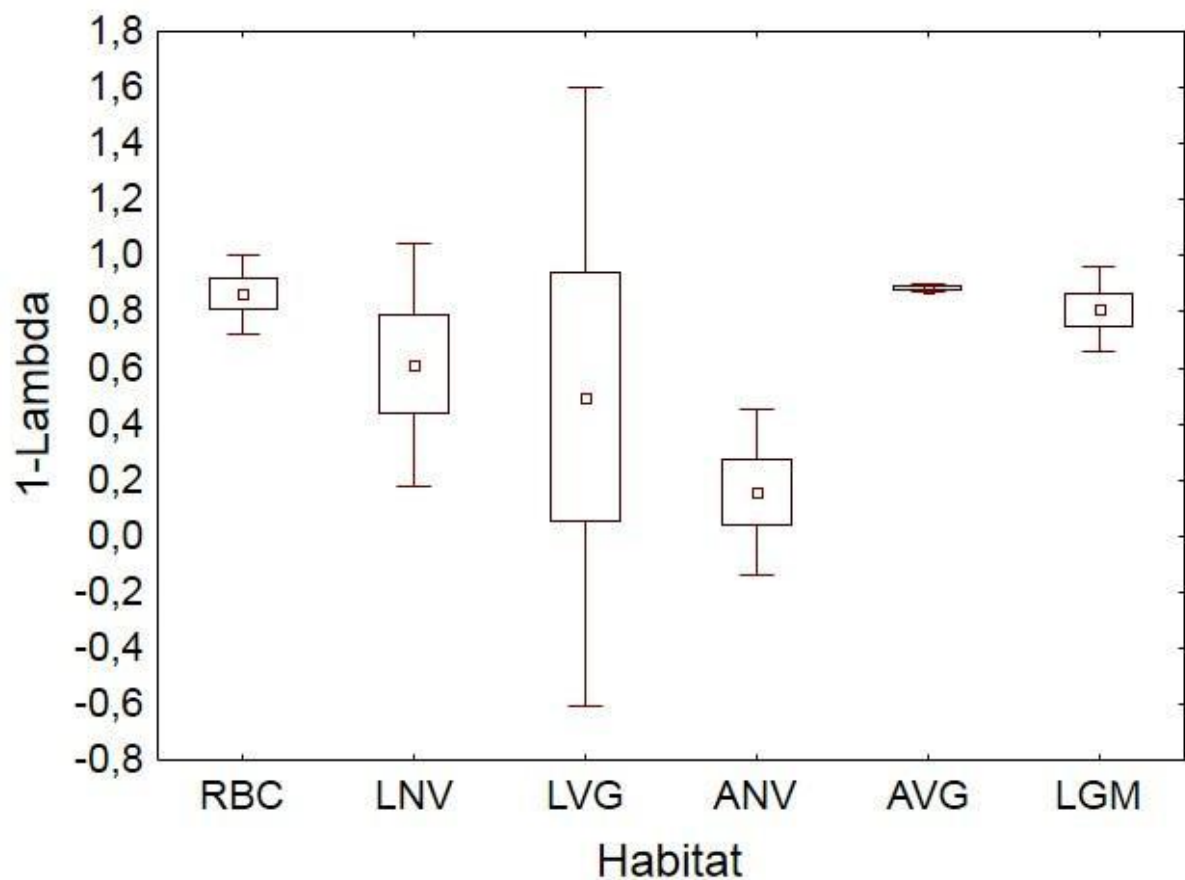






Os menores valores para o índice de diversidade de Simpson (1-lambda) foram registrados no habitat ANV, 0,03, enquanto os maiores valores foram encontrados nos habitats RBC, 0,90 (fig. 7).

**Figura 8 – Valores médios do índice ( média, +-desvio padrão, intervalo de confiança de 95%) de diversidade de Simpson ( $\lambda$ ) nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**

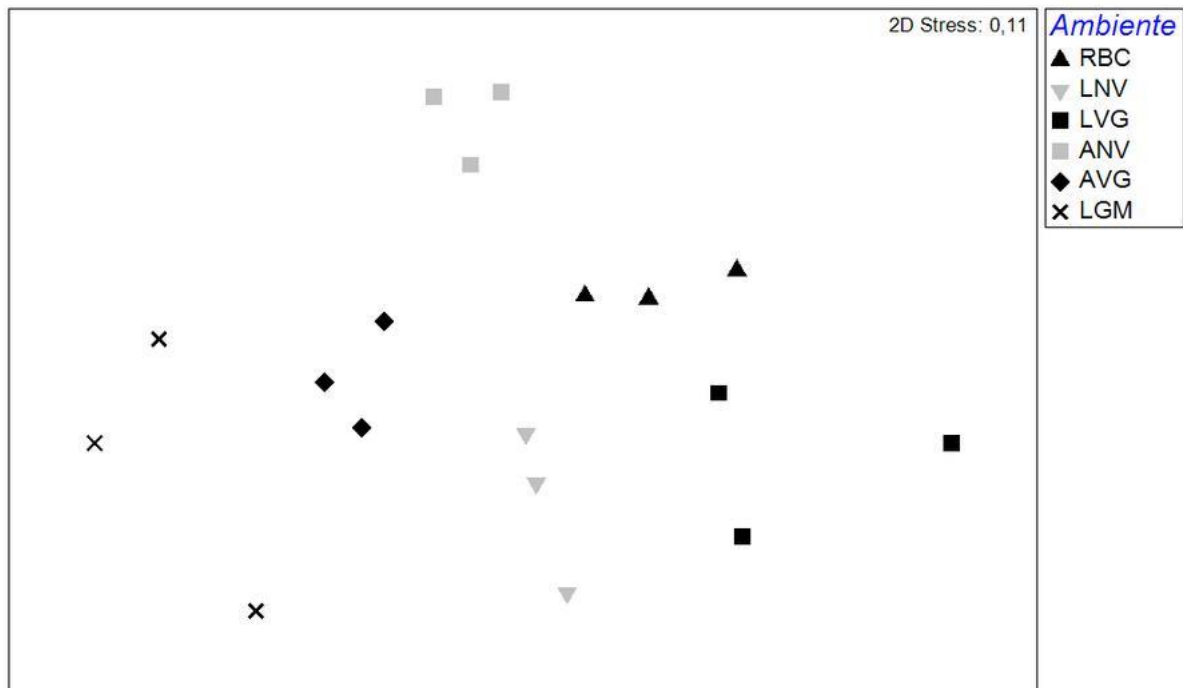


Após verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, foi

possível observar a partir da ANOVA aplicada a estes valores diferenças significativas apenas para o índice de diversidade ( $F=5,69$ ,  $p<0,006$ ), não sendo observadas diferenças no índice de equitabilidade entre os habitats estudados ( $F=2,88$ ,  $p=0,06$ ). Através do teste de tukey foi possível verificar que estas diferenças significativas ocorreram entre o habitat ANV e os habitats RBC ( $p=0,01$ ), AVG ( $p=0,008$ ) e LGM ( $p<0,01$ ).

Através da análise de escalonamento multidimensional aplicada aos valores de densidade dos gêneros de Nematoda em todos os habitats, foi observada uma tendência de separação das amostras dos diferentes habitats, formando assim seis grupos distintos (fig. 9).

**Figura 9 – Análise de escalonamento multidimensional não métrica (nMDS) utilizando os dados de densidade dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**



A partir da PERMANOVA realizada para os valores de densidade dos gêneros de Nematoda foi possível observar que estas tendências de dissimilaridade entre habitats são significativas ( $F=5,09$ ,  $p=0,01$ ). O teste pareado mostra diferenças significativas entre todos os habitats (tabela 01).

**Tabela 1 – Resultado da análise PERMANOVA para os valores médios da densidade dos gêneros de Nematoda entre os habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**

Habitats	Valor de p
RBC, LNV	0,03
RBC, LVG0	0,047
RBC, ANV	0,0002
RBC, AVG	0,001
RBC, LGM	0,002
LNV, LVG	0,003
LNV, ANV	0,001
LNV, AVG	0,001
LNV, LGM	0,001
LVG, ANV	0,001
LVG, AVG	0,001
LVG, LGM	0,001
ANV, AVG	0,001
ANV, LGM	0,001
AVG, LGM	0,001

Por meio dos valores obtidos através do índice de diversidade beta (Whittaker, 1960), foi possível observar baixos valores de diversidade beta entre as assembleias de Nematoda dos habitats RBC e LVG (0,27), RBC e LNV (0,45), e AVG e LGM (0,33) (Tabela 2). Enquanto que entre os habitats ANV e AVG, ANV e LGM, ANV e RBC foram registrados os maiores valores do índice de diversidade beta, 0,74, 0,66 e 0,64, respectivamente (Tabela 02).

**Tabela 2 – . Valores do índice de diversidade beta dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (Lama Não Vegetada), LVG (Lama Vegetada), ANV (Areia Não Vegetada), AVG (Areia Vegetada) e LGM (Lagoas Marginais).**

Habitats	Índice de Diversidade beta ( $\beta$ )
RBC, LNV	0,45

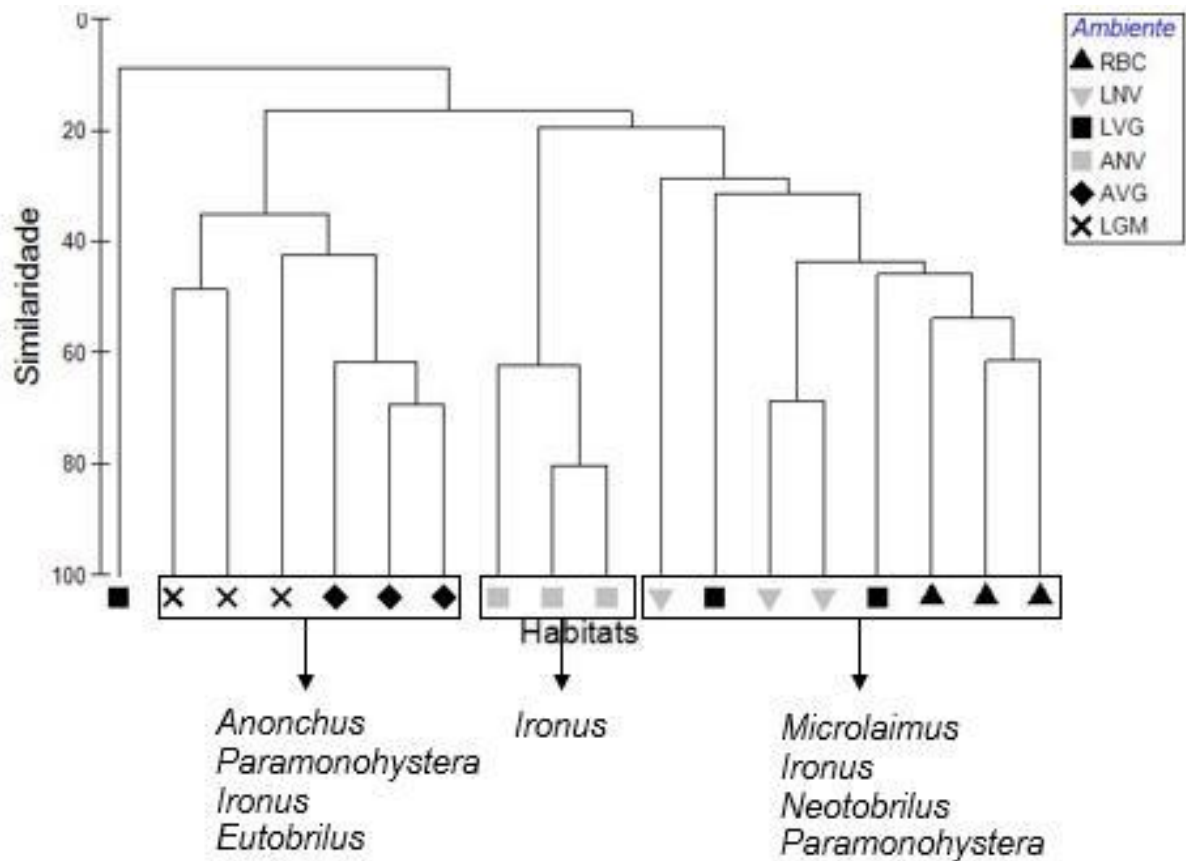
---

Habitats	Índice de Diversidade beta ( $\beta$ )
RBC, LVG	0,27
RBC, ANV	0,64
RBC, AVG	0,63
RBC, LGM	0,56
LNV, LVG	0,60
LNV, ANV	0,60
LNV, AVG	0,61
LNV, LGM	0,54
LVG, ANV	0,60
LVG, AVG	0,61
LVG, LGM	0,54
ANV, AVG	0,74
ANV, LGM	0,66
AVG, LGM	0,33

---

Utilizando uma análise de agrupamento do tipo cluster para os dados de densidade dos gêneros de Nematoda em todos os habitats, como uma medida multivariada da diversidade beta, foi possível observar a separação das amostras em três grupos, utilizando um corte de 20% de similaridade apenas: o grupo 1, composto pelos habitats LNV, LVG e RBC, o grupo 2, representado pelos habitats AVG e LGM, e o grupo 3, representado por ANV (fig. 10). Através da análise SIMPER foi possível verificar quais gêneros de Nematoda influenciaram estes grupos (fig. 10).

**Figura 10 – Diagrama obtido pela análise de cluster para os dados de densidade média dos gêneros de Nematoda nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (lama não vegetada), LVG (lama vegetada), ANV (areia não vegetada), AVG (areia vegetada) e LGM (lagoas marginais)**



Calculando o índice de diversidade beta entre estes grupos de habitats evidenciados pela análise de cluster, (fig. 10), foi observado que os menores valores de diversidade beta foram encontrados entre o grupo 1 e os grupos 2 e 3, 0,47 e 0,58, respectivamente. O valor do índice entre as assembleias dos grupos 2 e 3 foi de 0,7.

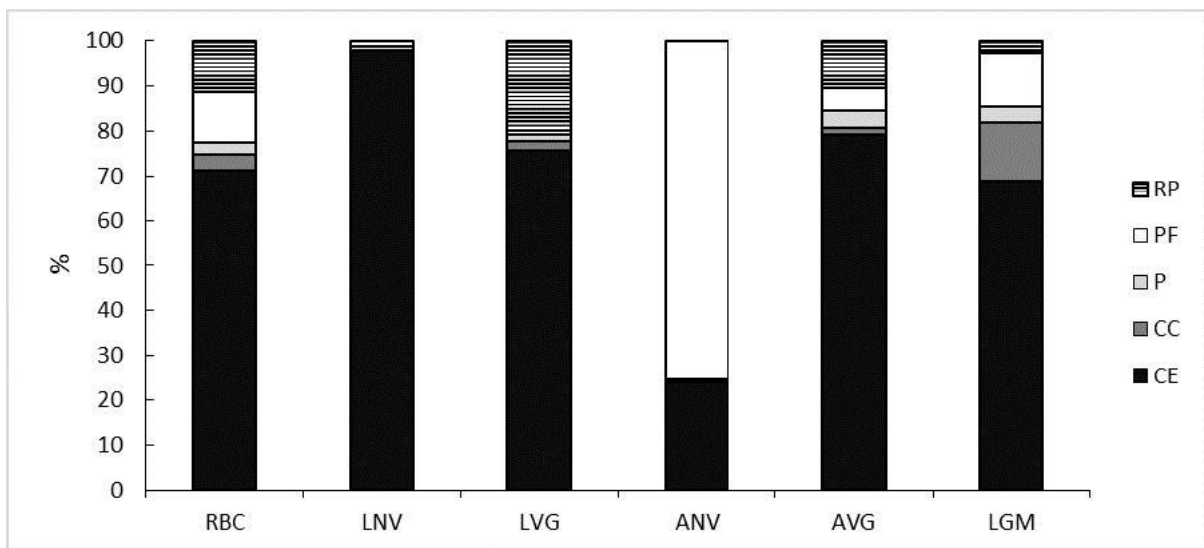
Por meio da análise BIOENV foi possível observar uma correlação entre os valores de densidade dos gêneros de Nematoda e as características do sedimento nos habitats estudados ( $r = 0,53$ ), sendo a concentração de matéria orgânica, o tamanho médio do grão, proporção de silte+argila e a curtose os fatores do ambiente sedimentar que mais influenciaram as variações nos valores de densidade da assembleia de Nematoda.

### 2.7.3 Grupos Tróficos

Em nenhum dos habitats estudados foram registrados os seis grupos propostos por Moens e Vincx (1997), sendo o maior número de grupos, 5, encontrado nos habitats RBC, LVG, AVG e LGM (fig. 10). Nos habitats LNV e ANV foram registrados apenas três grupos tróficos (fig. 8).

Os comedores de epistrato foram os mais abundantes em todos os habitats, exceto em ANV, onde não foi registrada a presença deste grupo. Os comedores de ciliados e os raspadores não ocorreram nos habitats LNV e ANV, sendo observados baixos valores de abundância relativa destes grupos nos outros habitats estudados. Os predadores e os predadores facultativos apresentaram menores valores de abundância relativa nos habitats LNV e LVG, enquanto os maiores valores foram registrados em AVG e ANV (fig.8).

**Figura 11 – Valores médios da abundância relativa dos grupos tróficos (RP: raspadores, PF: predadores facultativos, P: predadores, CC: comedores de ciliados e CE: comedores de epistrato nos habitats RBC (Rio Boa Cica), LNV (lama não vegetada), LVG (lama vegetada), ANV (areia não vegetada), AVG (areia vegetada) e LGM (lagoas marginais)).**



## 2.8 Discussão

A maior parte dos estudos de Nematoda em ambientes de água doce apresenta uma grande diversidade de métodos de coleta, processamento das amostras e número de amostras coletadas, o que torna muito difícil as comparações em relação a descritores, tais como densidade, diversidade e riqueza (HODDA, 2006, TRAUNSPURGER et al. 2006), os quais são extremamente dependentes da metodologia aplicada, e especialmente do esforço amostral. A tabela abaixo mostra os valores de riqueza de espécies, e em alguns casos gêneros, e densidade em diversos trabalhos realizados no mundo incluindo o presente estudo (tabela 03).

**Tabela 3 – Lista de estudos realizados em diferentes ambientes de água doce.**

Local	Abertura de malha ( $\mu\text{m}$ )	Método de extração	Densidade (Ind./10cm <sup>2</sup> )	Riqueza (Espécies)	Referência
<b>Rios</b>					
Alemanha	—	—	—	150	Niemann et al. (1996)
Alemanha	—	Cage	400-4100	41	Eisenmann et al. (1998)
Alemanha	35	—	28-1205	71-113	Beier e Traunspurger (2003)
Alemanha	35	—	2-25	3-73	Heininger et al. (2007)
Áustria	50-80	Bou-rouch	—	7	Danielopol (1976)
Áustria	—	Bou-rouch	—	51	Eder (1983)
Brasil	45	Corer	25-3800	38	Presente estudo
Áustria	—	Freeze corer	1-90	—	Tockner and Bretschko (1996)
Espanha	50	—	1900	6	Gaudes et al (2006) (Perifiton)
Etuópia	—	Corer	—	4-10	Eyualem-Abebe et al. (2001)

Local	Abertura de malha ( $\mu\text{m}$ )	Método de extração	Densidade (Ind./10cm <sup>2</sup> )	Riqueza (Espécies)	Referência
França	40	—	36-1614	28	Madji et al. (2011) (Perifiton)
Itália	35	Manual shovel	1-238	15-24	Barbuto e Zullini (2005)
Itália	30	Seringa	—	90	Zullini et al (2010)
Suécia	—	Corer	5-17700	40	Bongers and Van der Haar (1990)
Suécia	35	—	386-4137	41	Eisenmann et al. (1998)
Taiwan	—	—	1-2720	28	Wu et al. (2010)
USA	48	Bou-rouch	—	13	Pennak and Ward (1986)
USA	50	Grab	80-940	23	Anderson (1992)
USA	63	Corer	12-3600	—	Jordan et al. (1999)
<b>Lagos</b>					
Alemanha	40	Kajak Corer	10-81	17-32	Traunspurger (1991)
Alemanha	35	Corer	0-153,8	26-67	Traunspurger (2001)
Alemanha	35	Corer	157-746	41	Bergtold and Traunspurger (2004)
Alemanha	35	Corer	17-5018	24-47	Michiels and Traunspurger (2005)



Local	Abertura de malha ( $\mu\text{m}$ )	Método de extração	Densidade (Ind./10cm <sup>2</sup> )	Riqueza (Espécies)	Referência
Alemanha	35	Corer	145-3714	152	Michiels and Traunspurger (2004)
Alemanha	35	—	157	48-373	Ristau e Traunspurger (2011)
Alemanha	—	Corer	121-165	—	Witthöft-Mühlmann et al (2006)
Alemanha	35	—	87	150	Traunspurger et al. (2012)
Suécia	10	—	18360	—	Schroeder et al. (2012)
Austria	35	Corer	90-11397	33-75	Michiels and Traunspurger (2005)
Brasil	63	Corer	—	—	Flach et al. (2012)
Etiópia	—	Corer	26,5-231	1-21	Eyualem-Abebe et al. (2001)
USA	—	Corer	750-1300	20	Strayer (1985)

A partir da observação da tabela 03, percebe-se que são poucos os estudos realizados em regiões tropicais, sendo em sua maioria localizados em regiões temperadas, em geral em países da Europa. Os valores de densidade dos Nematoda nos ambientes de água doce apresentam grandes variações (TRAUNSPURGER, 2014), sendo registrados valores de 2,3 (HEININGER et al 2007) a 18.330 ind./10cm<sup>2</sup> (Schroeder et al. 2012). Em geral, observa-se que as assembleias de Nematoda apresentam valores de densidade que não ultrapassam 2000 ind./10cm<sup>2</sup> (tabela 03), sendo pouco os estudos que registraram valores de densidade similares ao encontrado para a assembleia de Nematoda estudada.

Dentre todos os estudos citados na tabela 03 apenas o de Pennak & Ward (1986) para os Estados Unidos e o de Traunspurger (1991) para a Alemanha foram realizados utilizando uma peneira de abertura de malha similar a utilizada no presente trabalho, e sendo assim, passível de comparação. Os valores de densidade encontrados no baixo São Francisco foram consideravelmente maiores do que a dos locais estudados pelos autores assim como o número de gêneros encontrados aqui também foi maior,

porém o trabalho de Pennak and Ward (1986) e o de Traunspurger (1991) diz respeito a Nematoda de águas subterrâneas e de lagos profundos (98 metros), respectivamente.

Com relação as famílias dominantes, as mais comuns em ambientes de água doce são Monhysterida, Chromadorida, Plectida, Araeolaimida, Desmodorida, Enoplida, Triplonchida and Dorylaimida, e em relação aos gêneros pode-se citar Eumonhystera, Monhystera, Daptonema, Achromadora, Chromadorina, Aphanolaimus, Ironus, Tobrilus, Dorylaimus (TRAUNSPURGER, 2014). Composição similar das famílias de Nematoda foi encontrada no baixo São Francisco, não sendo registrados apenas representantes das famílias Plectida e Araeolaimida. Apesar da maioria das famílias citadas terem ocorrido no baixo São Francisco, essas foram representadas por uma composição de gêneros diferentes, sendo no nosso estudo os gêneros Anonchus, Eutobrilus, Neotobrilus, Ironus, Microlaimus e Paramonhystera os mais abundantes. De maneira geral, a carência de estudos de Nematoda de água doce (em especial em regiões tropicais) torna difícil o entendimento das tendências da estrutura das assembleias de Nematoda nesses habitats (TRAUNSPURGER, 2014).

Observando os resultados encontrados para os 6 habitats estudados, os quais foram selecionados através de observações visuais in situ em relação a presença/ausência de vegetação, tipo de sedimento predominante e localização/dinâmica, observa-se que os maiores valores de densidade foram registrados no habitat LGM (areia fina), enquanto os menores valores ocorreram nos habitats RBC e LVG (areia muito fina).

Em geral, a granulometria do sedimento possui elevada influencia na abundancia dos gêneros de Nematoda (TRAUNSPURGER, 2000), sendo observado um aumento da abundância dos organismos bentônicos em direção a ambientes com sedimento mais fino, e conseqüentemente, com maior disponibilidade de nutrientes (HEIP et al. 1992). Desta forma, se esperava que nos habitats estudados aqui, os maiores valores de densidade fossem registrados para os locais classificados como areia muito fina (RBC, LNV e LVG), e os menores no habitat classificado como areia média (ANV). Além disto, habitats com diferente tamanho médio de grão apresentaram valores de densidade similares. Este fato permite concluir que a densidade dos Nematoda não apresentou uma relação direta com o gradiente de tamanhos de grão de sedimento, demonstrando que a densidade da assembleia de Nematoda estudada foi influenciada por outros fatores além da granulometria e da proporção de M.O.

Tendo em vista que rios e lagoas, diferem quanto a sua morfologia, hidrodinâmica e grau de comunicação com o rio principal (THOMAZ et al., 1997), é possível que os maiores valores de abundancia dos Nematoda nas lagoas marginais (LGM), possam estar relacionados com um conjunto de outros parâmetros ambientais que influenciam a abundancia dos Nematoda, como a disponibilidade de oxigênio (Vieira e Fonseca 2013), abundância e composição de espécies da macrofauna (BRAECKMAN

et al. 2011) e a hidrodinâmica do habitat (TRAUNSPURGER, 2000). Valores similares ao registrado no presente estudo foram encontrados em outros ambientes lóticos, como lagos (MICHIELS e TRAUNSPURGER, 2004, 2005, TRAUNSPURGER et al, 2012) e lagoas (FLACH et al 2012).

Apesar dos valores de densidade das assembleias de Nematoda na região de estudo não terem respondido ao gradiente de tamanho dos grãos de sedimento em cada habitat, as análises multivariadas do tipo nMDS e Permanova aplicadas aos dados de densidade dos gêneros de Nematoda, que leva em consideração tanto composição quanto abundância das assembleias, indicam diferenças significativas entre todos os 6 habitats, sendo essas diferenças relacionadas a concentração de matéria orgânica, o tamanho médio do grão, proporção de silte+argila e a curtose do sedimento, como indicado pela análise BioEnv.

Analisando os resultados dos parâmetros do sedimento através da PCA, observou-se que, apesar dos habitats apresentarem características limnológicas e morfológicas distintas, eles possuem características do ambiente sedimentar similares, que os separam em três grupos: grupo 1, composto pelos habitats RBC, LNV e LVG, o grupo 2, composto pelos habitats AVG e LGM, e o grupo 3, formado pelo habitat ANV.

O grupo 1, foi dominado por sedimento muito fino e apresentou os maiores valores de selecionamento, percentual de finos e teor de matéria orgânica entre os habitats estudados. O grupo 2, representa um habitat sedimentar com predominância de grãos finos, porém, com menor percentual de silte+argila e teor de matéria orgânica que o grupo anterior, sendo classificado como areia fina. O grupo 3, apesar de apresentar valores de percentual de finos e teor de matéria orgânica, similares ao grupo 2, parece ter características sedimentares que o diferenciam de todos os outros habitats, apresentando os maiores valores do tamanho do grão, sendo classificado em areia média.

Ao calcular a diversidade beta entre estes habitats, observa-se que os menores valores foram obtidos entre os habitats RBC e LVG, RBC e LNV, e AVG e LGM, desta forma indicando maior sobreposição de gêneros nestes habitats e assembleias com um certo grau de similaridade. Enquanto que, entre o habitat ANV e os habitats AVG, LGM, e RBC foram observados os maiores valores de diversidade beta.

Através da análise de cluster aplicada aos dados de presença e ausência dos gêneros de Nematoda, a partir de uma matriz de similaridade utilizando o índice de bray-curtis, como uma medida multivariada de similaridade beta, observa-se a formação de 3 grupos de habitats: o grupo 1 que junta os habitats RBC, LNV e LVG, o grupo 2 formado pelos habitats AVG e LGM e o grupo 3 composto pelo habitat ANV, sendo estes os mesmos grupos formados utilizando os parâmetros do sedimento.

Os habitats do grupo 2, apresentaram os maiores valores de diversidade alfa entre os habitats estudados, sendo a assembleia de Nematoda destes habitats caracterizadas pelos maiores valores de equitatividade e riqueza de gêneros (34 gêneros). O grupo 1, foi representado por valores intermediários de diversidade, equitatividade e riqueza de gêneros, sendo observada a ocorrência de 15 gêneros de Nematoda neste grupo. O grupo 3, foi o responsável pelos menores valores de diversidade alfa, sendo a assembleia deste habitat caracterizada por uma baixa riqueza, e elevada dominância, sendo observada a ocorrência de apenas 5 gêneros.

É possível que a ocorrência dos maiores valores do número de gêneros no grupo 2, ocorra devido a habitats com grãos de sedimento com tamanho intermediário possuir espaços intersticiais adequados para a maioria dos Nematoda se locomover (NICHOLAS, 1984), independente de sua forma e tamanho. Enquanto o baixo número de gêneros no habitat ANV, possivelmente está sendo influenciado por outros fatores além da granulometria, tais como as valores mais baixos de matéria orgânica, indicando menor disponibilidade de alimento, ou ainda competição interespecífica. Durante as tri-agens das amostras deste habitat foi observada a presença de Oligochaeta em elevado número, em todas as amostras. É possível que estes organismos estejam competindo com os Nematoda pelos mesmos recursos alimentares (BEIER e TRAUNSPURGER 2001), como também por espaço.

A assembleia de Nematoda do grupo 1 foi dominado pelos gêneros Anonchus, Paramonohystera, Eutobrilus e Ironus, enquanto Microlaimus, Ironus, Neotobrilus e Paramonohystera foram os gêneros mais representativos no grupo 2. O grupo 3 foi dominado pelo gênero Ironus, sendo este responsável por cerca de 90% da assembleia de Nematoda deste grupo. A ocorrência de gêneros similares em assembleias de Nematoda em ambientes de água doce já foi registrado em outros estudos (ANDERSON et al. 1992, EYUALEM-ABEBE et al. 2001, BARBUTO e ZULLINI, 2005), como o que foi observado no rio Mississipi (USA), onde Ironus foi um dos gêneros mais abundantes (ANDERSON et al. 1992).

A elevada dominância do gênero Ironus é observada em diversos ambientes de água doce, mostrando ser um gênero típico deste habitat (TRAUNSPURGER 2000). Apesar de não ter sido dominante em todos os grupos, Ironus compôs os gêneros mais representativos nestes habitats, Este resultado pode ser explicado pela elevada versatilidade que este gênero possui em residir habitats de água doce (TRAUNSPURGER e DREWS, 1996, BARBUTO e ZULLINI, 2005), sendo encontrados em condições adversas, habitando córregos alpinos (ZULLINI et al. 2011), lagos com diferentes níveis tróficos (KAZEMI-DINAN et al. 2014) e produtividade primária (WU e LIANG, 1999), e em rios poluídos (HEININGER et al. 2007).

O gênero *Microlaimus* ocorre em uma diversidade de habitats com diferentes características abióticas (VANREUSEL et al 2010), sendo registrado em ambientes de água doce (BONGERS e VAN de HAAR, 1990) e ambientes marinho, ocorrendo desde a plataforma continental até regiões abissais (VANHOVE et al 2004). Em rios, foi observada a dominância do gênero *Microlaimus* em ambientes com altos valores de produtividade primária e do teor de oxigênio (BONGERS e VAN de HAAR, 1990). A dominância do gênero *Microlaimus* nos habitats classificados como areia fina (grupo 1), foi também observada em ambientes marinhos, sendo este gênero dominante em habitats com a mesma classificação granulométrica (FONSECA et al. 2014), independente da salinidade, demonstrando que gêneros diferentes podem responder de forma diferente as características sedimentares, sendo muito dependentes das mesmas, assim como *Microlaimus* ou menos, como *Ironus*.

Os gêneros da família Tobrilidae, são importantes membros de ambientes lóticos (ANDERSON, 1992; BAZZANTI, 2000), sendo encontrados em ambientes poluídos e não poluídos (ZULLINI de 1974, 1976; EDER e KIRCHENGAST, 1982; OCAÑA e PICAZO, 1991). A maior ocorrência de gêneros desta família nos habitats com predominância de sedimentos finos (RBC, LNV e LVG), já foi registrada por outros autores em ambientes similares (BEIER e TRAUNSPURGER, 2003).

Tendo em vista as variações nos descritores da assembleia de Nematoda, como a diversidade, equitatividade e composição de gêneros, foi observado que os habitats pertencentes ao grupo 2, foram os que mais contribuíram para a diversidade do sistema límnico do baixo São Francisco apresentando maior diversidade alfa, equitatividade e riqueza de gêneros dentre os grupos estudados. O grupo 3 apresentou a menor contribuição para a manutenção da diversidade do sistema, com assembleias dominadas por um único gênero, e baixos valores de diversidade e riqueza.

## 2.9 Conclusão

A partir dos resultados, pode-se observar que, apesar dos ambientes estudados apresentarem diferentes níveis de heterogeneidade ambiental, com características morfológicas e hidrodinâmicas distintas, e a presença ou ausência de vegetação, eles apresentaram assembleias de Nematoda similares. Desta forma, pode-se concluir que habitats com características ambientais diferentes, podem ter a mesma importância para manutenção da diversidade do sistema.

Com relação a influência que a diversidade sedimentar causa na estrutura multivariada da assembleia de Nematoda, foi possível concluir que características do sedimento, como proporção de silte+argila, tamanho médio, assimetria, curtose e grau de selecionamento dos grãos de sedimento possuem influência direta na estrutura das assembleias de Nematoda estudadas.

## 2.10 Referências

- ANDERSON R. V. Free-living nematode associations in Pool 19, Mississippi River. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 7, n. 3, p. 243-250, 1992.
- AUSTEN, M. C. et al. Biodiversity links above and below the marine sediment-water interface that may influence community stability. **Biodiversity & Conservation**, v. 11, n. 1, p. 113-136, 2002.
- ALDEAN, N., et al., Lotic ecosystems of Serra do Cipó, Southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Journal of Aquatic Ecosystem Health & Restoration**, v.3: p.545-552, 2000.
- BARBOSA, F. A. R.; RYLANDS, A. B.; OLIVEIRA, S. J. Drastic decrease in algal diversity caused by human impact on an urban lake in south-east Brazil. **Verhandlung Internationale Vereinigung für Limnologie**, Stuttgart. v. 25, p. 939-941, 1993.
- BARBUTO, M.; ZULLINI, A. The nematode community of two Italian rivers (Taro and Ticino). **Nematology**, v. 7, p. 667–675, 2005.
- BARNES, N. et al. Meiofauna in closed coastal saline lagoons in the United Kingdom: structure and biodiversity of the nematoda Assemblage. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 79, n. 2, p. 328-340, 2008.
- BALVANERA, P., et al., Conserving biodiversity and ecosystem services. **Science**, v. 291: p.2047–2047, 2001.
- BAZZANTI, M. Macrobenthic nematodes as a biological indicators in a Mediterranean lowland river in Central Italy: a case study. **Archiv für Hydrobiologie** v.148, p.59-70, 2000.
- BEGON, M.; HARPER, J.L; TOWNSEND, C.R. Ecology: from Individuals to Ecosystems, **Blackwell Science, Oxford**, v.4, p.602-633, 2006.
- BEIER S.; TRAUNSPURGER W. The meiofauna community of two small German streams as indicators of pollution. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**; v. 8: p.387–405, 2001.
- BEIER, S.; TRAUNSPURGER, W. Seasonal distribution of free-living nematodes in the Krähenbach, a fine-grained submountain carbonate stream in southwest Germany. **Nematology** v. 5, p. 113–136, 2003.
- BERGTOLD, M.; TRAUNSPURGER, W. The benthic community in the profundal of Lake Brunnsee: seasonal and spatial patterns. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 160, n. 4, p. 527-554, 2004.
- BONGERS, T.; VAN DE HAAR, J. On the potential of basing an ecological typology of aquatic sediments on the nematode fauna: An example from the River Rhine.

**Hydrobiological Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 37–45, 1990.

BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A. **Catálogo dos peixes marinhos e de água doce do Brasil**.

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

CLARKE K.R., WARWICK R.M. Changes in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation. **Plymouth: Plymouth Marine laboratory**, p 144. 1994.

CORGOSINHO, P. H. C. et al. Diversidade de habitat e padrões de diversidade e abundância de bentos ao longo de um afluente do reservatório de Três Marias , MG. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 71, p. 227–232, 2004.

DANIELOPOL, D. L. The distribution of the fauna in the intrstitial habitats of riverine sediments of the Danube and the Piesting (Austria). **International Journal of Speleology**, v.8, p. 23-51, 1976.

DE LEY, P.; DECRAEMER, W.; EYUALEM-ABEBE. Introduction: Summary of Present Knowledge and Research addressing the Ecology and Taxonomy of Freshwater. **Eds Eyuaelem-Abebe et al, 2006: p.3–31, 2006.**

EDER R, KIRCHENGAST M. The nematode-fauna (Nemathelminthes, Nematoda) of a polluted part of the river Mur (Styria, Austria). **Nematologia Mediterr** v.10: p.127–34, 1982.

EDER, R. Nematoden aus dem Interstitial der Donube bei Fischamend (Nieder osterr eich). **Archiv für Hydrobiologie Suppl** v. 68, p. 100-113, 1983.

EISENMANN, H.; TRAUNSPURGER, W.; MEYER, E. Community structure of selected micro- and meiobenthic organisms in sediment chambers from a prealpine river (Necker, Switzerland). In: Bretschko, G and Helesic, J (eds) **Advances in River Bottom Ecology**, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, p. 155-162, 1998.

ELMGREN, R. Baltic benthos communities and the role of meiofauna. **Contr. Askö Lab. Univ. of Stockholm, Sweden**, v. 14: p.1-31, 1976.

ESTEVES, F.A.; SCARANO F. R.; FURTADO, A.L.S. Restingas e lagoas costeiras do norte fluminense. In: U. Seeliger, C. Cordazzo e R. Barbosa (eds.). **Os sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração**. p. 83- 100. 2002.

ETTER R.J.; GRASSLE F.J. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. **Nature**, v. 360, p. 576 –578 1992.

- EYUALEM ABEBE; DECRAEMER, W.; DE LEY, P. Global diversity of nematodes (Nematoda) in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 67–78, 2008.
- EYUALEM-ABEBE; MEES, J.; COOMANS, A. Nematode communities of Lake Tana and other inland water bodies of Ethiopia. *Hydrobiology* v.462, p.41-73, 2001.
- FLACH, P. Z. S.; OZORIO, C. P.; MELO, A. S. Alpha and beta components of diversity of freshwater nematodes at different spatial scales in subtropical coastal lakes. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*, v. 180, p. 249–258, 2012.
- FLEEGER, J. W.; DECHO, A. W. Spatial variability of interstitial meiofauna: a review. **Stygobiologia** v.3: p.35–54, 1987.
- FLEEGER, J. W.; GRIPPO, M. A.; PASTORICK, S. T. What is the relative importance of sediment granulometry and vertical gradients to nematode morphometrics? **Marine Biology Research**, v. 7, p. 122–134, 2011.
- FOLK, R. C.; W. C. WARD. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology** v.27: p.3-27, 1957.
- FONSECA, G. et al. Testing for nematode-granulometry relationships. **Marine Biodiversity**, 2014.
- FRANCISCO, W. et al. Quantificação Preliminar Do Aporte De Sedimentos No Baixo São Francisco e Seus Principais Impactos. p. 1–14, 2008.
- GAUDES, A. et al., I. The nematode community in cyanobacterial biofilms in the river Llobregat, Spain. **Nematology** v. 8: p.909 – 919, 2006.
- GERLACH, S.A. Food-chain relationships in subtidal silty sand marine sediments and the role of meiofauna in stimulating bacterial productivity. **Oecologia** v.6, p.176-190, 1978.
- GALDEAN, N. et al., Lotic ecosystems of Serra do Cipó, Southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Journal of Aquatic Ecosystem Health & Restoration**, v.3: p.545-552, 2000.
- GIERE, O. Meiobenthology. **Berlin, Germany, Springer Verlag**, v.2, p.527 1993.
- HEIP, C.; VINCX, M.; VRANK. The ecology of marine nematodes. **Oceanography and Marine Biology - An Annual Review**.,v.23,p.399—489 1985.
- HEIP C, et al., Trends in biomass, density and diversity of North Sea macrofauna. *ICES Journal of Marine Science* v. 49: p.13–22, 1992
- HEININGER, P., et al., Nematode communities in contaminated river sediments. **Environmental Pollution**. v. 146: p.64 – 76, 2007.



HUSTON, M. A. Biological Diversity. **Cambridge University Press, Cambridge**. 1994.

JENSEN, P. Differences in microhabitat, abundance, biomass and body size between oxybiotic and thiobiotic free-living marine nematodes. **Oecologia**, v. 71, p. 564–567, 1987.

JORDAN, S.; SHIOZAWA, D. K.; SCHMID-ARAYA, J. M. Benthic invertebrates of a large, sandy river system: the Green and Colorado Rivers of Canyonlands National Park, Utah. **Archiv fur Hydrobiologic** v.147,p. 91-127, 1999.

KAZEMI-DINAN, A. et al. The effect of trophic state and depth on periphytic nematode communities in lakes. **Limnologica**, v. 44, p. 49–57, 2014.

LEDUC, D. et al. Further evidence for the effect of particle-size diversity on deep-sea benthic biodiversity. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 63, p. 164–169, 2012.

LEWINSOHN, T.M.; P.I. PRADO. Biodiversity of Brazil: a synthesis of the current state of knowledge. In: T.M. Lewinsohn & P.I. Prado (eds.). Biodiversidade brasileira: síntese do estado do conhecimento atual. **Contexto Acadêmica, São Paulo**, p. 139-144, 2002.

LOSI, V. et al. Nematode biomass and allometric attributes as indicators of environmental quality in a Mediterranean harbour (Ligurian Sea, Italy). **Ecological Indicators**, v. 30, p. 80–89, 2013.

MAJDI, N., et al.: Response of biofilm-dwelling nematodes to habitat changes in the Garonne River, France: influence of hydrodynamics and microalgal availability. **Hydrobiologia** v.673: p.229 – 244, 2011.

MAGALHÃES, C. Crustáceos decápodos. In: D. Ismael, W.C. Valentini, T. Matsumura-Tundisi & O. Rocha (eds.). Biodiversidade do estado de São Paulo, Brasil: invertebrados de água doce. **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), São Paulo**, p. 125-133, 1999.

MARQUES, M. M.; BARBOSA, F. A. R. Biological quality of waters from an impacted tropical watershed (middle Rio Doce basin, Southeast Brazil) using benthic macroinvertebrate communities as an indicator. **Hydrobiologia** v.457: p.69-76, 2001.

MARTINELLI, L.A. et al. Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do estado de São Paulo. **Biota Neotropica** v.2: p.1-18, 2002.

MICHIELS, I. C.; TRAUNSPURGER, W. A three year study of seasonal dynamics of a zoobenthos community in a eutrophic lake. **Nematology** v. 6: p.655–669, 2004.

MICHIELS, I. C.; TRAUNSPURGER, W. Impact of resource availability on species

- composition and diversity in freshwater nematodes. **Oecologia**, v. 142, p. 98–103, 2005.
- MOENS, T.; VINCX, M. Observations on the feeding ecology of estuarine nematodes. **Journal Marine Biology Association. U.K.**, v.77: p.211-227, 1997.
- MOENS, T.; VERBEECK, L.; VINCX, M. Feeding biology of a predatory and a predatory nematode (*Enoploides longispiculosus* and *Adoncholaimus fuscus*). **Marine Biology**, v. 134, p. 585–593, 1999.
- MORENO, C.E.; G. HALFFTER. Spatial and temporal analysis of the alpha, beta and gamma diversities of bats in a fragmented landscape. **Biodiversity and Conservation**, v.10: p.367-382, 2001.
- NIEMANN, R. et al. Untersuchungen über die Eignung von Nematoden zur Gütebewertung von Fliegewässern. **Mitteilungender biologischen Bundesanstalt für Land-Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem** v. 317, p. 195-208, 1996.
- NICHOLAS W.L (1984) *The Biology of Free-living Nematodes*. **Clarendon Press**, Oxford
- PENNAK, R. W.; WARD, V. Interstitial faunal communities of the hyporheic and adjacent groundwater biotopes of a Colorado mountain stream. *Archiv für Hydrobiologie*, v.74, p. 356-396, 1986.
- OCAÑA, A. & PICAZO, J.S. Study on nematode species encountered in the Monachil River (Granada, Spain): response to organic pollution. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Theoretischen und Angewandten Limnologie** v.24, p. 2729-2737, 1991.
- POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. Ictiofauna de três lagoas marginais do médio São Francisco. **Água, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**, p. 167–181
- QUANG, N. X.; CHAU, N. N.; VANREUSEL, A. Nematode morphometry and biomass patterns in relation to community characteristics and environmental variables in the Mekong Delta. **Raffles Bulletin Of Zoology**, v. 62, p. 501–512, 2014.
- RISTAU, K.; FAUPEL, M.; TRAUNSPURGER, W.. The effects of nutrient enrichment on a freshwater meiofaunal assemblage. **Freshwater Biology** v.57: p.824–834, 2012.
- RISTAU, K.; FAUPEL, M.; TRAUNSPURGER, W. Effects of nutrient enrichment on the trophic structure and species composition of freshwater nematodes—a micro-cosm study. **Freshwater Science**, v. 32, n. 1, p. 155–168, 2013.
- RISTAU, K.; TRAUNSPURGER, W. Relation between nematode communities and trophic state in southern Swedish lakes. **Hydrobiologia**, v. 663, p. 121–133, 2011.

ROBERTSON, A. L.; RUNDLE, S. D.; SCHMID-ARAYA, J. M. Putting the meio-into stream ecology: Current findings and future directions for lotic meiofaunal research.

**Freshwater Biology**, v. 44, p. 177–183, 2000.

ROCHA, O. Perfil do conhecimento de biodiversidade em águas doces no Brasil. In: T.M. Lewinsohn & P.I. Prado (eds.). **Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento**, p. 165-169, 2002.

SCHRATZBERGER M.; WARR K.; ROGERS S.I. Functional diversity of nema-tode communities in the southwestern North Sea. **Marine Environmental Research**, v.63: p.368-389, 2007.

SCHRATZBERGER, M.; WARR, K.; ROGERS, S. I. Functional diversity of nema-tode communities in the southwestern North Sea. **Marine Environmental Research**, v. 63, p. 368–389, 2007.

SCHROEDER, F., et. al. Temporal changes in periphytic meiofauna in lakes with different trophic state. **Journal of limnology** v. 71: p. 216 – 227, 2012.

SOETAERT, K. et al. Factors affecting nematode biomass, length and width from the shelf to the deep sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 392, p. 123–132, 2009.

SOETAERT, K.; MUTHUMBI, A.; HEIP, C. Size and shape of ocean margin nematodes: Morphological diversity and depth-related patterns. **Marine Ecology Progress Series**, v. 242, p. 179–193, 2002.

STEAD, T. K.; SCHMID-ARAYA, J. M.; HILDREW, A. G. All creatures great and small: Patterns in the stream benthos across a wide range of metazoan body size.

**Freshwater Biology**, v. 48, p. 532–547, 2003.

STEYAERT M.et al. Nematode communities from the North Sea: environmental controls on species diversity and vertical distribution within the sediment. **Journal of the Marine Biological Association, UK**, v.79: p. 253-264, 1999.

STRAYER, D. (1985): The benthic micrometazoans of Mirror Lake, New Hampshire.

**Archiv fur Hydrobiologie**. v.72, p. 287– 426.

SUGUIO, L. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edusp: p. 3-17, 1973.

SWAN, C. M.; PALMER, M. A.. What drives small-scale spatial patterns in lotic meiofauna communities? – **Freshwater Biology**, v.44: p.109 –121, 2000.

THOMAZ, S. M.; ROBERTO, M. C.; BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos, p. 73-102. 1997.

TITA, G.; VINCX, M.; DESROSIERS, G. Size spectra, body width and morphoty-pes of intertidal nematodes: an ecological interpretation. **Journal of the Marine Biological Association of the UK**, v. 79, p. 1007–1015, 1999.

- TOCKNER, K.; BRETSCCHKO, G. Spatial distribution of particulate organic matter (PaM) and benthic invertebrates in a river-floodplain transect (Danube, Austria): importance of hydrological connectivity. **Archiv für Hydrobiologie, Supplements** . v.115, p.11-27, 1996.
- TRAUNSPURGER, W. Fischbiologie des Königssees. Nahrungsangebot und Nahrungswahl Band I: Das Meiobenthos des Königssees. **Forschungs bericht, National park Berchtesgaden, Berchtesgaden**, v.22, p.152, 1991.
- TRAUNSPURGER, W.; DREWS, C. Vertical distribution of benthic nematodes in an oligotrophic lake: seasonality, species and age segregation. **Hydrobiologia**, v. 331, p. 33–42, 1996.
- TRAUNSPURGER W. The biology and ecology of lotic nematodes. **Freshwater Biology** v.44, p. 29–45, 2000.
- TRAUNSPURGER, W.; BERGTOLD M.; GOODKOEPE, W. The effect of nematodes on activity and abundance of bacteria in a profundal freshwater sediment. **Oecologia** v.112, p. 118–122, 1997.
- TRAUNSPURGER, W. Meiobenthos – Sediment bewertung an hand der Nematoden In: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Kleinseen in Bayern - **Ökologische Bewertung von Freiwasser**. p. 124-150, 2001.
- TRAUNSPURGER, W et. al. Meiobenthic community patterns of Lake Constance: relationships to nutrients and abiotic parameters in an oligotrophic deep lake. **Fundamental and applied Limnology**. v.180: p.233 – 248, 2012.
- UDALOV, A. A.; AZOVSKY, A. I.; MOKIEVSKY, V. O. Depth-related pattern in nematode size: What does the depth itself really mean? **Progress in Oceanography**, v. 67, p. 1–23, 2005.
- VANHOVE, S.; VERMEEREN, H.; VANREUSEL, A. Meiofauna towards the South Sandwich Trench (750-6300 m), focus on nematodes. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 51, p. 1665–1687, 2004.
- VANAVERBEKE, J. et al. Sediment-related distribution patterns of nematodes and macrofauna: Two sides of the benthic coin? **Marine Environment Research** v.71: p.31–40, 2011.
- VANAVERBEKE, J. et al. Nematode assemblages from subtidal sandbanks in the Southern Bight of the North Sea: Effect of small sedimentological differences. **Journal of Sea Research**, v. 48, p. 197–207, 2002.
- VANAVERBEKE, J. et al. Nematode biomass spectra as descriptors of functional changes due to human and natural impact. **Marine Ecology Progress Series**, v. 249, p. 157–170, 2003.

VANAVERBEKE, J.; SOETAERT, K.; VINCX, M. Changes in morphometric characteristics of nematode communities during a spring phytoplankton bloom deposition.

**Marine Ecology Progress Series**, v. 273, p. 139–146, 2004.

VANREUSEL, A. et al. Ecology and biogeography of free-living nematodes associated with chemosynthetic environments in the deep sea: **A Review. Plos One**, v. 5, n. 8, 2010.

VAZZOLER, A. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. A. Planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos. **Maringá: EDUEM**, p.460. 1997.

VINCX, M.; MEIRE, P.; HEIP, C. The distribution of nematode communities in the Southern Bight of the North Sea. **Cahiers de Biologie Marine** . v. 31, p. 107–129, 1990.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic and titration method.

**Soil Science**, v. 37, p. 29–38, 1934.

WARWICK, R. M. Species size distributions in marine benthic communities.

**Oecologia**, v. 61, p. 32–41, 1984.

WARWICK, R. M.; PLATT, H. M.; SOMERFIELD, P. J. Free-living marine Nematodes. **Part III: British Monhysterid**. v.53: p.296, 1998.

WENTHWORTH, C.K., The Wentworth scale of grain size for sediments. **Journal of Geology** v.30, p. 381, 1922.

WHITTAKER, R.H. Evolution and measurement of species diversity. **Taxon**,v. 21, p.213–251, 1972.

WHITTAKER, R.H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California.

**Ecological Monographs**, v.30, p.279–338, 1960

WITTHOFT-MUHLMANN, A; TRAUNSPURGER, W.; ROTHHAUPT, K. O. Nematodes of Lake Constance, Germany, with special reference to littoral communities of a river mouth area. **Nematology** v.8: p. 539 – 553, 2006.

WU, J.; LIANG, Y. A comparative study of benthic nematodes in two Chinese lakes with contrasting sources of primary production. **Hydrobiologia**, v. 411, p. 31–37, 1999.

Wu, H. C.; CHEN, P. C.; TSAY, T. T. Assessment of nematode community structure as a bioindicator in river monitoring. **Environmental Pollution** . v. 158: p.1741 – 1747, 2010.

ZULLINI, A. Identification Manual for Freshwater Nematode Genera – **Universitá**

**di Milano – Bicocca**, 2010.

ZULLINI, A. The nematological population of the Po River. **Bollettino di Zoologia** v.41, p.183-210, 1974.

ZULLINI, A. Nematodes as indicator of river pollution. **Nematologia Mediterranea** v.4, p.13-22, 1976.

### 3 BODY SIZE OF NEMATODE ASSEMBLAGES IN A FRESHWATER SYSTEM

#### 3.1 Abstract

The present study tested the hypothesis that the morphological characteristics of nematode assemblages from different habitats in a freshwater system differ based on the characteristics of the sedimentary habitat. Sampling was carried out in six habitats of a river basin, including four habitats in the main watercourse of the basin, vegetated (VGS) and non-vegetated (NVS) sand, vegetated (VGM) and non-vegetated (NVM) mud. Samples were also collected from marginal lakes (MGL) and a tributary of the main river of the basin (BCR). The total length of the nematodes varied between 95.55 (Paramonohystera) and 2675  $\mu\text{m}$  (Ironus), while width varied between 9.45 (Microlaimus) and 50.4  $\mu\text{m}$  (Ironus). The length/width ratio values (L/W) varied from 12.4 (MGL) to 70.77 (VGS). The nematode assemblages of all the habitats studied were dominated by slender morphotype nematodes. From the results obtained it can be seen that the morphological characteristics of nematofauna respond to a set of sedimentary parameters where sites with larger interstitial spaces are dominated by larger nematodes than those found in habitats with smaller interstitial spaces. The availability of food as an indirect factor of the characteristics of the sedimentary environment also influenced the morphology of the nematodes.

Key-words: Morphometry, River basins, L/W ratio, Sediment Heterogeneity, São Francisco River.

#### 3.2 INTRODUCTION

To understand the functioning of aquatic systems it is necessary to understand the ecological interactions between organisms and their relationship with their habitat. One way to study the functional attributes of nematodes is through their morphometric characters (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002; Vanaverbeke et al., 2003). By studying these characteristics, it is possible to obtain important ecological information about the behavior of animals assemblages (Brown et al, 2004), such as: fluctuations in density values (Damuth, 1981), tolerance to chemical stress and different concentrations of oxygen (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002), and intra and interspecies relationships, such as predator-prey (Warwick, 1984). This information may be useful for environmental quality studies and the detection and monitoring of environmental impacts.

According to a number of authors (Schratzberger, Warr & Rogers, 2007), re-

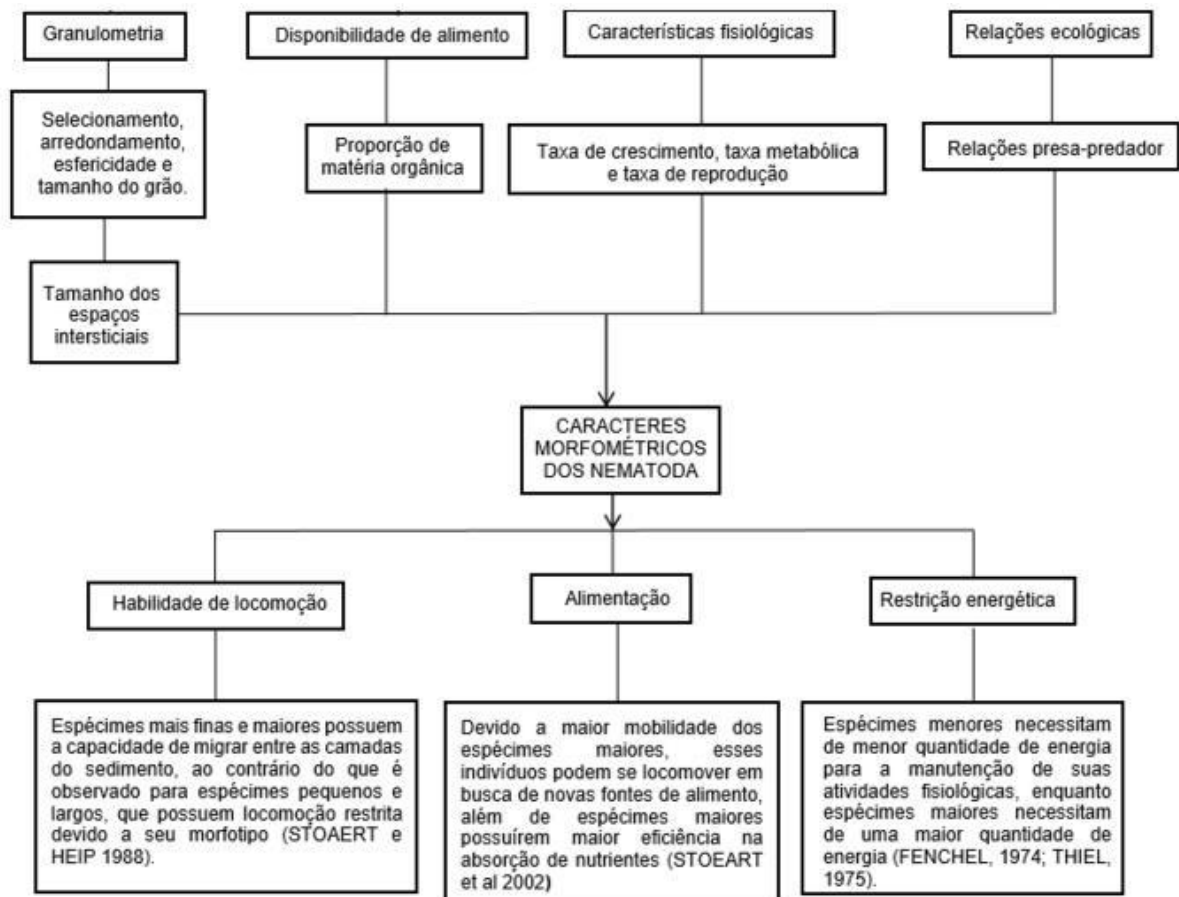
relationships between the morphometric characteristics of nematofauna may be used as an index through which it is possible to detect natural and anthropic alterations to habitats, in a similar manner to the way in which other descriptors of assemblages, such as species composition, density, and functional trophic groups, are used, so allowing their use in studies of this subject.

The morphometry of nematodes is the result of the influence of various factors, such as the structural characteristics of the habitat (Schwinghamer, 1981), biological characteristics related to the physiology of the animal itself, including energetic restrictions (Warwick, Dashfield & Somerfield 2006) growth, metabolic and reproductive rates (Blue-Weiss et al, 1978; Peters, 1983) and interactions with other individuals, such as competition and predation (Wilson, 1975). All these factors may influence the morpho-metric factors of nematodes, thereby making the shape of the body an important tool for habitat description (Wieser, 1975). Figure 01 summarizes the main environmental, biological and ecological factors that can influence the morphometric characteristics of nematodes, and how these characters, in turn, can influence assemblages, in terms of the locomotion skill, nutrition and metabolism of nematodes, limiting their presence to certain types of habitat.

Special attention should be paid to the sedimentary environment, especially due to its influence on the structure of benthic communities. Several studies have shown the close association between factors directly and indirectly related to sediment and nematode assemblages, such as, the relationship between the richness and diversity of nematofauna and average grain size (Vanaverbeke et al. 2002) and the physical-chemical characteristics of the sediment (Heip C., Vincx M. & Vrank, 1985; Heip et al. 1992, Fonseca et al 2014), and by the influence of sediment grain size on morphometric characteristics and the trophic guilds of nematodes (Leduc et al 2012).



**Figura 12 – Diagram showing the main environmental, biological and ecological factors influencing the morphometric structure of nematode assemblage and how morphometry influences aspects of the life strategy of nematodes.**



It is suggested that direct adaptation to the sediment, mainly related to physical structure and the resulting interstitial spaces, is the main determinant of variation in the body size of fauna inhabiting the interior of these sediments (Fleeger, Grippo & Pastorick, 2011). As such, sedimentary gradients, directly and indirectly linked to grain size, will result in different nematode assemblages, not only in terms of ecological descriptors, but also in relation to groups of individuals with different morphological characteristics, as a result of adaptation to this habitat (Fleeger, Grippo & Pastorick, 2011).

In general, it is suggested that nematodes are smaller and more vermiform in sandy sediments, with true interstitials sliding between the sediment grains, than those found in very muddy sediments, which become larger and adopt a digger lifestyle, as the interstitial space may be so reduced that individuals move around, disaggregating the sediment (Tita, Vincx & Desrosiers, 1999; Fleeger, Grippo & Pastorick, 2011). Coull (1988) suggested a mean diameter of small grains of 125  $\mu\text{m}$  as the limit where nematodes leave the interstitial habit, and start to become diggers which are able to construct tubes. This process was observed for adults of the *Ptycholaimellus ponticus*,

a species which can construct tubes with a diameter of approximately 50  $\mu\text{m}$  inside sediments (Nehring et al., 1990). Taking into account the different sand fractions, it is suggested that the average size of the individual increases based on increases in average grain size (Tita, Vincx & Desrosiers, 1999).

The characteristics of the sedimentary environment can directly influence the availability of food in the benthic ecosystem, given that grain size correlates directly with the input of organic matter (Snelgrove & Butman, 1994). Larger concentrations of organic material are generally found in muddy sediments, with concentrations smaller in sandy sediments (Gray & Elliott 2010). From these findings Thiel (1975) elaborated the hypothesis that there is an association between the limited availability of food and individuals with a small average size.

Studies similar to that of Thiel have demonstrated that due to food limitation, larger species are unable to remain in such habitats, as they require greater energetic consumption (Carney, Aedrich & Owe, 1983). Soon, habitats with limited food availability become favorable for species with a lower maintenance cost, or in other words, smaller specimens (Fenchel, 1974).

It can be seen then that morphometric character has a direct influence on the adaptive success of nematodes in habitats with varying sedimentary characteristics, since the morphology of these animals reflects their type and ability of locomotion, food, life history and interactions between biotic and abiotic factors (Peters 1983, Calder, 1984).

Despite this, few studies focusing on this topic have been undertaken (Schwingha-mer, 1981; Warwick, 1984; Tita, Vincx & Desrosiers, 1999; Soetaert et al. 2009), none of which feature freshwater nematodes genera. Some studies of the size spectrum of nematode assemblages have been performed for marine habitats (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002, Soetaert et al. 2009; Vanaverbeke, Soetaert & Vincx, 2004; Tita, Vincx & Desrosiers, 1999; Udalov, Azovsky & Mokievsky, 2005; Losi et al. 2013), investigating, in general, the morphological or morphometric characteristics of the nematodes in bathymetric gradients. For lotic or lentic water freshwater habitats, such as rivers and lakes, little is known about the diversity, abundance, size spectrum and relationships of nematodes with the characteristics of the sedimentary habitat, as most studies use this assemblage solely as an indicator of anthropogenic pollution (Michiels & Traunspurger, 2005; Ristau & Traunspurger, 2011).

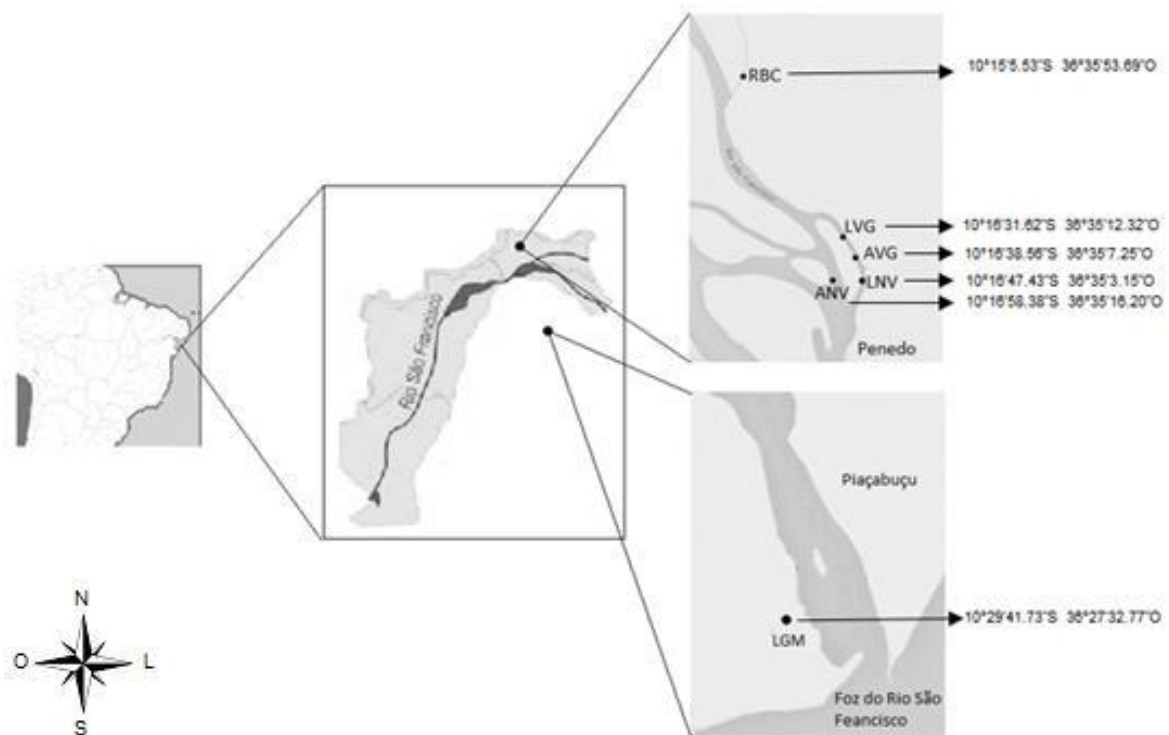
In this context, the aim of the present study was to test the hypothesis that the morphometric characteristics of nematode assemblages from different habitats in a freshwater system differ based on the characteristics of their sedimentary habitat.

### 3.3 MATERIAL AND METHODS

#### 3.3.1 Study area

The present study was performed in different habitats in the lower region of the São Francisco River Basin (fig. 2). This basin has an area of over 630,000 km<sup>2</sup> and a mean flow of 2,850 m<sup>3</sup>/s, and is the main course of the São Francisco River, which has a length of approximately 2,700 km. Samples were collected from six habitats in the basin (depth from 0.85 to 2 m), with four from the main course of the river: vegetated sand (VGS), non-vegetated sand (NVS), vegetated mud (VGM) and non-vegetated mud (NVM); in marginal lakes (MGL) and in a small tributary of the São Francisco River, known as the Boa Cica River (BCR) (fig. 2).

**Figura 13 – Study area showing the location of sample habitats (·) in the São Francisco River, Alagoas, Brazil (BCR=Boa Cica River, NVM=Non-vegetated mud, VGM=Vegetated mud, NVS=Non-vegetated sand, VGS= Vegetated Sand MGL=Marginal Lakes).**



#### 3.3.2 Sampling

Nine sediment replicates in each habitat were collected randomly using a Van Veen type dredge. A corer with an internal diameter of 2.8 cm was inserted into the first five centimeters of sediment removed by the dredge. The samples were fixed in 4% formalin.

For particle size analysis and calculation of the organic matter contained in the sediments, three replicates were collected for each habitat, using a Van Veen type

dredge and removing the surface sediment layer.

### 3.3.3 Sediment

For granulometry the methodology suggested by Suguio (1973), which consists of dry sieving, using size ranges proposed by Wentworth (1922), were followed. The results were analyzed using the SYSGRAM 3.0 program, which allows the use of parameters such as mean size, median size, degree of sorting, asymmetry and kurtosis, in accordance with the methods proposed by Folk & Ward (1957). The calculation of the organic matter contained in the sediment was obtained by the oxidation method proposed by Walkley & Black (1934).

The heterogeneity of the sediment was obtained using the Shannon Wiener diversity index (H) (Etter and Grassle, 1992) applied to the dry weight percentage of the sediment obtained for the five classes of grain size used, considering that the higher the degree of diversity, the greater the heterogeneity of the sediment.

### 3.3.4 Nematodes

Processing of the biological samples was performed using the methodology proposed by Elmgren (1976), by wet sieving in geological sieves with apertures of 0.5 mm and 0.045 mm. The first 120 nematodes (when present in the sample) were removed for subsequent mounting on permanent slides and generic level identification using identification keys (De Ley, Decraemer & Eyualem-Abebe, 2006; Warwick et al, 1998; Aldo Zullini, 2010). For samples with fewer than 120 individuals, all nematode were removed for identification.

Following identification, the morphometric parameters were measured for adult nematodes only, as follows: total length (L), measured from the extremity of the head to the tip of the tail, excluding filiform tails, and width (W): measured at the maximum diameter of the body.

The nematodes were classified into two morphotypes according to the length/width ratio (L/W), with the nematodes with L/W values greater than 15 classified as slender and those with L/W values less than 15 classified as robust (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002; Vanaverbeke, Soetaert & Vincx, 2004).

The trophic classification of individuals was performed in accordance with Moens & Vincx (1997). These authors classified the genera of nematodes into six trophic groups: "epistrate feeders", "ciliate feeders", "deposit feeders", "scrapers", "facultative predators", and "predators".

### 3.3.5 Data analysis

The results were analyzed through univariate and multivariate statistical analysis. To observe variability in the sediment parameters among different habitats, Principal Component Analysis (PCA) was performed using the PRIMER v.5.2.4 statistical program.

Linear regression analysis was performed to observe the correlation between the length and width values of the nematodes in different habitats.

To visualize the dissimilarities in the morphometric structure of the nematode assemblages in the different habitats, multi-dimensional scaling analysis (MDS) was applied to the L/W ratio of the genera, from the similarity matrix built using Euclidean distances. To test for significant differences in the morphometric structure of nematode genera between the different habitats, PERMANOVA type multivariate analysis was applied to the same data. In case of a significant result ( $p < 0.05$ ), a paired test using Monte Carlo permutation was applied. For this analysis a similarity matrix was constructed using the Bray-curtis similarity index.

To verify which of the sediment parameters had the closest correlation with the L/W of the genera of nematode in each habitat studied, a BIOENV type analysis using the PRIMER v.5.2.4. statistical package was applied to this data, based on the similarity matrices constructed using Euclidean distances.

## 3.4 RESULTS

### 3.4.1 Sediment parameters

Grain size analysis confirmed that the largest mean size of the sediment grains, 2.97 mm, was registered in the NVS habitat, and the smallest, 0.73 mm, in the VGM habitat (Fig. 3a). The sediments in the BCR, NVM and VGM habitats were classified as very fine sand with a mean percentage of silt+clay of 44.84, 42.17 and 49.06%, respectively (fig. 3b). The sediments in the habitats VGS and MGL were classified as fine sand and that of NVS as medium sand, with silt+clay percentages of 0.17, 1.02 and 0.77%, respectively (fig. 3b).

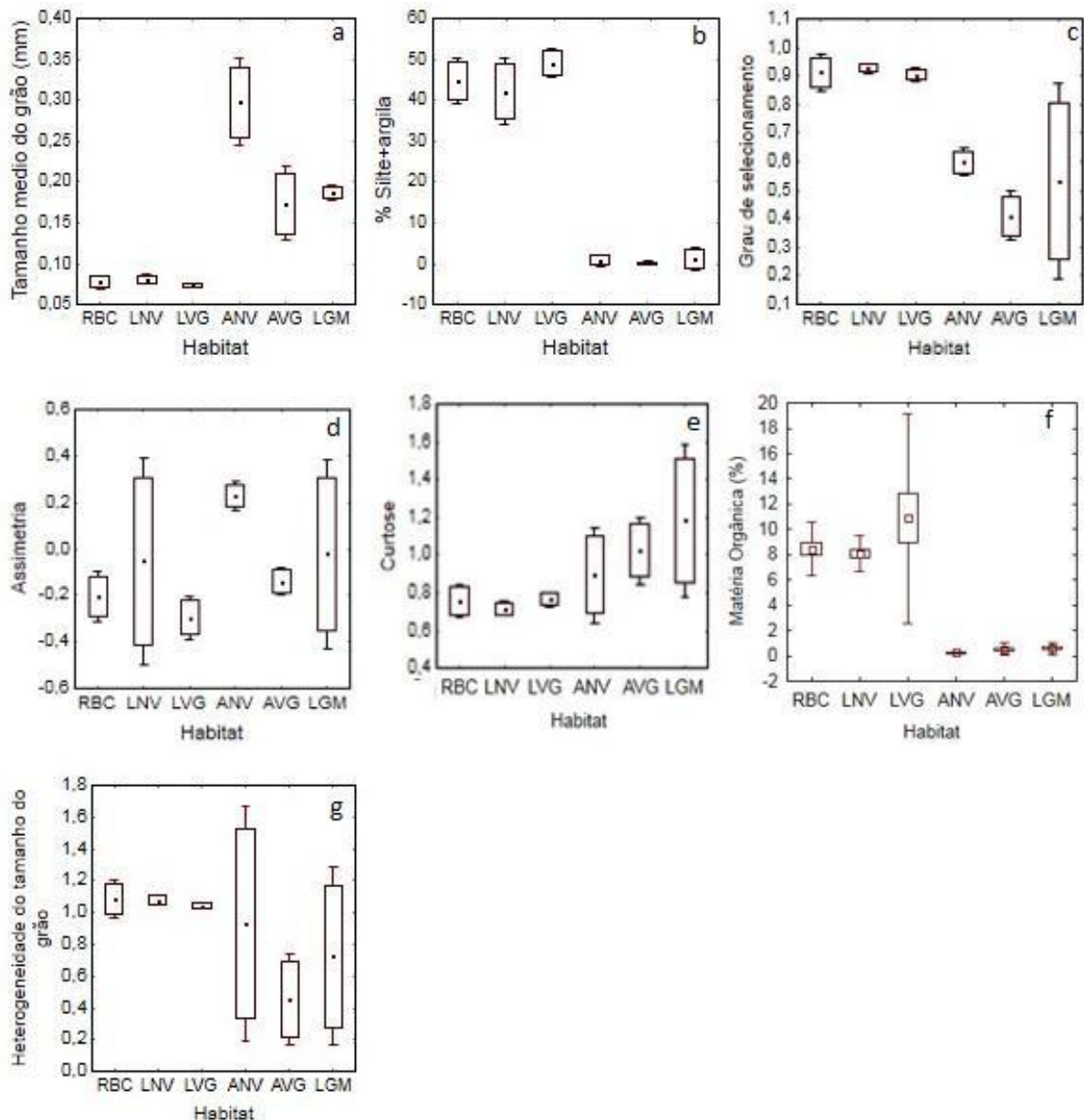
In the VGS and MGL habitats the sediment grains were well sorted, with mean degree of sorting values of 0.38 and 0.47, respectively (fig. 3c). The NVS, BCR, VGM and NVM habitats were classified as moderately sorted, with mean degree of sorting values of 0.59, 0.91, 0.90 and 0.93, respectively (fig. 3c).

The asymmetry and kurtosis values of the sediment grains were greater in the NVS and MGL habitats, 0.25 and 1.37, respectively, while the lowest values were registered in the VGM and NVM habitats, -0.33 and 0.70, respectively (fig. 3d, e).

The highest grades of organic material contained in the sediments (O.M) were registered in the BCR, NVM and VGM habitats (7.48 – 14.69 %), followed by the VGS and MGL habitats (0.43 – 0.78 %), with the NVS habitat registering the lowest grades (0.22 - 0.26 %) (fig. 3f).

The highest Shannon diversity index values for grain size were found in the BCR habitat (1.08), while the lowest values were found in the VGS habitat (0.45).

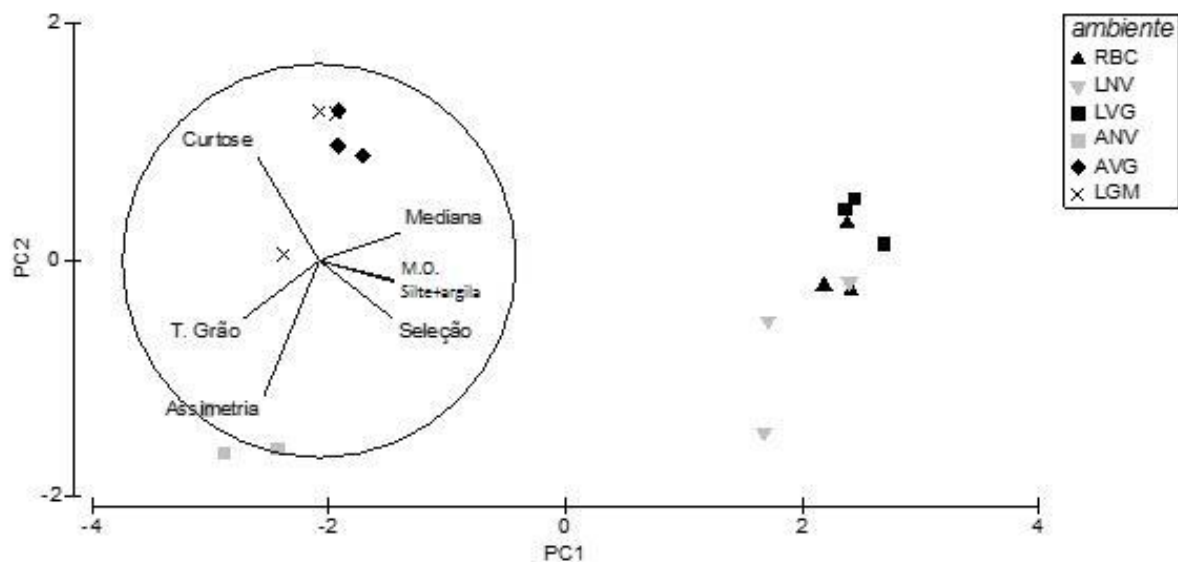
**Figura 14 – Mean sediment parameter values: a) mean size of sediment grains (mm); b) proportion of silt+clay; c) sorting of grains; d) asymmetry; e) kurtosis; f) grade of organic material (%); g) Heterogeneity of grain size, for the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats (boxes indicate standard deviation and bars indicate a confidence interval of 95%).**



Through Principal Component Analysis, PCA, applied to the sediment parameter

data, it was seen that the first two components (PC1 and PC2) explained 92.7% of the variability between the habitats (Fig. 4). The first component (PC1) separated the environments into two groups, the BCR, NVM and VGM habitats, and the NVS, VGS, and MGL habitats. The variables that had the closest correlation with PC1 were O.M. concentration (0.41), proportion of silt+clay (0.42), median (0.41) and sorting (0.38) of sediment grains (Fig. 4). The second component (PC2) was responsible for 13.7% of variability between the habitats, with the kurtosis (0.53), asymmetry (-0.7) and size (0.3) of the sediment grains being the variables which had the closest correlation with this component (Fig. 4).

**Figura 15 – Result of Principal Component Analysis of sediment parameter data in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes).**

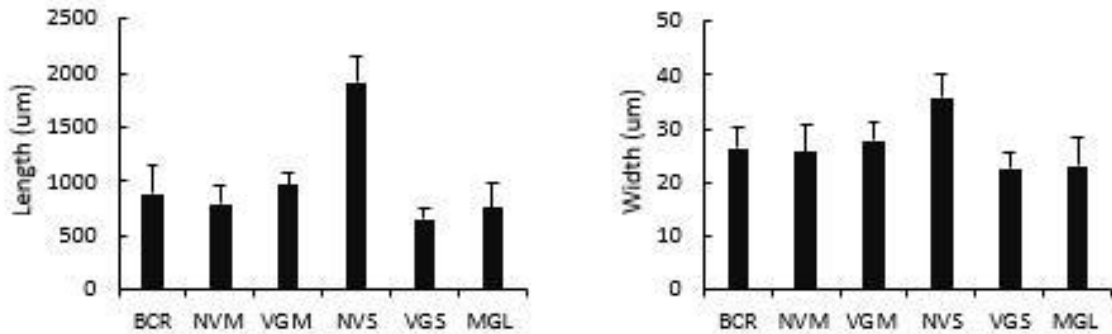


### 3.4.2 Nematode Assemblage

A total of 5361 specimens were registered in the six habitats studied. The nematode assemblage was dominated by juvenile specimens, as of this total, only 861 were identified as adults and therefore used in the present study.

A total of 38 genera of nematode were registered, with the greatest number in the VGS habitat (27), and the lowest in the NVS habitat (2). The total length of nematodes varied between 95.55 and 2675  $\mu\text{m}$  (Fig. 5a), from the Paramonohystera and Ironus genera, respectively. Width varied from 9.45 (Microlaimus) to 50.4  $\mu\text{m}$  (Ironus) (Fig. 5b). The highest mean values for length and width were registered in the NVS habitat (1935  $\mu\text{m}$  and 35.2  $\mu\text{m}$ , respectively), while the lowest values were registered in the VGS habitat, 638  $\mu\text{m}$  and 23.59  $\mu\text{m}$ , respectively (fig. 5).

**Figura 16 – Mean values ( $\pm$ standard deviation) of length (a) and width (b) of nematodes in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats.**

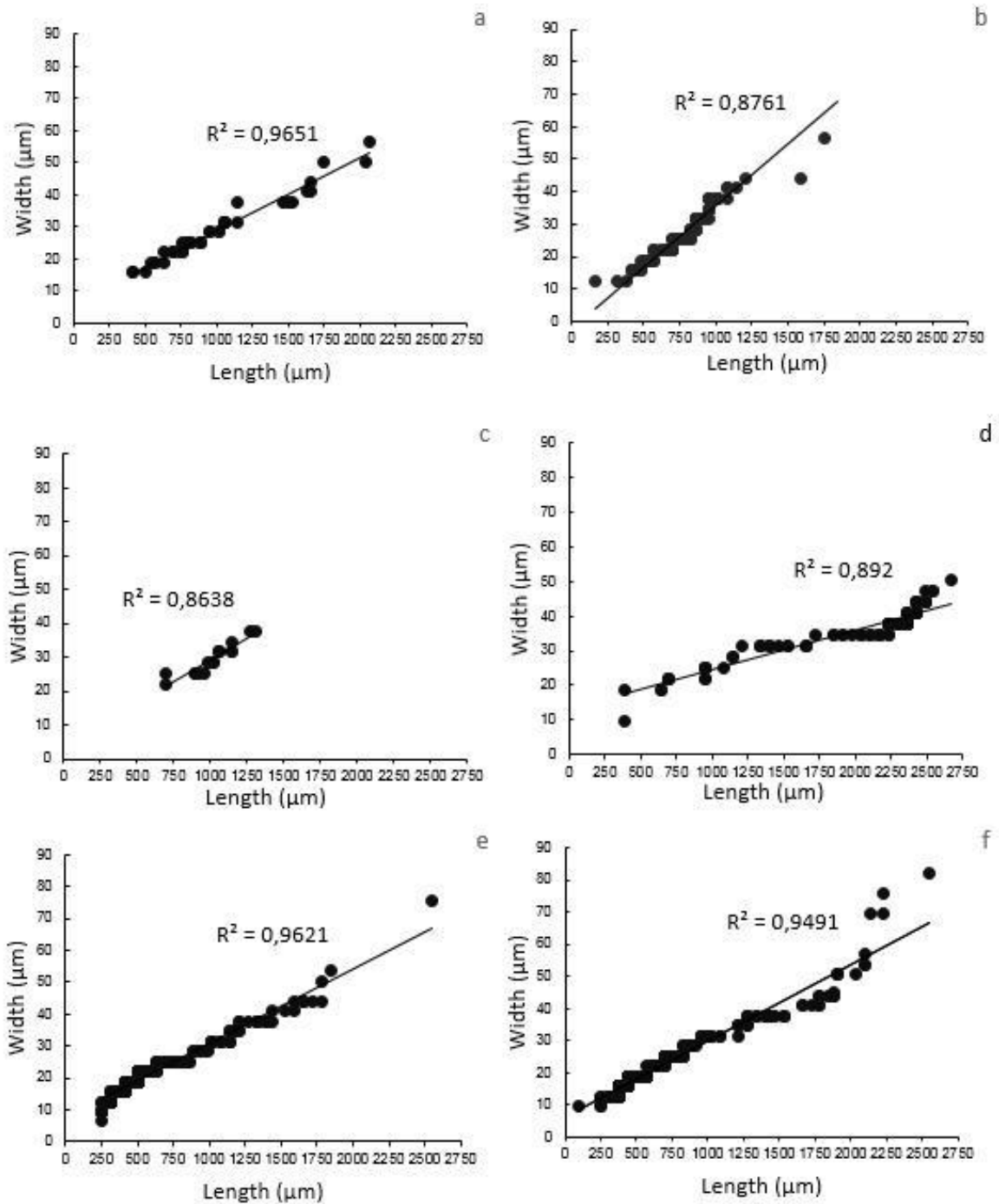


Linear regression analysis revealed a positive correlation, with a higher R<sup>2</sup> value between the length and width of nematode for all the habitats studied (fig. 6).

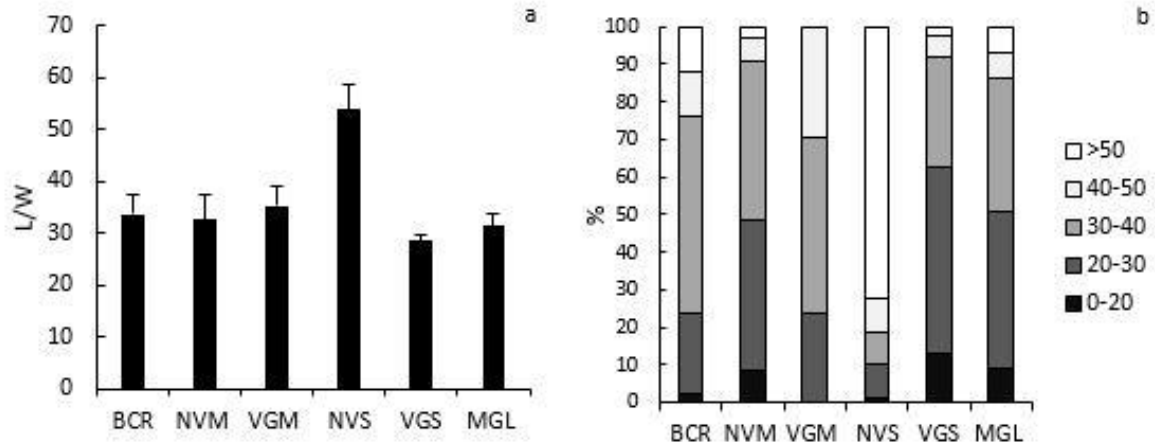
The length/width ratio values (W/L) varied between 12.4 (MGL) and 70.77 (VGS). The highest mean L/W values were registered in the NVS habitat (55.83), while the lowest values occurred in the VGS (28.47) habitat (fig. 7). Other than the NVS habitat, which had a nematode assemblage dominated by individuals with L/W values greater than 55 (60.60%), the other habitats were dominated by specimens with L/W values varying between 25-35, while a greater representation of specimens with a maximum L/W value of 25 was observed in the VGS and MGL habitats (fig. 7).



Figura 17 – Result of regression analysis applied to length and width of nematode values measured in the a) BCR (Boa Cica River); b) NVM (Non-Vegetated Mud); c) VGM (Vegetated Mud); d) NVS (Vegetated Sand); e) VGS (Vegetated Sand); f) MGL (Marginal Lakes) habitats.



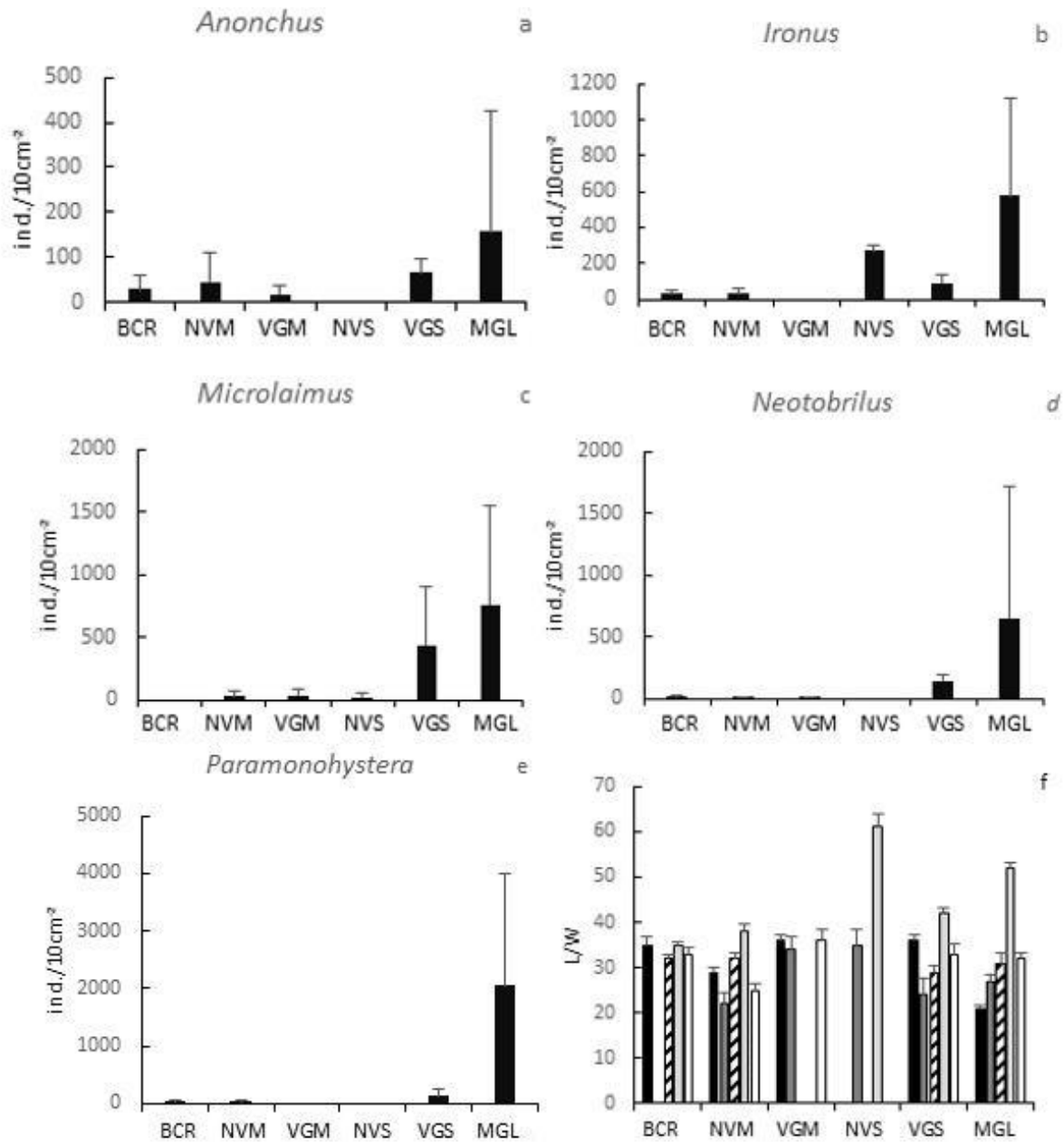
**Figura 18 – a) Mean L/W ratio values and b) frequency of occurrence of individuals by class of L/W ratio values for nematodes in BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats.**



Of the individuals measured, those belonging to the *Anonchus*, *Ironus*, *Microlaimus*, *Neotobrilus* and *Paramonohystera* genera were the most abundant in the habitats studied (Fig. 8a,b,c,d,e, respectively). The MGL and VGS habitats had a nematode assemblage dominated by the *Microlaimus*, *Neotobrilus* and *Paramonohystera* genera, which had L/W ratio values of 23, 32 and 30, respectively (Fig. 8). In the BCR, NVM and LGV habitats, the *Anonchus* genus was among the most abundant, with mean L/W ratio values from 27.74, 29.76 and 34.57, respectively (Fig. 8b). The *Ironus* genus was recorded in all habitats except VGM, and had the highest mean L/W values in the study (60.23). The highest abundance values of this genus occurred in the NVS habitat, where it represented 95% of adult individuals.

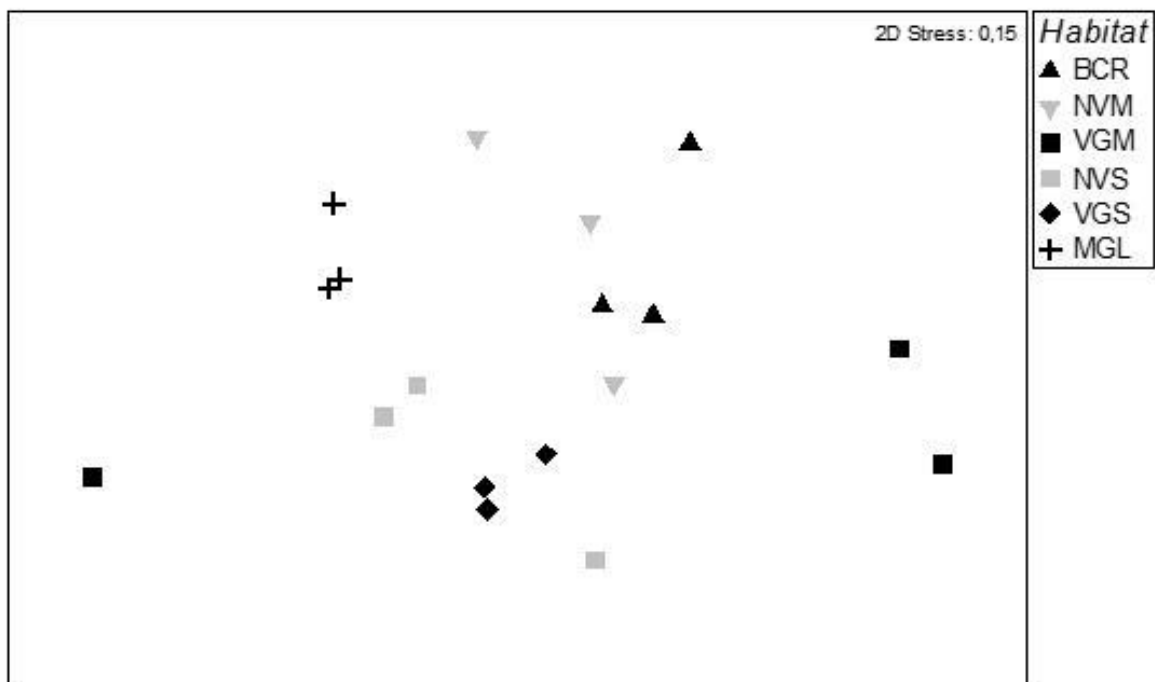
The mean L/W values of the *Ironus* genus varied between habitats, with lower values in the BCR and NVM habitats (28.57- 40 and 26 – 44.61, respectively) and higher values in the NVS habitat, varying between NVS31.77 and 77.51.

**Figura 19 – Mean density values ( $\pm$ standard deviation) of the genera: a) *Anonchus*; b) *Ironus*; c) *Microlaimus*; d) *Neotobrilus*; e) *Paramonohystera*; f) mean L/W ratio values ( $\pm$ standard deviation) (*Anonchus*; *Microlaimus*; *Paramonohystera*; *Ironus*; *Neotobrilus*) of the most representative nematodes (relative abundance > 35%) in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats (note differences in scale).**



Multidimensional scalling analysis applied to the mean L/W values of the nematode genera revealed a tendency of separation or dissimilarity between the samples from the NVM, VGM and BCR habitats and the NVS, VGS and MGL habitats, identifying two sample groups (Fig. 9). The MGL samples, despite forming part of one of the groups, had the highest similarity among themselves, with highly grouped samples.

**Figura 20 – Multidimensional scheduling analysis (MDS) using L/W ratio values of nematode genera in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats.**



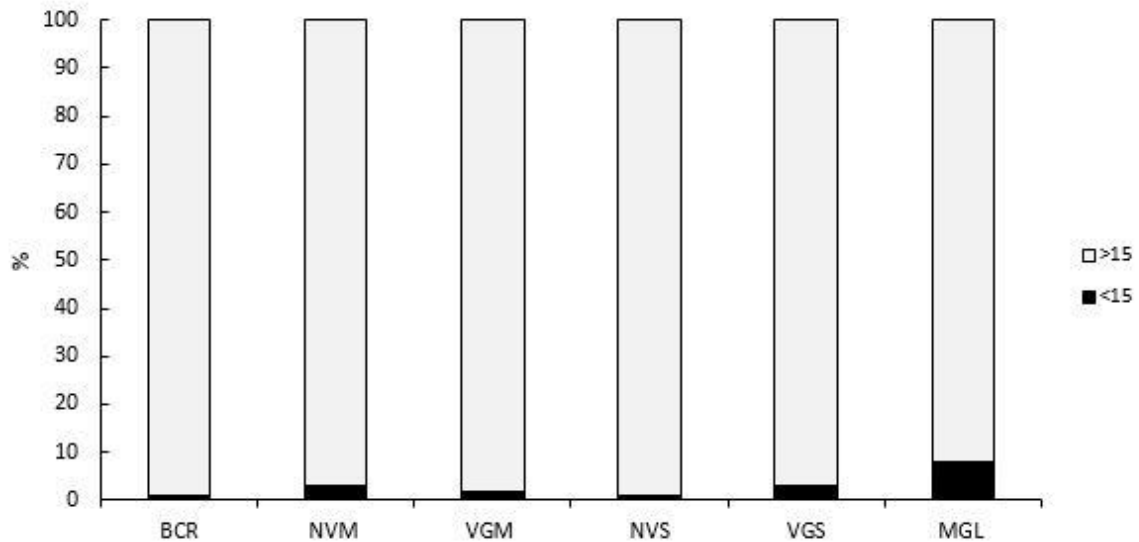
PERMANOVA analysis of the mean L/W ratio values of the nematodes revealed significant differences between habitats ( $F=1.40$ ,  $p<0.01$ ), with the NVS habitat differing significantly from the BCR ( $p=0.01$ ), VGM ( $p=0.01$ ) and MGL ( $p=0.005$ ) habitats.

BIOENV analysis revealed a correlation between the L/W ratio values of the nematodes and the sedimentary characteristics of the studied habitats ( $\rho =0.46$ ), with concentration of organic material, mean grain size, silt+clay proportion, kurtosis and heterogeneity of the size of the sediment grains the factors relating to the sedimentary environment that most influenced variation in the L/W ratio values of nematode assemblage.

### 3.4.3 Morphotypes

All the habitats studied were dominated by slender nematodes (fig. 10). A total of 97.66% of nematode assemblages from the BCR, NVM and VGM habitats, and 94.34% of specimens from the NVS, VGS and MGL habitats, had a slender morphotype.

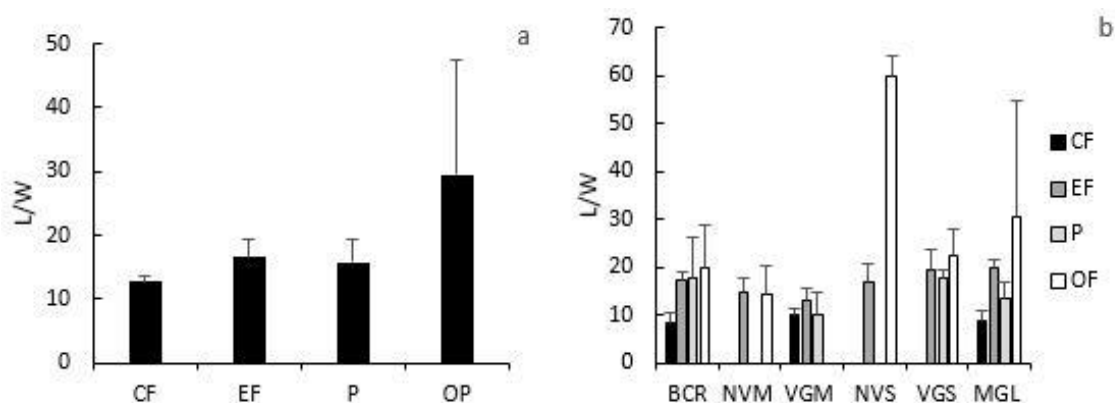
**Figura 21 – Percentages of slender (>15 µm) and robust (<15 µm) nematodes in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Non-Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats.**



### 3.4.4 Trophic Groups

The highest mean L/W ratio values were registered for facultative predators (29.47), epistrate feeders (16.54), predators (15.77) and ciliate feeders (12.74), respectively. None of the habitats studied registered all six of the groups proposed by Moens and Vincx (1997), with the four groups identified in the BCR and MGL habitats being the largest number of groups registered (fig. 11b). Only facultative predators and epistrate feeders were registered in the NVM and NVS habitats, while as well as these trophic groups, ciliate feeders and predators were registered in the VGM and VGS habitats (Fig. 11b).

**Figura 22 – a) Mean total L/W ratio values by trophic groups b) Mean L/W ratio values of the trophic groups (CC: ciliate feeders, CE: epistrate feeders, P: predators and PF: optional predators) in the BCR (Boa Cica River), NVM (Non-Vegetated Mud), VGM (Vegetated Mud), NVS (Vegetated Sand), VGS (Vegetated Sand) and MGL (Marginal Lakes) habitats.**



### 3.5 DISCUSSION

The sediment parameter results for the sampled habitats in the São Francisco River Basin allowed the six habitats studied to be divided into three groups with similar characteristics in relation to the sedimentary environment, despite the fact that such habitats had previously been separated for characteristics such as the presence/absence of vegetation, visual observation of the dominant sediment type and location and dynamic of habitat.

These three habitat groups are represented as follows: the habitats BCR, NVM and VGM were characterized by a sedimentary habitat dominated by very fine sands, with higher sorting and diversity values, which means greater sedimentary heterogeneity, a greater percentage of fines and a higher content of organic matter. The habitats VGS and MGL represented a sedimentary habitat with predominantly fine sands, but with a lower percentage of silt and clay than in the previous group, more sorted sediments with a lower degree of diversity, and a lower content of organic material. The NVS habitat, despite having a percentage of fines and organic material content values similar to the previous group, appeared to have different sedimentary characteristics to the other habitats, with higher grain size and asymmetry values, and was classified as medium sand with intermediate values for degree of sorting and diversity of grains.

The results of principal component analysis clearly revealed the formation of these groups, showing a gradient of sedimentary conditions moving from very fine to medium sediments, which resulted in nematode assemblages with different morphometric characteristics. The nematode assemblage found in NVS had higher mean length and width values (C:1935  $\mu\text{m}$  and L:35.2  $\mu\text{m}$ ). This positive relationship between the body size of nematode and the sediment grain size has been reported in a number of studies of marine habitats (Heip, Vincx & Vrank, 1985; Udalov, Azovsky & Mokievsky, 2005; Soetaert et al. 2009; Quang, Chau & Vanreusel, 2014). This may be related to the greater interstitial space found in sediments with higher average grain diameter. Sedimentary habitats with lower average grain diameter have small interstitial spaces, and are more likely to be colonized by smaller nematodes.

Despite this, the habitats that had the lowest average grain diameters, classified as very fine sand, BCR, NVM and VGM, were dominated by specimens of intermediate size, compared to the others. The fine sandy habitats, VGS and MGL, presented a nematode assemblage dominated by the smallest specimens of all the habitats (C: 638  $\mu\text{m}$ ; L: 23.59  $\mu\text{m}$ ).

The absence of a gradient of size that was directly proportional solely to the gradient of mean sediment grain diameter was therefore noted, with body size more strongly associated with the resulting interstitial space. Schwinghamer, (1981) related

interstitial space to the percentage of fines contained in the sediment and Gray & Elliot (2010), in studies of marine sediments, affirmed that sediment parameters are interlinked in that the size and sorting of grains influences the porosity and permeability of the sediment, and that these factors influence the entire chemistry of the sediment.

According to Coull (1988) the mean size of sediment grain may define the lifestyle of nematodes as interstitial or digger. The author suggests that below a diameter of 125  $\mu\text{m}$ , the interstitial spaces are so small that interstitial habits are not possible. Soetaert & Heip (1989) suggest that large individuals (> 500  $\mu\text{m}$ ) have a greater ability to move around, disaggregating the sediment grains and thus penetrating into more compressed sediments.

Thus, despite the fact that habitats that are classified as very fine sand do not have an average grain size equal to or lower than that proposed by Coull (1988), the set of features found in these habitats may create reduced interstitial spaces by limiting the presence of small animals, true interstitials, and in turn become dominated by larger and diggers nematodes.

The close linear correlation between the measurements of length and width found in all habitats indicates that the L/W ratio is a useful index for assessing/predicting the size and shape of the body of nematodes in limnic habitats. This relationship has been suggested for marine environments, where a number of authors have demonstrated that the L/W values increase with depth within the sediment (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002; Fleeger, Grippo & Pastorick, 2011) and in habitats with larger average sediment grain size and lower percentages of silt+clay (Fleeger, Grippo & Pastorick, 2011; Losi et al. 2013).

Through multivariate analysis of the L/W ratio data using habitats as factors, the same tendencies as for sediment parameters were found, where the same three groups of habitats were formed, demonstrating the close relationship between sedimentary environment characteristics and the morphology of nematodes, and the possibility of predicting environmental conditions from this biological parameter.

Sedimentary composition, in general, corresponds to the food supply in the benthic environment, in particular the input of organic matter (Giere, 1993). Less dynamic environments, where the deposition of finer sediments is possible, also allow the deposition of organic matter, increasing the availability of food (Gray & Elliott 2010), as can be seen in the habitats investigated in the present study.

The availability of food as a factor indirectly related to grain size also appears to influence the dominant morphology of nematode. According to the food limitation hypothesis proposed by Thiel (1975), the lower the food supply, the smaller the size of species, as a low food supply does not provide the energy necessary for the mainte-

nance of the physiological processes of larger species (Udalov, Azovsky & Mokievsky, 2005) and consequently such habitats are colonized by smaller species only. However, larger individuals generally have larger digestive organs, making the passage of food through the digestive tract longer, resulting in more efficient nutrient absorption (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002), while smaller individuals are linked to rapidly digestible food, due to the small length of their digestive tract (Tita, Vincx & Desrosiers, 1999).

Using the content of organic material found in the different habitats as an indication of food availability, it was observed that where more food was available (%O.M.), the L/W ratio values of nematodes were greater. Habitats with a low O.M. content in sediment (VGS and MGL) were dominated by smaller and finer species, while habits with a higher O.M. content (NVM, VGM and BCR) were dominated by larger, wider species.

The exception to this behavior was the NVS habitat, which despite having the lowest O.M. content values, was dominated by individuals with the highest average L/W values, 55.83. The larger interstitial space size may have been the determining factor. Another possibility is that the O.M. content, in this case, was not a good food supply parameter. The mouths of nematodes have a high morphological diversity, allowing them to feed on different items, as has been established by many studies, including the classic works by Jensen (1987), Wiser (1953) and Moens & Vincx (1997). A high density of Oligochaete, which is part of the diet of the predator genus *Ironus* (Zullini, 2010), was observed in samples of the NVS habitat. This indicates that despite the low values of organic matter content recorded in this habitat, food was available in abundance. This genus represented 95% of individuals in samples of this habitat, with the highest mean morphometric values of all the nematodes measured.

Additionally, eating habits themselves can provide information about animal size (Peters, 1983). In general, nematode predators have greater body dimensions due to the need to possess an oral cavity larger than the width of their prey (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002). Robust nematodes (L/W values lower than 15) possess morphological and morphometric adaptations aimed at reducing predation pressure, and high width values and the presence of well-ornamented cuticle were observed for these species, characteristics that hinder digestion by their predators (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002).

In the present study the highest L/W values were recorded for facultative predators, possibly because these have a greater versatility of food habits than predators, which largely feed on other nematodes (Moens & Vincx, 1997). This allows greater use of food resources, such as bacteria, diatoms, ciliates and nematodes, and nutrients needed for their physiological activities, such as growth. It is likely that the smaller size of the predators is related to the predation of young nematodes, given that all the habitats



studied here were dominated by such young specimens. Nematode ciliates feeders and epistrate feeders do not require large bodily dimensions, due to the smaller size of their food items (protozoa, bacteria and microalgae).

These relationships between availability, the type of food item and the feeding strategy and morphometry of nematodes are reflected in the physiology of these animals and consequently in their life strategies, where robust (smaller) individuals usually have lower energy requirements (Thiel, 1975) higher growth rates (increase of biomass, Peters, 1983) and reproduction (Kooijman, 1986), while slender nematodes have greater mobility skills (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002), higher energy requirements (Thiel, 1975) and lower rates of growth (Peters, 1983).

Nematodes with slender morphotypes are usually dominant in marine (Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002, Schratzberger, Warr & Rogers, 2007) and non-impacted estuarine (Quang, Chau & Vanreusel, 2014) environments, where they can reach up to 82% of individuals, with a naturally low abundance of robust nematodes. Slender nematodes were dominant in all the habitats studied here, reaching values similar to those found by the authors cited. In polluted environments the representation of robust nematodes may be greater, with an increase in the artificial input of nutrients and O.M. as a result of human activities (Losi et al. 2013). This was observed in a situation before and after a bloom of phytoplankton, where the assemblages were previously dominated by slender species and then became dominated by robust species. Two months later, the assemblage was again dominated by slender nematodes (Vanaverbeke, Soetaert & Vincx, 2004).

Despite the organic matter content contained in the sediment of the habitats studied varying from 0.22 to 14.69%, the abundance and dominance of the morphotypes did not change, and seemed not to respond to these variations. Therefore, as the dominance of slender morphotypes can be related to the “health” of the environment (Tita, Vincx & Desrosiers, 1999; Soetaert, Muthumbi & Heip, 2002; Vanaverbeke, Soetaert & Vincx, 2004; Quang, Chau & Vanreusel, 2014), it may be suggested that the habitats studied have a morphotype composition typical of an environment with little pollution.

It can be concluded that the morphometry of nematodes in freshwater systems is influenced by a number of interconnected environmental factors directly related to the physical characteristics of the sediment, especially the resulting interstitial spaces and the availability and quality of food. Although the average size of sediment grains is an interesting parameter that has been used to predict the characteristics of the sedimentary environment and the benthic assemblages present, it is clear that morphology does not respond directly to the grain size gradient, and that this relationship is more complex.

In terms of food availability, it may be considered that the hypothesis proposed by Thiel (1975) also applies to freshwater nematode assemblages. However further

studies investigating the energetic requirements and metabolic processes of freshwater nematode, and how these can result in different body morphologies, are necessary before it is possible to find a pattern of occurrence of different size classes, depending on the availability and quality of food. This information may be very useful in pollution studies.

### 3.6 Referências

Blue-Weiss L., Fox H., Kudzma D., Nakashima D., Peters R. & Sams S. (1978) Relationships between body size and some life history parameters. *Oecologia* (Berlin) 37, 257–272.

Brown J.H., Gillooly J.F., Allen A.P., Savage V.M. & West G.B. (2004) Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 1171, 85–89.

Calder, W.A. (1984) *Size, Function, and Life History*. Harvard University Press, Cambridge **1<sup>nd</sup> ed**, 450.

Carney R. S., Aedrich R. L. H & Owe G. T. R. (1983) Zonation of fauna in the deep sea. *The sea* 8, 371–398.

Coull, B.C. (1988) Ecology of the marine meiofauna. In *Introduction to the study of meiofauna* (ed. R.P. Higgins and H. Thiel) London, Washington DC: Smithsonian Institution Press, 18–38.

Damuth, J. (1981) Population density and body size in mammals. *Nature* 290, 699–700.

De Ley, P., Decraemer W. & Eyualem-Abebe (2006) Introduction: Summary of Present Knowledge and Research addressing the Ecology and Taxonomy of Freshwater. *Ecology and Taxonomy of Freshwater*, 3–31,.

Elmgren, R. (1976) Baltic benthos communities and the role of meiofauna. *Contr. Askö Lab. Univ. of Stockholm, Sweden* 14, 1–31.

Etter R.J. & Grassle F.J. (1992) Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. *Nature* 360, 576–578.

Fenchel T (1974) Intrinsic rate of natural increase: The relationship with body size. *Oecologia* (Berlin) **14**, 317–326.

Fleeger J.W., Grippo M. A. & Pastorick S.T. (2011) What is the relative importance of sediment granulometry and vertical gradients to nematode morphometrics? *Marine Biology Research* **7**, 122–134.

Folk, R. C.; Ward W. C. (1957) Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* **27**, 3-27.

Fonseca G., Maria T.F., Kandravicius N., Venekey V., Gheller P.F. & Gallucci F. (2014) Testing for nematode-granulometry relationships. *Marine Biodiversity* **44**, 435-443.

Francisco W., Ricardo P., Medeiros P., Godoy F. & Viana B. (2008) Quantificação Preliminar Do Aporte De Sedimentos No Baixo São Francisco e Seus Principais Impactos. 1–14.

Giere, O. (1993) *Meiobenthology: the microscopic fauna in aquatic sediments*. Berlin: Springer-Verlag **2nd ed**, 328.

Gray, J. S., Elliot, M., (2010) *Ecology of marine sediment*. Oxford University Press **2nd Ed**, 226.

Heip C., Vincx M. & Vrank (1985) The ecology of marine nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **23**, 399–489.

Heip C, Basford D, Craeymeersch JA, Dewarumez JM, Dörjes J, de Wilde P, Duineveld G, Eleftheriou A, Herman PMJ, Niermann U, Kingston P, Künitzer A, Rachor E, Rumohr H, Soetaert K. (1992) Soltwedel Trends in biomass, density and diversity of North Sea macrofauna. *ICES Journal of Marine Science* **49**, 13–22.

Jensen P. (1987) Differences in microhabitat, abundance, biomass and body size between oxybiotic and thiobiotic free-living marine nematodes. *Oecologia* **71**, 564–567.

Kooijman S. (1986) Energy budgets can explain body size relations. *Journal of Theoretical Biology* **121**, 269–282

Leduc D., Rowden A. a., Probert P.K., Pilditch C. a., Nodder S.D., Vanreusel A., et al. (2012) Further evidence for the effect of particle-size diversity on deep-sea benthic biodiversity. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **63**, 164–169.

Losi V., Moreno M., Gaozza L., Vezzulli L., Fabiano M. & Albertelli G. (2013) Nematode biomass and allometric attributes as indicators of environmental quality in a Mediterranean harbour (Ligurian Sea, Italy). *Ecological Indicators* **30**, 80–89.

Michiels I.C. & Traunspurger W. (2005) Impact of resource availability on species composition and diversity in freshwater nematodes. *Oecologia* **142**, 98–103.

Moens, T. & Vincx, M. (1997) Observations on the feeding ecology of estuarine nematodes. *Journal Marine Biology Association. U.K.* **77**, 211-227..

Moens T., Verbeeck L. & Vincx M. (1999) Feeding biology of a predatory and a predatory nematode (*Enoploides longispiculosus* and *Adoncholaimus fuscus*). *Marine Biology* **134**, 585–593.

Nehring S., Jensen P. & Lorenzen S. (1990) Tube-dwelling nematodes: tube construction and possible ecological effects on sediment-water interfaces. *Marine Ecology Progress Series*, **64**: 123-128

Peters, R. H. (1983) *The ecological implications of body size.* - Cambridge University Press Cambridge, 329.

Quang N.X., Chau N.N. & Vanreusel A. (2014) Nematode morphometry and biomass patterns in relation to community characteristics and environmental variables in the Mekong Delta ,. **7600**, 501–512.

Ristau K. & Traunspurger W. (2011) Relation between nematode communities and trophic state in southern Swedish lakes. *Hydrobiologia* **663**, 121–133.

Schratzberger M., Warr K. & Rogers S.I. (2007) Functional diversity of nematode communities in the southwestern North Sea. *Marine Environmental Research* **63**, 368–389.

Schwinghamer, P. (1981) Extraction of living meiofauna from marine sediments by centrifugation in a silica sol-sorbitol mixture. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **38**, 476–478.

Snelgrove P.V.R. & Butman C.A. (1994). Animal sediment relationships revisited: Cause versus effect. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* **32**, 11-77.

Soetaert K, Heip C (1989) The size structure of nematode assemblages along a Mediterranean deep-sea transect. *Deep-Sea Research* **36**, 93–102.

Soetaert K., Franco M., Lampadariou N., Muthumbi A., Steyaert M., Vandepitte L., et al. (2009) Factors affecting nematode biomass, length and width from the shelf to the deep sea. *Marine Ecology Progress Series* **392**, 123–132.

Soetaert K., Muthumbi A. & Heip C. (2002) Size and shape of ocean margin nematodes: Morphological diversity and depth-related patterns. *Marine Ecology Progress Series* **242**, 179–193.

Suguio, L. (1973) *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher/ Edusp, 317.

Thiel H. (1975) The size structure of the deep-sea benthos. *Int Rev Gesamten Hydrobiol* **60**, 575–606.

Tita G., Vincx M. & Desrosiers G. (1999) Size spectra, body width and morphotypes of intertidal nematodes: an ecological interpretation. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* **79**, 1007–1015.

Udalov a. a., Azovsky a. I. & Mokievsky V.O. (2005) Depth-related pattern in nematode size: What does the depth itself really mean? *Progress in Oceanography* **67**, 1–23.

Vanaverbeke J., Gheskiere T., Steyaert M. & Vincx M. (2002) Nematode assemblages from subtidal sandbanks in the Southern Bight of the North Sea: Effect of small sedimentological differences. *Journal of Sea Research* **48**, 197–207.

Vanaverbeke J., Soetaert K. & Vincx M. (2004) Changes in morphometric characteristics of nematode communities during a spring phytoplankton bloom deposition. *Marine Ecology Progress Series* **273**, 139–146.

Vanaverbeke J., Steyaert M., Vanreusel A. & Vincx M. (2003) Nematode biomass spectra as descriptors of functional changes due to human and natural impact. *Marine Ecology Progress Series* **249**, 157–170.

Walkley, A.; Black, I.A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic and titration method. *Soil Science*, **37**, 29–38.

Warwick R.M. (1984) Species size distributions in marine benthic communities. *Oecologia* **61**, 32–41.

Warwick, R. M.; Platt, H. M.; Somerfield, P. J. (1998) Free-living marine Nematodes. Part III: British Monhysterid. **53**, 296.

Wieser, W. (1975): The meiofauna as a tool in the study of habitat ecophysiological aspects. A review. Cahiers De

Zullini, A. (2010) Identification Manual for Freshwater Nematode Genera.  
Università di Milano, Bicocca