



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

SUELEN NASCIMENTO DOS SANTOS

ESTRUTURA ESPAÇO-TEMPORAL DA COMUNIDADE MEIOFAUNÍSTICA EM
AMBIENTE HIPORREICO DO RIO BEBERIBE EM PERNAMBUCO

RECIFE – PE

FEV/2022

SUELEN NASCIMENTO DOS SANTOS

ESTRUTURA ESPAÇO-TEMPORAL DA COMUNIDADE MEIOFAUNÍSTICA EM
AMBIENTE HIPORREICO DO RIO BEBERIBE EM PERNAMBUCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Poluição Ambiental - Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa

Coorientador: Prof. Dr. Roberto da Boa Viagem Parahyba

RECIFE – PE

FEV/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237e Santos, Suelen Nascimento dos
Estrutura espaço-temporal da comunidade meiofaunística em ambiente hiporreico do rio Beberibe em Pernambuco /
Suelen Nascimento dos Santos. - 2022.
98 f. : il.

Orientador: Fernando Cartaxo Rolim Neto.
Coorientador: Marcus Metri Correa.
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2022.

1. Ecologia. 2. Meiobentos. 3. Zona Hiporreica. 4. Recursos Hídricos. 5. Qualidade de água. I. Neto, Fernando Cartaxo Rolim, orient. II. Correa, Marcus Metri, coorient. III. Título

CDD 620.8

SUELEN NASCIMENTO DOS SANTOS

ESTRUTURA ESPAÇO-TEMPORAL DA COMUNIDADE MEIOFAUNÍSTICA EM
AMBIENTE HIPORREICO DO RIO BEBERIBE EM PERNAMBUCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Poluição Ambiental; Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Aprovada em ___ de ___ de _____

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto (Orientador)
– Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Anildo Monteiro Caldas
(Membro Externo) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de
Arruda (Membro Interno) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissara
(Suplente Externo) – Universidade de
Jaboticabal

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda
(Suplente Interno) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco

Ao meu noivo, amigo,
companheiro e parceiro
acadêmico. Obrigada por
ser tudo isso para mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por ter me concedido saúde para conseguir finalizar mais uma etapa importante da minha vida. Tudo isso em meio ao caos e aos acontecimentos que me prejudicaram, mas, felizmente, não impediram o meu desenvolvimento.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental – PPEAMB da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, por permitir o desenvolvimento dessa pesquisa juntamente com o meu Prof. Orientador.

Ao meu Orientador, Prof. Fernando Cartaxo, por ter me acolhido muito antes de me conhecer e por ter confiado em mim do início ao fim.

Ao meu noivo, Matheus Assis de Oliveira, por estar sempre presente em minha vida, além de sempre conseguir me manter estável e firme nessa caminhada.

Aos meus Coorientadores, por aceitarem participar dessa etapa da minha vida.

Ao Prof. Romildo e à Walquíria, por serem compreensíveis e terem me ajudado na concessão da minha bolsa de estudo.

À minha mãe, Rosângela, por toda ajuda concedida a mim.

À Coordenação do Laboratório de Bentos – LABEN do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, por ceder o espaço para que as análises fossem realizadas, em especial ao Prof. Dr. José Souto e a Nykon Craveiro, pelo acolhimento e toda ajuda prestada.

Ao Grupo de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, por se fazer presente e sempre disposto a contribuir, em especial ao Prof. Jaime Cabral, por também disponibilizar o seu laboratório para análises e a Adson Carvalho, por auxiliar nas coletas em campo.

À CAPES, pela concessão da bolsa durante esses dois anos de pesquisa, o que contribuiu e permitiu todo o desenvolvimento desse trabalho de Dissertação.

E por fim, a todos os membros da minha família que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

*“O universo é uma harmonia de
contrários”.*

Pitágoras.

RESUMO

Os recursos hídricos estão cada vez mais sendo degradados e, junto a isso, políticas públicas de abastecimento de água estão impulsionando o surgimento de técnicas que auxiliem na solução da crise hídrica. Para a elegibilidade de algumas dessas técnicas, o estudo da zona hiporreica de um rio, por exemplo, se faz essencial para se compreenderem aspectos ecológicos que influenciam na atenuação de contaminantes, como os organismos bentônicos, também conhecidos como meiofauna, que habitam o interstício sedimentar e colaboram no processo de purificação e depuração da água. O ambiente hiporreico é a interface entre o ambiente superficial e o subterrâneo, sendo de fundamental importância o seu estudo a fim de relacionar a meiofauna e sua ecologia, como preferências sedimentares e modelos de distribuição, evidenciando, assim, a diversidade e abundância destes. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os organismos da meiofauna hiporreica e verificar diferenças significativas em sua distribuição entre os fatores período, ponto e profundidade. Foram realizadas coletas de sedimentos em três réplicas, nos períodos seco e chuvoso, com a utilização de um amostrador subdividido em profundidades de 0 a 5cm e 5 a 10cm. Foram coletados os organismos da meiofauna e também amostras deformadas de sedimento. Dois pontos de amostragem foram selecionados em diferentes trechos do rio Beberibe em Pernambuco. O Ponto 1 está inserido em uma área com remanescente de Mata Atlântica enquanto que o Ponto 2 está em uma região bastante urbanizada. Também foi realizada a medição de parâmetros abióticos como pH, temperatura e salinidade. Foi realizada uma caracterização granulométrica do solo, identificação dos organismos e testes de diversidade a fim de se entender a distribuição da meiofauna. Também foi realizada uma análise bibliométrica a fim de se demonstrar o pouco que vem sendo publicado pelo mundo a respeito desses organismos bentônicos de água doce. Para essa análise foi realizado um levantamento bibliográfico feito a partir das bases de dados da Web of Science (WoS) e SCOPUS, utilizando-se as palavras-chave “Meiofauna”, “Meiobentos”, “Zona hiporreica” e “Água doce”. Os resultados da estrutura da comunidade foram apresentados através de agrupamentos hierárquicos divisivos utilizando-se a distância de Bray-Curtis, método de agrupamento de Ward e o teste ANOSIM para a força da clusterização e sua significância. O PCA foi realizado para se visualizar a contribuição das variáveis abióticas nos fatores testados. Também foram realizadas PERMANOVAs de 1, 2 e 3 vias, relacionando-se variáveis ambientais e os fatores período climático e ponto amostral. O intervalo de confiança adotado foi de 95% ($p < 0,05$). Os resultados da análise bibliométrica mostraram um número total de 28 documentos concentrados principalmente na Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. Os resultados a respeito da estrutura da comunidade meiofaunística mostraram que a composição dos organismos variaram significativamente nos espaços (Ponto 1 e Ponto 2) e tempos (período seco e chuvoso) analisados ($p < 0,05$), mas nenhuma diferença significativa foi vista para o fator profundidade ($p > 0,05$).

Palavras-chave: Ecologia; Meiobentos; Zona Hiporreica; Recursos Hídricos; Qualidade de água.

ABSTRACT

Water resources are increasingly being degraded and, together with this, public policies for water supply are driving the emergence of techniques that help in solving the water crisis. For the eligibility of some of these techniques, the study of the hyporheic zone of a river, for example, is essential to understand ecological aspects that influence the attenuation of contaminants, such as benthic organisms, also known as meiofauna, which inhabit the sedimentary interstice and collaborate in the water purification process. The hyporheic environment is the interface between the surface and subterranean environment, and its study is of fundamental importance in order to relate the meiofauna and its ecology, such as sedimentary preferences and distribution models, thus showing their diversity and abundance. The present work aimed to characterize the organisms of the hyporheic meiofauna and verify significant differences in their distribution between the period, point and depth factors. Sediments were collected in three replicates, in the dry and rainy periods, using a sampler subdivided into depths from 0 to 5 cm and 5 to 10 cm. Meiofauna organisms and deformed sediment samples were collected. Two sampling points were selected in different stretches of the Beberibe River in Pernambuco. Ponto 1 is located in an area with remnants of Mata Atlântica, while Ponto 2 is in a highly urbanized region. Abiotic parameters such as pH, temperature and salinity were also measured. A soil granulometric characterization, identification of organisms and diversity tests were carried out in order to understand the distribution of meiofauna. A bibliometric analysis was also carried out in order to demonstrate the little that has been published around the world about these freshwater benthic organisms. For this analysis, a bibliographic survey was carried out from the Web of Science (WoS) and SCOPUS databases, using the keywords "Meiofauna", "Meiobentos", "Hyperrheic Zone" and "Freshwater". The community structure results were presented through divisive hierarchical clusters using the Bray-Curtis distance, Ward clustering method and the ANOSIM test for clustering strength and significance. Principal Component Analysis (PCA) was performed to visualize the contribution of abiotic variables to the factors tested. 1, 2 and 3-way PERMANOVAs were also carried out, relating environmental variables and the climatic period and sampling point factors. The confidence interval adopted was 95% ($p < 0.05$). The results of the bibliometric analysis showed a total number of 28 documents concentrated mainly in Germany, the United Kingdom and the United States. The results regarding the structure of the meiofaunistic community showed that the composition of organisms varied significantly in the spaces (Point 1 and Point 2) and times (dry and rainy season) analyzed ($p < 0.05$), but no significant difference was seen for the depth factor ($p > 0.05$).

Keywords: Ecology; Meiobentos; Hyporheic zone; Water resources, Water quality.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ilustração da técnica de Filtração em Margem ou “river bank filtration”20
- Figura 2.** Alguns dos organismos que compõem a meiofauna: a) Cladocera; b) Nematoda; c) Rotifera; d) Gastrotricha; e) Rotifera 23
- Figura 3.** Atuação da meiofauna hiporreica.....26

Capítulo I

- Figura 1. (A)** Produção científica ao longo dos anos; **(B)** Total de citações ao longo dos anos e seus respectivos modelos lineares de publicações e citações ao longo do tempo.41
- Figura 2.** Interações dos países e respectivas publicações por tamanho de círculo. Máximo de publicações por país: 6; mínimo de publicações por país: 1.42
- Figura 3.** Produção dos principais autores, seu número de artigos e total de citações por ano. N = Número; TC = Total de citações.....43
- Figura 4.** Rede de citações diretas dos autores ao longo do tempo.....44
- Figura 5.** Ocorrências acumuladas das cinco palavras-chave mais utilizadas ao longo do tempo (meiofauna, zona hiporreica e água doce omitidas).45
- Figura 6.** MCA das palavras-chave mais utilizadas e sua rede de co-ocorrências (suas ocorrências são discriminadas pelo tamanho do círculo)46

Capítulo II

- Figura 1.** Localização da Bacia hidrográfica do rio Beberibe e da área experimental...58
- Figura 2.** Ilustração do amostrador utilizado nas coletas59
- Figura 3.** Dendograma expressando graficamente agrupamentos dos períodos climáticos e pontos coletados. A distância utilizada foi Bray-Curtis com o método divisivo e ligação pelo método de Ward. ANOSIM representado para os fatores testados.62
- Figura 4.** Análise de componentes principais (PCA). A) Agrupamento dos períodos climáticos quanto às variáveis e suas respectivas contribuições. B) Agrupamento dos pontos quanto às variáveis e suas respectivas contribuições.....63
- Figura 5.** Representação gráfica dos valores observados a partir do Boxplot utilizando-se os fatores Período climático (A) e Ponto amostral (B).....67
- Figura 6.** Barplot mostrando a contribuição relativa de cada espécie para cada fator....69

Figura 7. Diversidade a partir da curva de acumulação da sequência q dos números de Hill para os períodos climáticos. A) Completude amostral pelas ordens de q . B) Diversidade efetiva separada pelas ordens de q sobre a completude amostral. C) Diversidade empírica e assintótica sobre as ordens q . D) Equitabilidade de Pielou sobre ordens q71

Figura 8. Diversidade a partir da curva de acumulação da sequência q dos números de Hill para os pontos amostrais. A) Completude amostral pelas ordens de q . B) Diversidade efetiva separada pelas ordens de q sobre a completude amostral. C) Diversidade empírica e assintótica sobre as ordens q . D) Equitabilidade de Pielou sobre ordens q72

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Pesquisa e suas combinações utilizadas para a análise bibliométrica realizada na base de dados Web of Science. TI: título, KP: palavra-chave.....39

Tabela 2. Cinco palavras-chave mais frequentes e suas respectivas tendências de centralidade (meiofauna, zona hiporreica e água doce omitidas).....44

Tabela 3. Periódicos, suas publicações e Fatores de Impacto encontrados47

Capítulo II

Tabela 1. PERMANOVA da influência dos fatores ambientais na abundância da meiofauna.65

Tabela 2. Presença e ausência dos taxa nos fatores períodos climáticos e pontos amostrais70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Diferentes classificações da Zona hiporreica.....21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
4.1. Degradação dos recursos hídricos.....	17
4.2 Rio Beberibe	18
4.3 Zona hiporreica.....	20
4.4 Meiofauna	22
4.5 Índices de diversidade.....	27
5. REFERÊNCIAS	29
<i>CAPÍTULO I:</i>	35
RESUMO	36
1. INTRODUÇÃO	37
2. METODOLOGIA	39
3. RESULTADOS	40
4. DISCUSSÃO	48
5. CONCLUSÃO	49
AGRADECIMENTOS	50
REFERÊNCIAS	50
<i>CAPÍTULO II</i>	53
RESUMO	54
1. INTRODUÇÃO	55
2. METODOLOGIA	57
3. RESULTADOS	61
4. DISCUSSÃO	73
5. CONCLUSÃO	76
AGRADECIMENTOS	76
REFERÊNCIAS	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
APÊNDICE	81

1. INTRODUÇÃO GERAL

O recurso água possui apenas uma pequena fração que está disponível para o seu devido uso e exploração direta (BARBOSA, 2015). Com a industrialização e o crescimento populacional, a poluição dos recursos hídricos infelizmente vem aumentando de maneira significativa e comprometedora, exigindo fortes decisões de cunho social, político e econômico para se enfrentarem problemas ambientais e se realizarem ponderações sobre a utilização adequada dos recursos naturais (SANTIN & GOELLNER, 2013).

No Brasil há muitos mananciais poluídos e juntamente com os cenários climáticos e interferências humanas, este quadro está se tornando cada vez mais alarmante (FORMIGA-JOHNSSON & BRITTO, 2020). O estado de Pernambuco sofre com a falta de água de abastecimento com boa qualidade por conta de diferentes níveis de degradação das águas superficiais (SILVA, 2017). Pernambuco também convive com cenários de escassez de água, prejudicando a saúde e a qualidade de vida da população (VERAS et al., 2017; FREITAS, 2018).

Fatores como esses ocasionam a competição por água para usos múltiplos e, nesse panorama, o déficit no abastecimento de água está gerando um aumento na exploração dos aquíferos. De maneira geral as fontes hídricas subterrâneas têm uma melhor qualidade do que as águas superficiais, sendo consideradas reservas estratégicas nos últimos anos (VERAS et al., 2017). A partir do exposto, são de total importância métodos para a recuperação da qualidade das águas de abastecimento.

Diferentes trabalhos têm sido publicados com a temática relacionada à interação rio-aquífero, destacando a zona hiporreica (BOULTON et al., 2010; BIANCHIN et al., 2011; MUGNAI et al., 2015; CAVAZZANA et al., 2019). Esta zona de interação é considerada um ecossistema de grande influência através de um conjunto de reações importantes (VERAS, 2017). É uma interface de transição entre o ambiente superficial e o subterrâneo, sendo uma região onde ocorrem processos biológicos que auxiliam na melhoria da qualidade da água (LAWRENCE et al., 2013). A zona hiporreica merece destaque por ser uma região influente e responsável como reguladora no fluxo de água, além de ser considerada um filtro natural potencialmente capaz de atenuar contaminantes. Nesse ambiente intersticial existem organismos bentônicos cujas atividades conseguem auxiliar no processo de filtração natural de poluentes. Esses organismos formam nichos entre os espaços intersticiais, nos quais os tamanhos das partículas dos grãos, matéria orgânica existente e profundidade, por exemplo, são parâmetros que influenciam na sua distribuição. Liu et al. (2017) destacam a importância

desses organismos nessa zona hiporreica, ressaltando a necessidade de preservação da mesma. Diferentes técnicas de filtração de água necessitam de um estudo prévio sobre a zona hiporreica, como por exemplo a técnica de Filtração em Margem, no qual contaminantes são removidos por processos naturais de atenuação através da infiltração e percolação da água pelo meio poroso. Para isso, o estudo dos organismos que vivem nesse ambiente intersticial se faz essencial, visto que são capazes de auxiliar no processo de filtração natural de poluentes.

A necessidade do conhecimento da distribuição desses organismos e sua relação com os fatores ambientais, ocorre pelo fato de que a meiofauna de água doce ainda é pouco estudada, necessitando-se ampliar informações sobre esse grupo de organismos tão importante para o funcionamento do ecossistema de rios.

Pesquisas reportam a relação entre a meiofauna e fatores climatológicos, sendo esses fatores responsáveis por variações sazonais nas comunidades bentônicas (PACIOGLU et al., 2017; MAGLIOZZI et al., 2018; DOS SANTOS et al., 2021). A variedade e a complexidade dos organismos são características sistemáticas fundamentais para se entender como a chuva e o período de estiagem, por exemplo, influenciam nos padrões de distribuição destes indivíduos e melhor compreender a relação indivíduo-ambiente.

Nesse contexto, o rio Beberibe que se encontra demasiadamente poluído, já possui em suas margens uma estação piloto de filtração em margem situada no terreno da Estação Elevatória de Caixa D'água, da COMPESA, localizada no bairro de Caixa D'água, próxima às Matas de Passarinho e de Dois Unidos (PAIVA, 2009). Estudos vêm sendo desenvolvidos ao longo das margens do rio Beberibe (DE FREITAS, 2015; VERAS, 2018; FREITAS, 2018) destacando-se cada vez mais a importância de se caracterizar essa região hiporreica. Devido a isso, faz-se necessário um estudo exploratório acerca dos organismos hiporreicos que habitam esta zona, aumentando-se cada vez mais caminhos e esclarecendo detalhes científicos sobre a ecologia da meiofauna de água doce.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar a comunidade da meiofauna em dois diferentes trechos do rio Beberibe, demonstrando como os organismos estão distribuídos pela matriz sedimentar, evidenciando-se a abundância e diversidade meiofaunística em diferentes condições ambientais.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar, ao nível de grandes grupos, os organismos presentes nos sedimentos hiporreicos em dois pontos distintos;
- Verificar a distribuição temporal dos organismos nos períodos seco e chuvoso;
- Analisar, a partir de testes estatísticos, as influências dos fatores (ponto, profundidade e período do ano) sobre a distribuição dos organismos;
- Observar como diferentes variáveis ambientais podem influenciar na diversidade, abundância, riqueza e equitabilidade dos taxa encontrados.

3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho de dissertação foi escrito em formato de artigo. A partir disso, foi decidido subdividir em dois diferentes capítulos:

Capítulo 1 – A negligenciada área dos meiobentos: uma análise bibliométrica no status de pesquisas sobre meiofauna de água doce

Capítulo 2 – Diversidade, abundância e composição da meiofauna de água doce do rio Beberibe – Pernambuco, Brasil.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Degradação dos recursos hídricos

O recurso água é de fundamental importância para todo o Planeta e, junto a isso, a busca pelo equilíbrio entre a qualidade e a disponibilidade está cada vez mais sendo almejada. O ambiente aquático é utilizado para diferentes funções, como o abastecimento de água, irrigação, agricultura, geração de energia e até mesmo a navegação. A terra é composta por grandes massas de água, contudo, sabe-se que mais da metade da totalidade não está disponível para o consumo humano, pois estão em formas de calotas polares ou até mesmo represadas em aquíferos (OLIVEIRA et al., 2021).

Desde muito tempo a água é vista como um bem comum e essencial para a vida, sendo também, passiva de proteção jurídica (CAPELLARI & CAPELLARI, 2018). Por ser um recurso natural de grande valia, há diversos conflitos relacionados à crise hídrica (Diniz et al., 2021), fazendo toda a sociedade repensar o seu uso, visto que junto à crise, pressões sobre os recursos hídricos se agravam continuamente, fazendo a humanidade entrar em estado de alerta. A crise hídrica promove mudanças na distribuição e acesso à água potável, visto que, muitas vezes, a exploração acirrada e desregulada compromete a sustentabilidade do meio ambiente e ameaça a vida (FISCHER et al., 2016).

Com esta crise, também surgem problemas de saúde pública e de abastecimento, estresse e escassez da água, mudanças globais e eventos hidrológicos extremos, juntamente com o aumento da poluição hídrica e problemas de qualidade da água. A disponibilidade de água para consumo humano está comprometida, principalmente se atentando ao fato de que é necessário um abastecimento público acessível e de distribuição equânime. Com isso, a demanda pela água está cada vez mais aumentando e estratégias vêm surgindo para um abastecimento público de qualidade e ordenado. Dessa maneira, o abastecimento público, se tratando de qualidade e quantidade é uma preocupação atual, em função da deterioração crescente dos recursos hídricos (DINIZ et al., 2021).

Sabe-se que a poluição compromete os mananciais e isso está tornando os recursos hídricos degradados (DA SILVA et al., 2021). Lançamento de dejetos e o descarte inadequado, por exemplo, modificam toda a estrutura físico-química dos mananciais, levando a processos de degradação ambiental. Desse modo, a qualidade da água torna-se cada vez mais prejudicada, ocasionando doenças e afetando bruscamente a qualidade para abastecimento e consumo humano (RAHAL, 2015).

Um exemplo marcante de degradação dos recursos hídricos pode ser lembrado com a doença de Minamata, ou também conhecida como “a doença dos gatos dançantes”, episódio importante que ocorreu em 1956, no qual o descarte inadequado de resíduos industriais diretamente na baía de Minamata, província de Kumamoto, Japão, resultou em uma contaminação por mercúrio em grande escala, prejudicando a qualidade da água e dos pescados (CARNEIRO, 2010; BANK, 2020). Todos os alimentos consumidos que eram retirados da baía sofreram contaminação ao longo da cadeia trófica, ocasionando centenas de mortes em animais e seres humanos em um efeito ecológico conhecido como biomagnificação (ETO et al., 2010). Episódios assim só enfatizam que é de extrema importância o uso racional dos recursos naturais, pois poluentes assim podem causar desequilíbrio no ecossistema, alterando todo o funcionamento natural e causando danos irreversíveis (LEON et al., 2020).

Os mananciais sofrem diferentes pressões, como por exemplo, ocupações desordenadas em seu entorno, fato que compromete ainda mais a qualidade de suas águas, despertando o interesse pelo aprimoramento de técnicas de depuração de contaminantes (PRESTES, 2016; FREITAS et al., 2017). No Brasil, é comum se encontrarem mananciais com algum indício de poluição e em níveis alarmantes, situação que vem se agravando com o descarte inadequado de dejetos urbanos e a ocupação no entorno dos rios (MOREIRA et al., 2021). O uso desordenado e de maneira irracional deste recurso tão importante, ocasiona a poluição não só de rios, mas também de mares, oceanos e lagos, por exemplo, podendo levar à falta de água doce no Planeta.

Dentre todos os compartimentos ambientais, a água é um dos mais vulneráveis e que vem sofrendo diferentes pressões frente às mudanças climáticas, desmatamento e desertificação (AUGUSTO et al., 2012). Os recursos hídricos também sofrem com a superexploração de aquíferos, aumentando a escassez de água e contribuindo com a crise hídrica. Estima-se que mais de 80% das doenças em países em desenvolvimento são causadas através do consumo de água contaminada (OLIVEIRA et al., 2015).

4.2 Rio Beberibe

O rio Beberibe, localizado na região Nordeste do Brasil, é considerado um dos rios mais poluídos de Pernambuco e um dos motivos que contribuem para isso são os assentamentos instalados em suas margens, sendo locais pontuais de eliminação de dejetos (OLIVEIRA et al., 2014). A partir desse rio é realizado o abastecimento de diversos

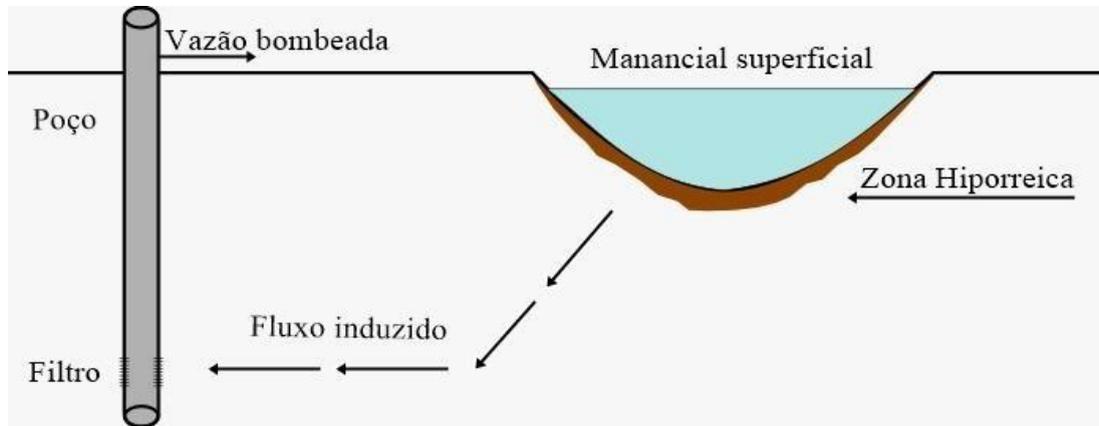
municípios da Região Metropolitana do Recife – RMR (DEMÉTRIO et al., 2013). Suas águas estão comprometidas, mesmo sendo o rio que abastece diferentes bairros do Recife.

Segundo Almeida e Corrêa (2012), existem inúmeros assentamentos urbanos que colocam em risco a qualidade ambiental. Freitas et al. (2015) encontraram em suas pesquisas, protozoários patogênicos em grande quantidade, principalmente helmintos, nas águas do manancial do rio Beberibe, enfatizando uma grande problemática quando se trata de saneamento básico e saúde pública. Em meados do século XIX, este rio era o principal meio de abastecimento de água das cidades de Recife e Olinda e como era de se esperar, a urbanização agravou ainda mais o problema de abastecimento, além de acelerar o desgaste dos rios (CAMPOS, 2008).

Desse modo, os cursos d'água vêm sofrendo com a poluição de suas águas, enfatizando-se o rio Beberibe, que se encontra bastante degradado e está cada vez mais a piorar, devido aos assentamentos urbanos que interferem diretamente na qualidade de suas águas (PINHO, 2019). Sabe-se que a poluição dos mananciais vem aumentando e, com o aumento da complexidade da poluição, cresce também a exigência e um aumento no aprimoramento de técnicas de abastecimento (THAKUR et al., 2012; VERAS et al., 2018). Junto a isso, técnicas alternativas como a filtração em margem vêm sendo aperfeiçoadas para que possibilitem uma atenuação natural de contaminantes, como ilustrada na Figura 1.

Para que ocorra a melhoria da qualidade da água, é necessário, em muitas dessas técnicas, que ocorram diferentes processos físicos, químicos e biológicos, melhorando fatores como odor, sabor e turbidez da água (SAHOO et al., 2005). Além disso, muitos desses processos irão ser influenciados a depender das características da interface rio-aquífero e da própria zona hiporreica.

Figura 1. Ilustração da técnica de Filtração em Margem ou “river bank filtration”. Poços são pré instalados próximos ao rio e um bombeamento é induzido para que ocorra uma diferença de carga hidráulica, sendo inferior no poço e, assim, induzindo a passagem de água do manancial até o poço, passando pela matriz sedimentar. Com a diferença de carga hidráulica, a água é induzida a infiltrar e percolar pela região sedimentar do rio, sendo chamada de zona hiporreica.



Fonte: O autor (2022).

4.3 Zona hiporreica

A zona hiporreica é de fundamental importância como atuante das funções básicas em ecossistemas ripários. É a região onde há mistura entre o manancial superficial e o lençol freático, ou seja, onde esses dois ambientes interagem com trocas hidrodinâmicas. É considerada um ecótono na ecologia dos rios, sendo um ambiente dinâmico e com uma microfauna distinta e adaptada, sendo considerado um habitat com taxas elevadas de biodiversidade (MAGLIOZZI et al., 2019). Essa zona conecta as águas superficiais e subterrâneas, compondo um sistema único, com características hidrológicas, químicas e biológicas específicas, não pertencendo de fato nem às águas superficiais, nem às subterrâneas (MUGNAI et al., 2015).

O Quadro 1 abaixo demonstra os diferentes conceitos dessa zona. Essa zona é um componente essencial dos ecossistemas fluviais, tanto estruturalmente como funcionalmente. Pesquisas na Austrália e Nova Zelândia, por exemplo, afirmam que a contribuição da zona hiporreica é crucial para o funcionamento do ecossistema do rio, enfatizando a sua importância como um ecótono (PACIOGLU, 2010).

Quadro 1. Diferentes classificações da Zona hiporreica.

Definição original Dahm et al. (2006)	Habitat intersticial abaixo de um riacho limitado pela água superficial acima e por águas subterrâneas por baixo
Definição hidrológica Tonina e Buffington (2009)	Volume de sedimento no qual a troca de água entre o canal aberto e as águas subterrâneas são resultados dos gradientes de pressão do leito e a condutividade hidráulica
Definição geoquímica Tonina e Buffington (2009)	Volume de sedimento contendo uma porcentagem de água superficial
Definição biológica Tonina e Buffington (2009)	Volume de sedimentos que abriga uma comunidade hiporreica característica

Fonte: O autor, (2022).

A zona hiporreica funciona como reguladora do fluxo de água, refúgio de organismos invertebrados e região de transformação de matéria orgânica. Pode ser considerada um filtro natural capaz de mitigar processos e variações que afetam os ambientes aquáticos superficiais e subterrâneos (BRUNKE e GONSER, 1997). Ou seja, os poluentes podem ser degradados antes de se espalharem pelo corpo hídrico, a partir de transformações bioquímicas e metabólicas; ocorrendo, assim, a purificação da água em trechos de riachos (LIU et al., 2017). É uma zona conhecida por ser bem peculiar e com características próprias, além de possuir relevância para pesquisas científicas, visto que é uma região capaz de atenuar poluentes, sendo importante a sua investigação e entendimento (ENVIRONMENTAL AGENCY, 2005).

A região hiporreica abriga uma extensa comunidade de organismos que vivem nesse meio poroso. Essa região sofre influência de diversos fatores ambientais e também influencia a integridade dos ecossistemas (KRUEGLER et al., 2020). Por esses motivos, infelizmente a zona hiporreica é um ambiente aquático que está ameaçado, pois é fortemente influenciada por atividades antrópicas.

Mudanças tanto espaciais quanto temporais podem ocorrer, modificando as características desta zona e levando a alteração nas transformações biogeoquímicas naturais que ocorrerem nessa região. Essa zona está fortemente associada às propriedades do meio

poroso, como a permeabilidade e a porosidade, por exemplo (GOMEZ et al., 2012).

O ambiente hiporreico fornece diferentes serviços ecossistêmicos, desempenhando funções de transformação de matéria orgânica, funcionando como um regulador de fluxo de água e sendo refúgio para os organismos da meiofauna.

Sendo assim, é extremamente importante a conservação dessa região, visto que é reguladora de diferentes funções no ecossistema e permite a conectividade ecológica entre o meio aquático (MUGNAI et al., 2015; YANG et al., 2018).

Diversos autores reconhecem a importância da região hiporreica e dos organismos que nela habitam, atuando como peça chave na atenuação de contaminantes e funcionando como um biorreator (PERALTA-MARAVÉ et al., 2019). Desse modo, inúmeras pesquisas começaram a estudar a variação da estrutura da comunidade bentônica-hiporreica, a fim de estudar esse compartimento biológico e suas características para compreender a eficiência da depuração de contaminantes. Peralta-Maraver et al. (2019), viram em suas pesquisas que as características biológicas dos organismos bentônicos da zona hiporreica, principalmente parâmetros de diversidade α , se relacionavam positivamente com o funcionamento da zona hiporreica.

O potencial de remoção de fármacos foi constatado por autores como Rutere et al., (2020), os quais estudaram a região da zona hiporreica em um rio impactado, conseguindo uma degradação eficaz do composto ibuprofeno através dos organismos desta zona. Dado isso, foi constatado que os sedimentos da zona hiporreica juntamente com os organismos, sustentam um potencial de degradação biótico de micropoluentes.

Negishi et al. (2019) enfatizaram que interações da zona hiporreica com a meiofauna são importantes para a manutenção da integridade dos ecossistemas fluviais. Em contrapartida, ressaltam que são escassos estudos acerca desses invertebrados hiporreicos associados à poluição das águas.

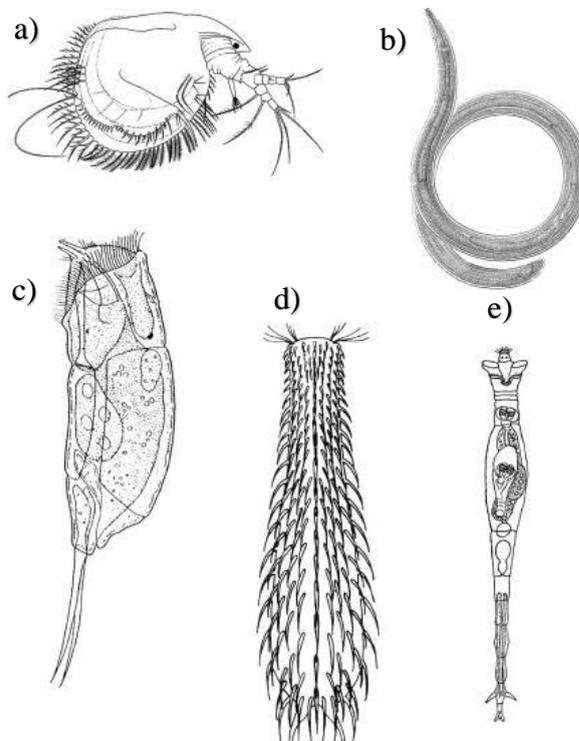
Especialmente em rios moderadamente poluídos, impactos muito comuns no ecossistema são as mudanças na estrutura da comunidade hiporreica (TERUI et al., 2018). Esses organismos são também influenciados pelas características do ambiente que os circundam, como por exemplo os recursos alimentares e tamanho das partículas dos sedimentos e, dessa maneira, a zona hiporreica está fortemente relacionada com a troca de nutrientes e migrações desses organismos (BOULTON et al., 2010).

4.4 Meiofauna

A meiofauna engloba organismos invertebrados muito pequenos, os quais são associados aos sedimentos de muitos riachos, rios e mares (Figura 2). A meiofauna, ou também chamada de meiobentos é definida como um grupo de metazoários que habitam o meio bentônico e que passam por uma peneira com malha entre 65 - 500 μ m e ficam retidos em peneiras com abertura de malha entre 45 - 63 μ m (HIGGINS & THIEL, 1988; PALMER et al., 2007; GIÉRE, 2009).

Esses organismos são de fundamental importância para o ecossistema, mas também são, muitas vezes, negligenciados (HAEGERBAEUMER et al., 2017).

Figura 2. Alguns dos organismos que compõem a meiofauna:
a) Cladocera; b) Nematoda; c) Rotifera; d) Gastrotricha; e) Rotifera.



Fonte: Palmer et al., (2007).

Há muitas vantagens em se estudar a meiofauna pela mesma possuir curto tempo de gerações, são abundantes, se associam aos sedimentos e dão respostas ambientais rápidas, além de possuírem facilidade de coleta. Por esses motivos, são considerados organismos experimentais ideais desde muito tempo (WARWICK, 1993).

Estudos ecológicos baseados na comunidade meiofaunística mostraram que há diferentes mecanismos que afetam a ecologia do rio, sendo capaz de influenciar no oxigênio

dissolvido, deposição de partículas finas e processos metabólicos, por exemplo (MATHERS et al., 2014). Sendo assim, as características físico-químicas da zona hiporreica variam espacialmente e temporalmente em pequenas escalas, podendo ocorrer mudanças no ambiente hiporreico no que se trata de nutrientes, fluxo e distribuição dos nichos, visto que os organismos da zona hiporreica são susceptíveis à pequenas mudanças, modificando seus processos ambientais de fluxo no sedimento (MAGLIOZZI et al., 2018). Porém, como supracitado, há poucas informações disponíveis a respeito das conexões existentes entre a zona hiporreica e os organismos que a habitam (FLORES et al., 2017).

Sendo assim, estudos que ampliem a compreensão dos processos da zona hiporreica e sua relação com a distribuição e ocorrência dos invertebrados bentônicos, são de fundamental importância. Nesse sentido, investigações que demonstrem como se dá a distribuição da comunidade em locais com características diferentes, como fatores físicos, sedimentológicos e químicos, por exemplo, gerarão dados ambientais importantes de resposta à meiofauna (MAGLIOZZI, 2019).

Os taxa que habitam a zona hiporreica são adaptados morfologicamente ao espaço entre o meio poroso e à vida limitada a recursos, como oxigênio, por exemplo. Possuem corpos mais achatados e alongados, sendo mais bem adaptados para escavar o meio poroso e sobreviver em correntes de água, escapando de predadores (NEGISHI et al., 2019). Esses organismos não são pigmentados, possuem apêndices com receptores químicos e mecânicos. Um controle ambiental da comunidade meiofaunística é dito como um processo importante para desenvolver estratégias de gestão e conservação (MAGLIOZZI, 2019).

Contudo, apesar de se saber que a meiofauna hiporreica é importante no funcionamento do ecossistema de rios, ela não é tão estudada quanto a meiofauna de praias. Independente disso, entende-se que há uma potencial importância desses invertebrados de água doce para os processos ecossistêmicos em rios e sedimentos. Autores como Huang et al. (2014) afirmaram que a matéria orgânica e o oxigênio podem ser ditos como fatores limitantes para a distribuição desses organismos. Já pesquisas de Hoffmann et al. (2011) mostraram que a abundância dos organismos pode diminuir com a profundidade dos sedimentos. Dessa maneira, pode-se entender que a distribuição da meiofauna está diretamente relacionada aos fatores ambientais como oxigênio, matéria orgânica, mudanças na estrutura do sedimento, profundidade, entre outros. Em vista disso, torna-se necessário uma investigação aprofundada da comunidade bentônica em relação a diferentes parâmetros, principalmente no que se trata dos teores de matéria orgânica que mudam a depender da estratificação da coleta, períodos do ano, pontos de amostragem (se há contribuição antrópica ou não, por exemplo), dentre

outros fatores.

De certa forma, a abundância dos organismos difere a depender do local e suas variações abióticas, como também fatores bióticos. Mas, em geral, substratos mais arenosos contêm uma maior diversidade de organismos, assim como a densidade muitas vezes é maior nas camadas superiores do substrato. Com os espaços intersticiais sendo maiores, teoricamente leva a um aumento no número de espécies registradas (PACIOGLU, 2010).

Mas todos esses parâmetros são altamente variáveis, impedindo uma certeza absoluta a respeito da distribuição espacial desses organismos. Visto isso, é importante a realização de estudos que retratam a distribuição e preferências da meiofauna hiporreica a fim de contribuir para questões ambientais (SILVA et al., 1997).

A meiofauna possui um leque de importâncias, podendo ser citada a biomineralização da matéria orgânica, sendo indispensável na regeneração de nutrientes para o ecossistema através da transformação de substâncias. Além disso, a meiofauna é capaz de aerar o solo, ou seja, através de suas atividades biológicas, esses organismos conseguem escavar o substrato pelas suas movimentações, favorecendo a bioturbação do solo, mediando diferentes processos no ecossistema (SCHRATZBERGER & INGELS, 2018). Esses organismos contribuem na ciclagem de matéria orgânica, além de servir de alimento para outros organismos ao longo da cadeia trófica (GIERE, 2009). Contudo, a meiofauna é bastante sensível às mudanças ambientais, sendo o excesso de nutrientes capaz de afetar o equilíbrio ecossistêmico local e levar a condições hipóxicas, prejudicando e interferindo na sua distribuição.

Pacioglu et al. (2017) examinaram a distribuição vertical e a dinâmica temporal da comunidade de invertebrados da zona hiporreica de bacias hidrográficas em Dorset, sudoeste do Reino Unido e verificaram que a densidade dos taxa diminuiu significativamente com o aumento da profundidade. Os testes foram realizados nas profundidades de 20 e 35 cm. É crucial o melhor entendimento sobre como as espécies de meiofauna estão distribuídas, tanto em regiões geográficas como em pequenos habitats e em diferentes escalas de tempo e espaço.

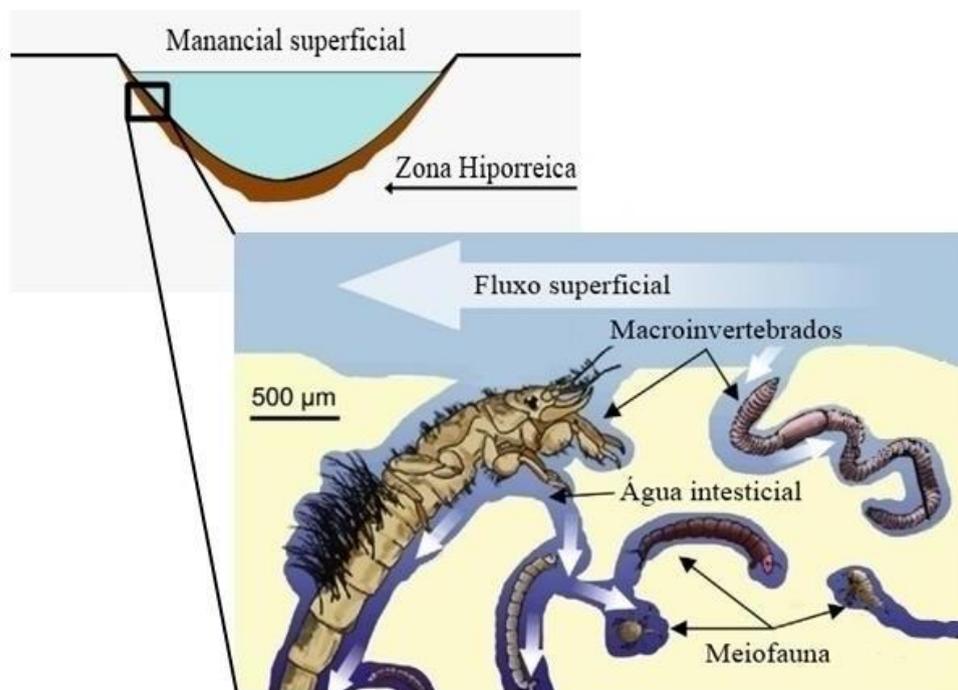
As interações intraespecíficas são demasiadamente complexas, cabendo de início a descrição dos principais componentes biológicos e como estão distribuídos (CUSHING & ALLAN, 2009).

A importância de entender a distribuição meiofaunística em escala temporal também dar-se pelo fato de que diferentes fluxos hidrológicos podem moldar a estrutura da comunidade hiporreica. Os organismos da meiofauna colonizam a zona hiporreica a depender dos níveis de oxigênio, tamanho dos poros dos sedimentos e profundidade, sendo parâmetros que impõem limites na sua distribuição. Entretanto, poucos estudos vêm avaliando a

contribuição da meiofauna como importantes invertebrados da zona hiporreica (PERALTA-MARAVER et al., 2018). Questões complexas no que diz respeito a como os poluentes são exatamente transformados pela meiofauna hiporreica, durante a passagem pela zona hiporreica, ainda não foram respondidas, enfatizando ainda mais a importância do seu estudo.

A Figura 3 abaixo esquematiza como as atividades vitais dos organismos bentônicos, em especial a meiofauna, conseguem atuar nos sedimentos do rio. Processos como bioturbação e bioirrigação são realizados, causando fluxos intersticiais e aumentando a permeabilidade local.

Figura 3. Atuação da meiofauna hiporreica.



Fonte: Adaptado de Peralta-Maraver et al., (2018).

Muitas vezes a colonização microbiana pode acarretar um aumento da resistência do fluxo pela formação de biofilmes, levando a uma diminuição da permeabilidade da interface de águas superficiais com as águas subterrâneas, afetando a taxa de infiltração (TUFENKJI et al., 2002).

O biofilme que cresce através dos poros sedimentares, reduz a permeabilidade da água e aumenta o tempo de residência na zona hiporreica (BATTIN et al., 2003). Esse biofilme é naturalmente um recurso alimentar potencial para diferentes invertebrados que habitam a zona hiporreica. Com a existência da meiofauna nessa região e com as atividades vitais desses

pequenos invertebrados escavadores, os sedimentos são constantemente retrabalhados, melhorando, assim, a permeabilidade local. Dessa maneira, os organismos abrem caminhos de fluxo d'água, atuando como pequenos “engenheiros do ecossistema”.

4.5 Índices de diversidade

Nenhuma publicação revela de fato a estimacão da diversidade da meiofauna no ambiente hiporreico, sendo uma área pouco explorada, havendo um conhecimento muito escasso sobre esse assunto. A diversidade (biodiversidade ou diversidade biológica) é um conceito que já passou por muitas mudanças de definições ao longo do tempo (mais de 90 vezes), sendo considerada até como um não conceito (DELONG, 1996). Apesar disso, Delong em 1996 definiu a diversidade com a definição utilizada até os dias de hoje. Diz que a diversidade é a vida e sua interação em todos seus níveis organizacionais, desde interação entre genes de uma população até a vasta complexidade de interações entre comunidades com o meio abiótico em um ecossistema. Para a meiofauna como um todo, a maioria dos artigos que abordam a diversidade utilizam de índices de diversidade ultrapassados por serem incapazes e ineficazes na medição da diversidade, como os índices de Shannon-Wiener (ou Shannon-Weaver) e o de Simpson (ou Gini-Simpson), chamados de índices clássicos.

Tais índices não medem diversidade, pois não seguem a maioria dos axiomas para se estimar diversidade que foram propostos pelo matemático Laxton, (1978) e que são utilizados até hoje. Tais axiomas são: (1) simetria - espécies são intercambiáveis e sua ordem não tem efeito no índice; (2) continuidade- a diversidade deve ser contínua quando as abundâncias são similares, ou seja, se há uma queda de 100 espécies para 10 espécies de abundâncias relativas similares, a diversidade tem que reduzir em 90%; (3) uniformidade - a diversidade tem que ser máxima quando todas as abundâncias são iguais; (4) transferência - o aumento na similaridade das abundâncias é proporcional ao aumento da diversidade; (5) monotonicidade na riqueza de espécies - a introdução de espécies deve aumentar a diversidade; e (6) replicação - ao juntar n subcomunidades de igual equitabilidade, a diversidade das duas será multiplicada por n . Estes índices na verdade, estimam parâmetros da diversidade, tais como dominância (Simpson) e entropia (Shannon) e mostram uma saturação de diversidade com o aumento contínuo da riqueza.

A solução para o problema “estimacão efetiva da diversidade” foi redescoberta por Jost, (2006), quando ressuscitou e adaptou o índice de diversidade de Hill, (Hill, 1973) (Equação 1), que é um modelo derivado da equação de Renyi, transformando-os em números

de Hill. Este índice utiliza as diversidades em ordens chamadas “ q ”, na equação. Quando o valor de q é igual a zero, esta não atribui pesos ou valores às abundâncias, estimando assim, a riqueza de espécies. Quando q é um valor aproximado de 1, o modelo pondera maiores pesos às espécies raras. Quando q é igual a 2, maiores pesos são aplicados às espécies dominantes. Estes três índices são totalmente comparáveis entre si, diferentemente dos clássicos, e a partir da interação dos valores observados nesses índices, pode-se chegar a uma conclusão de ambientes mais ou menos diversos.

Equação 1: Modelo geral dos índices de Hill, que varia na estimação da diversidade de acordo com os valores de q .

$$N_q = \frac{S}{\left(\sum p_i^q \right)^{1/(1-q)}}$$

Onde, N_q representa o índice de diversidade do parâmetro q , que deve ser maior ou igual a 0 e diferente de 1 ($q \geq 0, q \neq 1$); p_{iq} é a abundância relativa/proporcional da i -ésima espécie potenciado pela ordem de q . Os números de Hill seguem uma distribuição contínua de potenciação, quando o valor de $q = 0$. Isso corresponde à riqueza de espécies, quando o valor é $0 < q < 1$, nunca sendo igual a 1, pois a equação dessa forma seria inviabilizada por uma divisão por zero, sendo chamado de entropia de Shannon e, quando $q = 2$, é nomeado de recíproca de Simpson.

Ainda melhorando e adaptando o índice de Hill para a mensuração da diversidade, Chao e Jost, (2012) propuseram a utilização dos números de Hill como curva de acumulação, entendendo como o acréscimo de espécies ao longo do aumento da abundância. Chao et al., (2014) acrescentaram ainda à curva de acumulação, a completude (ou esforço) amostral, idealizado para tornar diferentes amostras mais comparáveis. Tal medida utiliza em uma curva de acumulação da diversidade, a completude (de 0 a 1) do esforço amostral como abcissa, permitindo identificar o acréscimo de espécies em uma escala mais precisa que a abundância, o percentual acumulativo amostral. Daly et al., (2018) contribuindo com Hsieh et al., (2016) recomendaram que se utilize um intervalo de confiança na acumulação da diversidade, sendo então proposto que se utilize um estimador imparcial, tal como o de bootstrap ou Monte Carlo, por exemplo.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. Q.; CORRÊA, A. C. B. Dimensions of denial of urban rivers in Brazilian cities: the case of occupation of the drainage network of the plain of Recife, Brazil. **Geo UERJ**. p. 114-137, 2012.
- AUGUSTO, L.G.S; GURGEL, I.G.D; CÂMARA, N.H.F; MELO, C.H.C; COSTA, A.M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência e saúde coletiva**, v. 17, p. 1511-1522, 2012.
- BANK, Michael S. The mercury science-policy interface: history, evolution and progress of the Minamata Convention. **Science of the Total Environment**, v. 722, p. 137832, 2020.
- BARBOSA, Vanessa. **A última gota**. Editora Planeta do Brasil, 2015.
- BATTIN, T. J., KAPLAN, L. A., NEWBOLD, J. D., e HANSEN, C. M. Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms. **Nature**, v. 426, n. 6965, p. 439-442, 2003.
- BIANCHIN, M. S.; SMITH, L.; BECKIE, R. D. 2011. Defining the hyporheic zone in a large tidally influenced river. **Journal of Hydrology**. v. 406, n. 1-2, p.16-29.
- BOULTON, A. J., T. DATRY, T. KASAHARA, M. MUTZ, AND J. A. STANFORD. 2010. Ecology and management of the hyporheic zone: stream– groundwater interactions of running waters and their floodplains. **Journal of the North American Benthological Society**., v. 29, n. 1, p. 26-40, 2010
- BRUNKE, M; GONSER, T. O. M. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. **Freshwater biology**, v. 37, n. 1, p. 1-33, 1997.
- CAMPOS, H.L. O Rio Beberibe e sua importância para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife– RMR: uma perspectiva histórica. **Rev. CLIO**. v. 1, n. 26.1, 2008.
- CAPELLARI, A; CAPELLARI, M.B. A água como bem jurídico, econômico e social. A necessidade de proteção das nascentes. **Cidades. Comunidades e Territórios**, n. 36, 2018.
- CARNEIRO, Daniela Maria Rocco. **Da loucura dos gatos dançantes ao curto-circuito do século XXI: o mercúrio contido nas lâmpadas e a importância da educação no processo de gestão ambiental**. 2010.
- CAVAZZANA, Guilherme Henrique; LASTORIA, Giancarlo; GABAS, Sandra Garcia. Surface-groundwater interaction in unconfined sedimentary aquifer system in the Brazil's tropical wet region. **RBRH**, v. 24, 2019.
- CHAO, A., & JOST, L. . Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), pp 2533-2547. 2012.
- CHAO, A. et al. (2014). Rarefaction and Extrapolation with Hill Numbers: A Framework for Sampling and Estimation in Species Diversity Studies. *Ecological Monographs*, v.84, p.45–67. CUSHING, C. E.; ALLAN, J. D. **Biological Interactions in River Ecosystems**. 2009.

DALY, A. J., BAETENS, J. M., DE BAETS, B. (2018). Ecological Diversity: Measuring the Unmeasurable. *Mathematics (Basel)*, v.6(7), p.119.

DA SILVA, Fabio Leandro et al. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021.

DE FREITAS, D. A.; DE PAIVA, A. L. R.; DE CARVALHO FILHO, J. A. A.; DA SILVA PEREIRA CABRAL, J. J.; ROCHA, F. J. S. Occurrence of cryptosporidium spp., giardia spp. and other pathogenic intestinal parasites in the Beberibe river in the State of Pernambuco, Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. v. 48. p. 220-223. 2015.

DEMÉTRIO, J. G. A., DE PAIVA, A. L. R., DE FREITAS, D. A., DOS SANTOS BATISTA, A. G., E CABRAL, J. J. D. S. P. Características hidrogeológicas das aluviões do rio Beberibe na área da bateria de poços de caixa d'água, Olinda, PE. *Águas subterrâneas*, v. 27, n. 3, 2013.

DINIZ, João Alberto Oliveira et al. **Crise hídrica no Brasil: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público**. CPRM, 2021.

ENVIRONMENTAL AGENCY Groundwater–surface water interactions in the hyporheic zone. Science Report SC030155/SR1. **United Kingdom**. 2005.

ETO, K; MARUMOTO, M; TAKEYA, M. The pathology of methylmercury poisoning (Minamata disease) The 50th Anniversary of Japanese Society of Neuropathology. *Neuropathology*, v. 30, n. 5, p. 471-479, 2010.

FISCHER, M. L., CUNHA, T. R. D., ROSANELI, C. F., MOLINARI, R. B., e SGANZERLA, A. Crise hídrica em publicações científicas: olhares da bioética ambiental. *Revista Ambiente e Água*, v. 11, n. 3, p. 586-600, 2016.

FLORES, L., GIORGI, A., GONZÁLEZ, J. M., LARRAÑAGA, A., DÍEZ, J. R., & ELOSEGI, A. Effects of 512 wood addition on stream benthic invertebrates differed among seasons at both habitat and reach 513 scales. *Ecological Engineering*. 2017.

FORMIGA-JOHNSON, Rosa Maria; BRITTO, Ana Lucia. Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do Rio de Janeiro. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, 2020.

FREITAS, D.A. **O Emprego da técnica de filtração em margem para tratamento de água no rio Beberibe, Região Metropolitana do Recife**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2010.

FREITAS, D. A., CABRAL, J. J. S. P., ROCHA, F. J. S., PAIVA, A. L. R., SENS, M. L., E VERAS, T. B. Cryptosporidium spp. and Giardia spp. removal by bank filtration at Beberibe River, Brazil. *River Research and Applications*, v. 33, n. 7, p. 1079-1087, 2017.

FREITAS, J.B.A. **Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2018.

GIERE, O. *Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments*. Hamburg, **Springer Science eBusiness Media**, 527(p), 2009.

GOMEZ, J.D.; WILSON, J.L.; CARDENAS, M.B. Residence time distributions in sinuosity-driven hyporheic zones and their biogeochemical effects. **Water Resources Research**, v. 48, n. 9, 2012.

HAEGERBAEUMER, A., HÖSS, S., RISTAU, K., CLAUS, E., HEININGER, P., e TRAUNSPURGER, W. The use of meiofauna in freshwater sediment assessments: structural and functional responses of meiobenthic communities to metal and organics contamination. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 512-525, 2017.

HIGGINS, Robert P.; THIEL, Hjalmar. **Introduction to the study of meiofauna**. Smithsonian Institution Press, 1988.

HILL, M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54(2), pp 427-432.

HOFFMANN, A; GUNKEL, G. Bank filtration in the sandy littoral zone of Lake Tegel (Berlin): Structure and dynamics of the biological active filter zone and clogging processes. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, v. 41, n. 1, p. 10-19, 2011.

HSIEH, T.C., MA, K.H., CHAO, A. 2016. iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451-1456.

HU, B.; TENG, Y.; ZHAI, Y.; ZUO, R.; LI, J.; CHEN, H. Riverbank Filtration in China: A Review and Perspective. **Journal of Hydrology**, v. 541, Part B, p. 914-927, 2016.

HUANG, D; LIU, X.; LIN, M; CHEN, H; WEI, L; HUANG, L; ZHANG, Z. Effects of sewage discharge on abundance and biomass of meiofauna. **Yingyong Shengtai Xuebao**, v. 25, p. 3023-3031, 2014.

JOST, L. **Entropy and diversity**. *Oikos*, 113(2), pp.363-375. 2006.

KRUEGLER, J., GOMEZ-VELEZ, J., LAUTZ, L. K., e ENDRENY, T. A. Dynamic Evapotranspiration Alters Hyporheic Flow and Residence Times in the Intrameander Zone. **Water**, v. 12, n. 2, p. 424, 2020.

LANGENHOFF, A., INDERFURTH, N., VEUSKENS, T., SCHRAA, G., BLOKLAND, M., KUJAWA-ROELEVELD, K., RIJNAARTS, H. Microbial removal of the pharmaceutical compounds ibuprofen and diclofenac from wastewater. **BioMed research international**, v. 2013, 2013.

LAWRENCE, J; SKOLD, M.E; HUSSAIN, F.A; SILVERMAN, D.R; RESH, V.H; SEDLAK, D.L; LUTHY, R.G.; MCCRAY, J.E. Hyporheic Zone in Urban Streams: A Review and Opportunities for Enhancing Water Quality and Improving Aquatic Habitat by Active Management. **Environmental Engineering Science**, v. 30, n. 8, p. 480-501. 2013.

LAXTON, R.R., 1978. The measure of diversity. *Journal of theoretical biology*, 70(1), pp.51-67.

LEON, Lucas Lopes et al. Poluição dos ecossistemas marinhos brasileiros: uma breve revisão sobre as principais fontes de impacto e a importância do monitoramento ambiental. **Unisanta BioScience**, v. 9, n. 3, p. 166-173, 2020.

LIU, Y.; DEDIEU, K.; SANCHEZ-PÉREZ, J.M.; MONTUELLE, B.; BUFFAN-DUBAU, E.; JULIEN, F.; AZÉMAR, F.; SAUVAGE, S.; MARMONIER, P.; YAO, J.; VERVIER, P.; GERINO, M. Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach. **Ecological Engineering**, v. 103, part B, p. 385-393, 2017.

MAGLIOZZI, C., GRABOWSKI, R., PACKMAN, A. I., & KRAUSE, S. Toward a conceptual framework of hyporheic exchange across spatial scales. **Hydrology and Earth System Sciences**. 2018.

MAGLIOZZI, C., USSEGLIO-POLATERA, P., MEYER, A., e GRABOWSKI, R. C. Functional traits of hyporheic and benthic invertebrates reveal importance of wood-driven geomorphological processes in rivers. **Functional Ecology**, v. 33, n. 9, p. 1758-1770, 2019.

MATHERS, K. L., MILLETT, J., ROBERTSON, A. L., STUBBINGTON, R., e WOOD, P. J. Faunal response to benthic and hyporheic sedimentation varies with direction of vertical hydrological exchange. **Freshwater Biology**, 59, 2278–2289. 2014.

MOREIRA, Paula Andrea Pannunzio et al. TIPIFICAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DA ZONA RIPARIA EM TRECHOS DE RIOS E CÓRREGOS URBANOS. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 109-109, 2021.

MUGNAI, R.; MESSANA, G.; DI LORENZO, T. The hyporheic zone and its functions: revision and research status in Neotropical regions. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 524-534, 2015.

NEGISHI, J. N., HIBINO, A., MIURA, K., KAWANISHI, R., WATANABE, N., e TOYODA, K. Coupled benthic–hyporheic responses of macroinvertebrates to surface water pollution in a gravel-bed river. **Freshwater Science**, v. 38, n. 3, p. 591-604, 2019.

OLIVEIRA, J. P. M., OLIVEIRA, J. M., DE SOUSA BARRETO, E., DA SILVA, S. S., DA SILVA, S. S., e MARACAJÁ, P. B. Saúde/doença: as consequências da falta de saneamento básico. **Informativo Técnico do Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 23-29, 2015.

OLIVEIRA, T. D. S., BARCELLOS, R. L., SCHETTINI, C. A. F., e CAMARGO, P. B. D. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 399-412, 2014.

OLIVEIRA, J.E.L.; JÚNIOR, J.G.; ROQUE, P.C.G; VIANA, D.L. Ciências do mar: origem, conceitos e fundamentos. In: VIANA, D. et al. Ciências do mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil. 1. ed. Olinda: Design Publicações. 2021.2:323-349.

PACIOGLU, O. Ecology of the hyporheic zone: a review. **Cave and Karst Science**, v. 3, p. 69-76, 2010.

PACIOGLU, O; ROBERTSON, A. The invertebrate community of the chalk stream hyporheic zone: spatio-temporal distribution patterns. **Knowledge e Management of Aquatic Ecosystems**, n. 418, p. 10, 2017.

PAIVA, A. L. R. **O processo de Filtração em Margem e um Estudo de Caso no rio Beberibe**. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2009.

PALMER, M. A.; STRAVER, D. L.; RUNDLE, S. D. Meiofauna. In: **Methods in stream ecology**. Academic Press., p. 415-433. 2007.

PERALTA-MARAVAR, I., PERKINS, D. M., THOMPSON, M. S., FUSSMANN, K., REISS, J. e ROBERTSON, A. L. Comparing biotic drivers of litter breakdown across stream compartments. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n.8, p. 1146-1157, 2019.

PERALTA-MARAVAR, I; REISS, J; ROBERTSON, A.L. Interplay of hydrology, community ecology and pollutant attenuation in the hyporheic zone. **Science of the Total Environment**, v. 610, p. 267-275, 2018.

PINHO, T.A.S. Análise do processo de degradação ambiental do curso inferior do rio morno sob a perspectiva da ocupação desordenada das áreas do seu entorno. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Aplicada**. Fortaleza, Ceará. Jun. 2019.

PRESTES, M. F. Áreas de Proteção Ambiental como interface entre o PAC Urbanização de Assentamentos Precários e o PAC-RISCO: um olhar sobre o Rio Palmital no município de Pinhais-RMC. In: **Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - ENANPARQ**, 2016, Porto Alegre. Anais do IV ENANPARQ. Porto Alegre, 2016.

RAHAL, A. **Poluição hídrica e seus impactos sobre a sociedade**. Jusbrasil, 2015. Disponível em: <http://alinerahal.jusbrasil.com.br/artigos/254539374/poluicao-hidrica-e-seus-impactos-sobre-a-sociedade>. <Acesso em: 12 mai 2021>

RICKLEFS, R.E.; RELYEA, R. 2019. **Écologie: l'économie de la nature**. De Boeck Superieur.

RUTERE, C., KNOOP, K., POSSELT, M., HO, A., E HORN, M. A. Ibuprofen Degradation and Associated Bacterial Communities in Hyporheic Zone Sediments. **Microorganisms**, v. 8, n. 8, p. 1245, 2020.

SAHOO, G.B.; RAY, C; WANG, J.Z.; HUBBS, S.A.; SONG, R.; JASPERSE, J.; SEYMOUR, D. Use of artificial neural networks to evaluate the effectiveness of riverbank filtration. **Water Research**, v.39, p. 2505- 2516, 2005.

SANTIN, J.R; GOELLNER, E. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. **Sequência (Florianópolis)**,n. 67, p. 199-221, 2013.

DOS SANTOS, Suelen Nascimento et al. Evaluation of freshwater benthic communities: a case study in an urban source in the Northeast of Brazil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 56, n. 1, p. 28-40, 2021.

SCHRATZBERGER, M; INGELS, J. Meiofauna matters: the roles of meiofauna in benthic

ecosystems. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 502, p. 12-15, 2018.

SILVA, V.M.A.P.; GROHMANN, P. A. e ESTEVES, A. M. Aspectos gerais do estudo da meiofauna de praias arenosas. **Oecologia Brasiliensis**. p.67-92. 1997.

SILVA, J. F. G.; BARBOSA NETO, M. V. **Análise da vulnerabilidade a processos erosivos da bacia hidrográfica do rio Beberibe**. In: LISTO, F. DE L. R.; MÜTZENBERG, D. DA S.; TAVARES, B. DE A. C. (orgs.) E-book do IWorkshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste. Volume I. Recife: GEQUA, pp. 79-88. 2016.

SILVA, Roberta Maria Cardoso da. *Água em Pernambuco: conflito entre o bem público e o direito de uso*. 2017.

SILVA, J.F.G.; BARBOSA NETO, M. V. Identificação de Riscos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe-PE. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 11, p. 1709-1720, 2018.

TERUI, A., NEGISHI, J. N., WATANABE, N., AND F. NAKAMURA. 2018. Stream Resource Gradients Drive Consumption Rates of Supplemental Prey in the Adjacent Riparian Zone. **Ecosystems** 21:772–781. 2018.

CAPÍTULO 1

**A NEGLIGENCIADA ÁREA DOS MEIOBENTOS: UMA ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA NO STATUS DE PESQUISAS SOBRE
MEIOFAUNA DE ÁGUA DOCE**

THE NEGLECTED AREA OF MEIOBENTHOS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS IN
THE STATUS OF RESEARCH ON FRESHWATER MEIOFAUNA

RESUMO

Estudos sobre a meiofauna de água doce ainda são enigmáticos: esse campo de pesquisa ainda está sendo bastante negligenciado, visto que publicações sobre a meiofauna de água doce não estão aumentando tanto quanto deveria, mostrando que há uma certa lacuna quando se trata dessa área. Essa pesquisa contém uma breve revisão do que já existe até hoje sobre a comunidade meiofaunística de água doce no mundo, com o objetivo de tornar esse tema um campo de estudo comum na ciência. A partir disso, a metodologia do trabalho consistiu na realização de um levantamento bibliográfico feito a partir das bases de dados da Web of Science (WoS) e SCOPUS, utilizando qualquer intervalo de tempo possível, contudo, pesquisando apenas documentos publicados em inglês. A pesquisa foi realizada por título e palavras-chave, destacando o termo “Meiofauna”, “Meiobentos”, “Zona hiporreica” e “Água doce. Os resultados mostraram um número total de 28 documentos nos quais se referiam a meiofauna de água doce em todo o mundo, concentrados principalmente na Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. Com base nisso, foi apresentada uma discussão em função desses artigos encontrados, destacando a falta de pesquisas nessa área e a importância de estudar sua ecologia, taxonomia, biologia e populações, que conseqüentemente são pouco conhecidas, impondo barreiras para que novos pesquisadores e pesquisas apareçam. Espera-se que essa revisão bibliométrica possa ser utilizada como um alerta acerca dessa área da meiofauna que é tão importante mas ao mesmo tempo negligenciada, possuindo um grupo muito exclusivo de autores e obras, sendo de extrema importância um direcionamento de pesquisa, aumentando as publicações em todo o mundo.

Palavras-chave: Bibliometria; Ecologia; Estado da Arte; Taxonomia; Zona Hiporreica.

ABSTRACT

Studies on freshwater meiofauna are still enigmatic: this field of research is quite neglected, publications on this topic are not increasing as much as the others, showing that there is a certain gap when it comes to this area. This paper contains a brief review of what already exists on freshwater meiofauna around the world in any period, focusing on increasing knowledge on this topic and making it a common study field in science. For this, the methodology involved a bibliographic survey carried out from Web of Science (WoS) and SCOPUS bibliographic databases, using any possible time interval, but searching only documents published in English. The search was performed by title and keywords, highlighting “Meiofauna”, “Meiobenthos”, “Hyporheic zone” and “Freshwater”. The results showed a number of 28 documents on freshwater meiofauna around the world, mainly concentrated in Germany, the United Kingdom, and the United States. Based on this, a discussion was presented given these few articles found,

highlighting that the lack of researches on freshwater meiofauna community, its ecology, taxonomy, biology, and populations, which are consequently poorly known what imposes a barrier on new researchers and researches to emerge in this area and need increase scientific interest at all. It is hoped that this bibliometric review can be used as an alert about this area of meiofauna that is so important but at the same time is neglected, having a very exclusive group of authors and works, being of extreme importance a direction of research that covers all biological, taxonomical and ecological themes that involve freshwater meiofauna, increasing publications worldwide.

Keywords: Bibliometrix; Ecology; State of the art; Taxonomy; Hyporheic zone.

1. INTRODUÇÃO

Meiofauna ou meiobentos é um grupo de organismos bentônicos, invertebrados e cosmopolitas que ocorrem em água doce, rios e lagoas, ambientes marinhos e oceânicos, águas subterrâneas, geleiras, fontes termais, rochas, plantas, raízes de algas e em outros habitats crípticos (Eisendle & Hilberg, 2014). A meiofauna pode ser definida como organismos de pequeno porte (<1mm) que são retidos em uma peneira geológica de malha <45mm (Giere, 2009), sendo o tamanho microscópico um reflexo de um benefício evolutivo para habitar e viver em ambientes intersticiais (Schratzberger & Ingels, 2018). A comunidade meiofaunística é representada principalmente por Nematoda, Polychaeta, Oligochaeta, Copepoda, Platyhelminthes e outros Moluscos e Crustáceos (Giere, 2009).

Os papéis funcionais desenvolvidos pela meiofauna em um ambiente são muito importantes, e, além disso, muitas vezes essenciais para o bom funcionamento de ecossistemas (Hakenkamp et al., 2002; Benke & Hurry, 2010). Dentre esses papéis existe a (re)biomineralização da matéria orgânica, responsável por uma reciclagem energética eficaz e aeramento do solo, melhorando o fluxo de oxigênio e aumentando a profundidade da camada redox, aumentando, assim, a zona vertical habitável a outros organismos. Além disso, a bioturbação também desempenha um papel importante e capaz de influenciar na dinâmica bacteriana, aumentando a disponibilidade de recursos para todo o ecossistema (Hakenkamp et al., 2002; Benke & Hurry, 2010; Schratzberger & Ingels, 2018).

A meiofauna de água doce ainda mesmo não sendo amplamente estudada, sabe-se que esses organismos são de fundamental importância para caracterização de ambientes de água doce e processos de melhoria da qualidade de água (Dos Santos et al., 2021; Freitas et al., 2021). A meiofauna é capaz de através de suas atividades biológicas, auxiliar no processo de filtração natural de poluentes (Veras et al., 2018). Liu et al. (2017) destacam a importância

desses organismos em ambientes de água doce, ressaltando a necessidade de preservação dos recursos hídricos e seus componentes. A necessidade do conhecimento de como a meiofauna dulcícola se distribui, por exemplo, é pelo fato de ser pouco estudada e ao mesmo tempo serem um grupo de organismos tão importante para o funcionamento do ecossistema de rios.

Incluir amostragem desses organismos nas avaliações biológicas resultarão atribuições e pesquisas de maior significado no tocante à técnicas de depuração de contaminantes, conservação ambiental e um maior reconhecimento da importância da zona hiporreica e de seus serviços ambientais prestados (Boon et al., 2016). A capacidade da meiofauna de transformar nutrientes, metabolizar e atenuar contaminantes é um serviço ecossistêmico bem prestado.

Como são responsáveis por papéis funcionais e transformações nos ecossistemas, esses organismos são temas de crescentes pesquisas nas últimas décadas em diferentes ambientes, a exemplo da meiofauna marinha, estuarina, críptica, de profundidade e entre muitos outros (Hoffmann e Gunkel, 2011; Stubbington et al., 2012; Freitas, 2018; Schratzberger, et al., 2020). A partir disso, entende-se que a meiofauna de água doce, embora pareça não agradar os olhos dos investigadores, uma vez que as publicações sobre este grupo não estão aumentando tanto quanto as outras, algumas pesquisas isoladas têm sido publicadas nos últimos anos (Guo et al. 2010), como as de Veras et al. (2017), De Freitas (2015), Veras et al. (2018), Dos Santos et al. (2021).

A análise bibliométrica é uma ferramenta que liga pesquisas bibliográficas, análises estatísticas e índices, estimando o estado da arte ou o estado da pesquisa de qualquer tópico. Com essa análise é possível verificar se um assunto é amplamente estudado ou não em determinada escala temporal e espacial. A partir disso, por possuir esses benefícios, essa ferramenta está aumentando exponencialmente nas publicações científicas nos últimos anos à medida que ganhou grande popularidade em diversas áreas da ciência (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021; Khan et al., 2021). A Meiofauna como principal alvo de uma análise bibliométrica não é tão comum, embora existam poucas publicações com essa abordagem (Lim et al., 2010; Liu, 2015; Guo et al., 2021) sendo a maioria dedicada a meiofauna marinha, estuarina ou terrestre, sendo o estado de pesquisas da meiofauna de água doce provavelmente desconhecido até hoje.

Através de uma análise bibliométrica é possível se visualizarem as poucas publicações existentes ou a falta delas em muitas áreas de pesquisa, aumentando o

conhecimento sobre um respectivo tema, além de elevar pesquisas em uma determinada sub-área.

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma pesquisa bibliométrica quantificando as publicações e documentos existentes sobre a meiofauna de água doce em todo o espaço temporal e em todo o mundo.

2. METODOLOGIA

Em novembro de 2021 foi realizada uma pesquisa na base de dados eletrônica Web of Science (WoS) para encontrar e reconhecer o estado atual da literatura científica sobre a meiofauna de água doce. A pesquisa foi realizada utilizando os campos "title", "keywords", em qualquer período possível e apenas foram utilizados documentos escritos em inglês (Tabela 1). Um total de 28 publicações foram obtidas na pesquisa e nenhum dos documentos foi duplicado e nem precisaram ser excluídos. Em vista disso, as 28 publicações foram incluídas para a realização da análise bibliométrica. Assim como na WoS, a pesquisa também foi realizada na base de dados SCOPUS, mas a maioria das publicações foi duplicadas. Desse modo, as publicações duplicadas não foram considerada na análise e redução de dados (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021).

Tabela 1: Pesquisa e suas combinações utilizadas para a análise bibliométrica realizada na base de dados Web of Science. TI: título, KP: palavra-chave.

Search: Freshwater (or hyporheic) meiofauna (or meiobenthos)

TI=("meiofaun*" OR "meiobent*") AND
 TI=("freshwater" OR "Hyporheic") OR
 KP=("meiofaun*" OR "meiobent*") AND
 KP=("freshwater" OR "Hyporheic")

Fonte: O autor, (2022).

Todas as análises e gráficos foram realizados em linguagem R[®] (R Core Team, 2021) versão 4.2.1 no Software RStudio[®] IDE com o pacote "bibliometrix" que foi criado especificamente para a realização de análises bibliométricas (Aria & Cuccurullo, 2017). Além disso, o pacote "ggplot2" também foi utilizado para personalizar, criar, editar e plotar

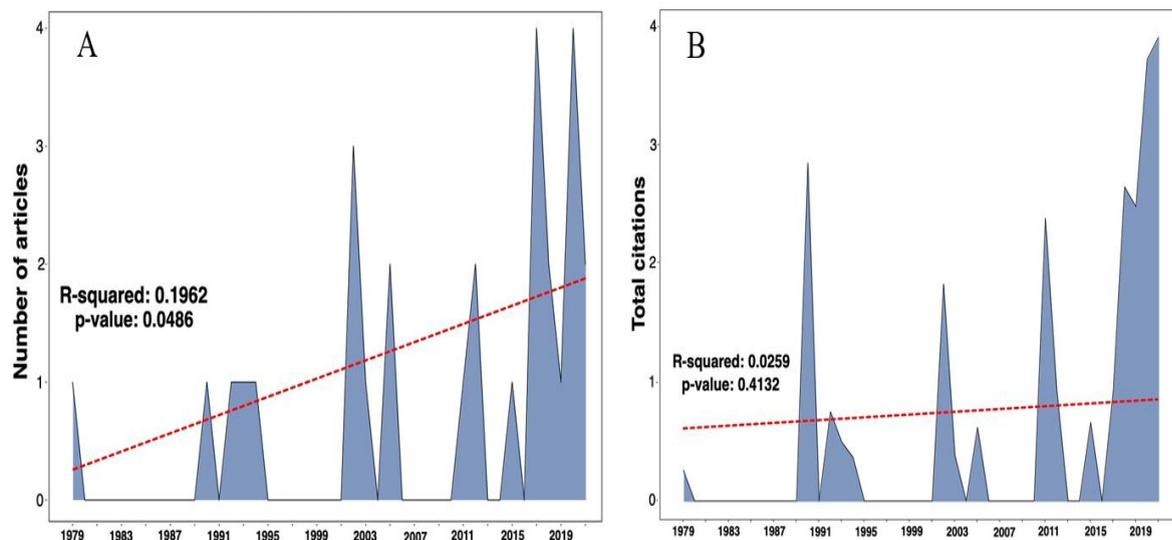
gráficos elegantes. Foram realizadas análises da produção científica total e as citações totais ao longo do tempo, ambas com regressão linear para estimar a importância do tempo nas tendências de frequência das publicações. Além disso, também foram vistos os países mais produtivos através do número de publicações; permitindo, também, observar se os países publicam sozinhos ou se estão colaborando entre si.

Além da rede de colaboração entre os países, outras análises também foram realizadas, como a verificação dos principais autores ao longo do tempo, histórico de interação entre os autores (ou citações) ao longo do tempo e uma Análise de Correspondência Múltipla (MCA) de ocorrência e co-ocorrência de palavras-chave mais utilizadas junto à sua centralidade (interação entre clusters), através da comparação de clusters entre pares de palavras-chave.

3. RESULTADOS

O número total de publicações/produções científicas sobre meiofauna de água doce foi de 28, dentre as quais foram divididas em 25 artigos, 1 material editorial e 2 resenhas (checklist). Os documentos encontrados estão na faixa de um período de 42 anos (1979 - 2021) com uma taxa de crescimento percentual anual de 1,66% e média de citações por ano. O número máximo de publicações anuais foi 4 e o mínimo foi 1 (Figura 1a) e para o total de citações, o máximo foi 4 e o mínimo foi também de 1 (Figura 1b). O modelo linear mostrou uma variação significativa ($p < 0,05$) nas publicações ao longo dos anos, porém evidenciou uma relação fraca com o tempo, mostrando que as publicações estão aumentando ao longo do tempo, mas não continuamente ou rapidamente (Figura 1a). O total de citações parece não ter aumentado significativamente ao longo do tempo e mostrou possuir uma fraca relação com o tempo no modelo linear utilizado (Figura 1b).

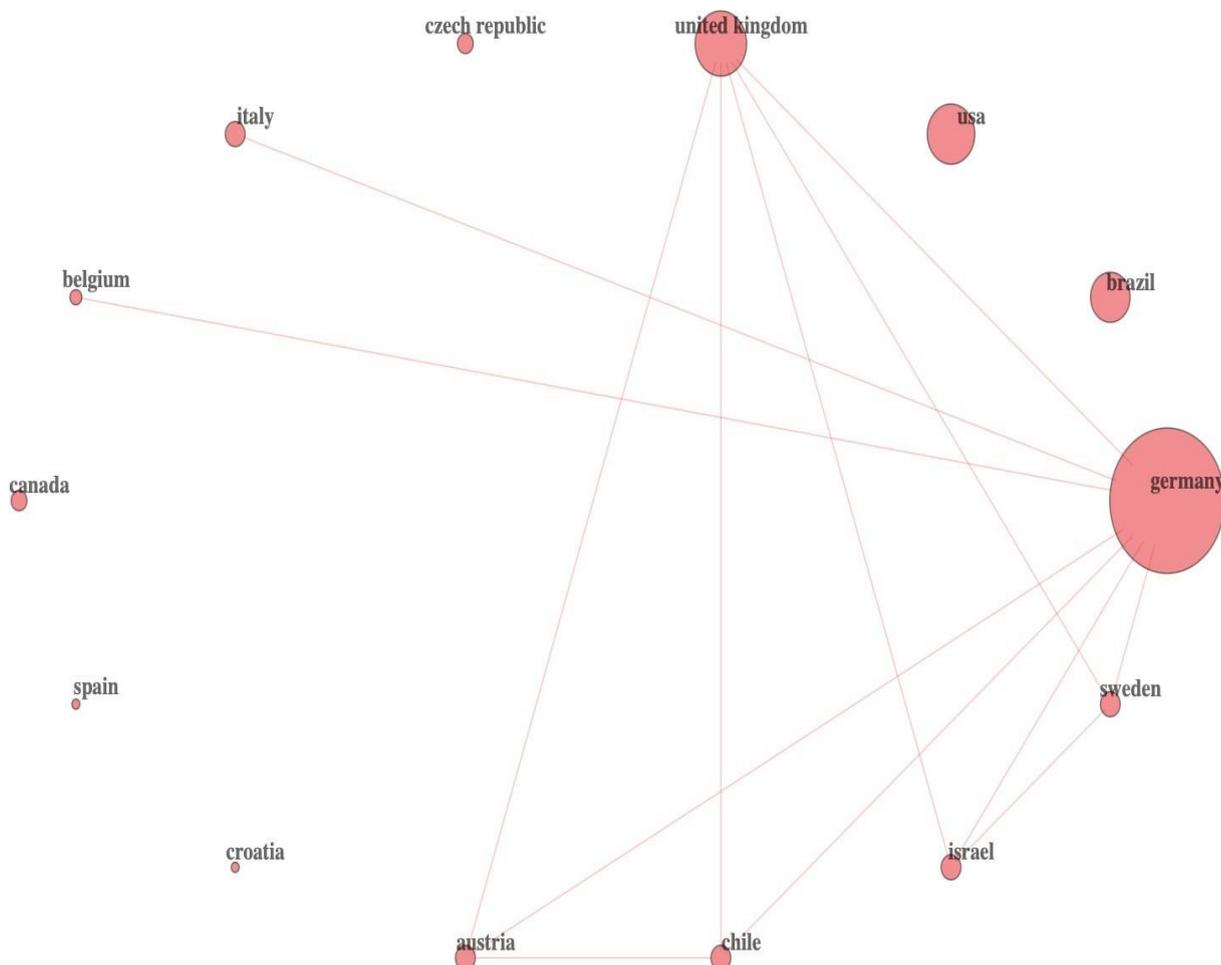
Figura 1: (A) Produção científica ao longo dos anos; (B) Total de citações ao longo dos anos e seus respectivos modelos lineares de publicações e citações ao longo do tempo.



Fonte: O autor, (2022).

A interação entre países (Figura 2) mostra que a Alemanha é o país com a maioria das publicações. A colaboração entre países explicita que a maioria dos países interagem entre si para publicar sobre meiofauna de água doce, principalmente os países com mais publicações (Alemanha e Reino Unido). Os Estados Unidos e o Brasil, por exemplo, publicam relativamente bem sem interagir com nenhum outro país (Figura 2).

Figura 2: Interações dos países e respectivas publicações por tamanho de círculo. Máximo de publicações por país: 6, mínimo de publicações por país: 1.



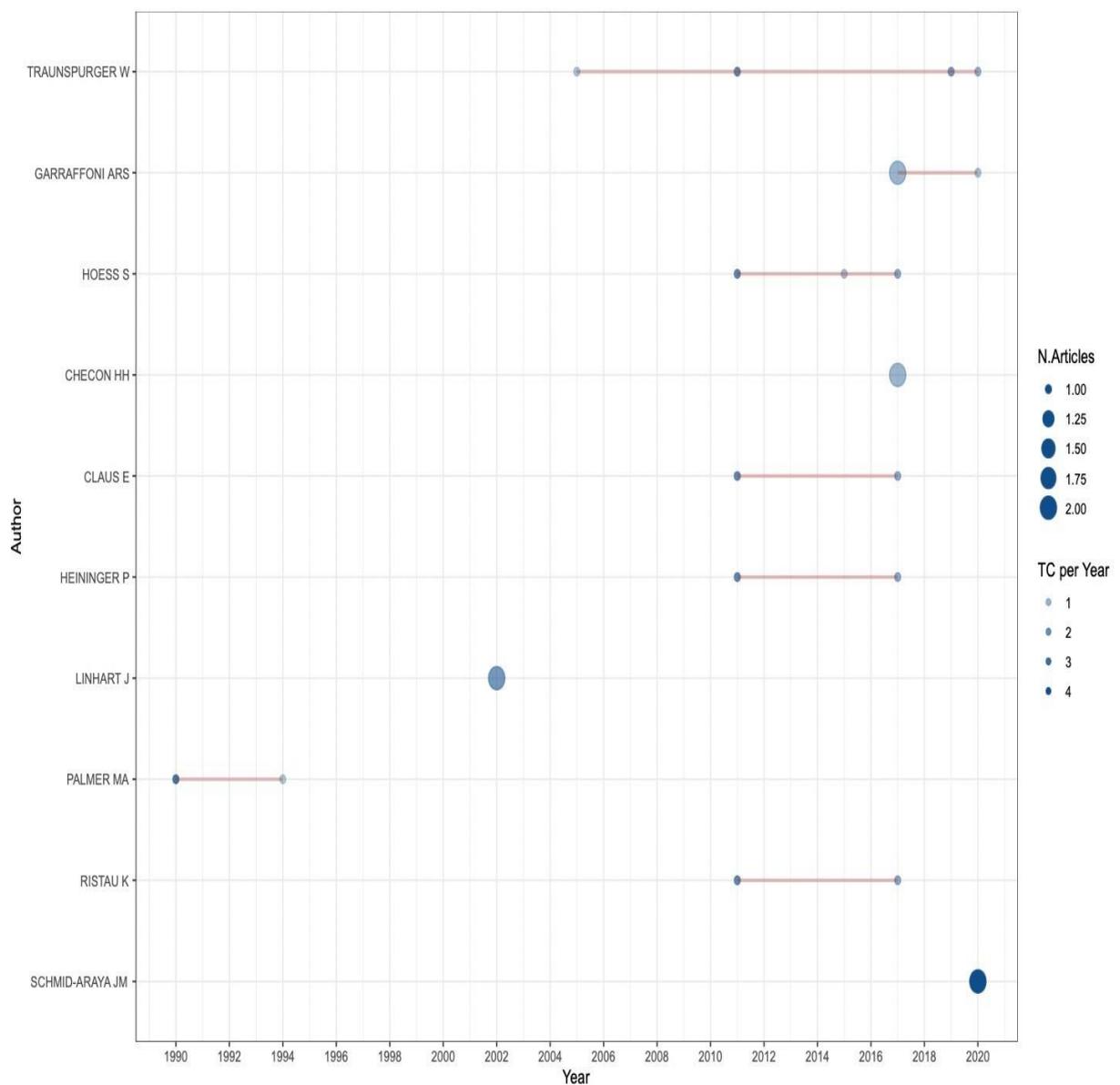
Fonte: O autor, (2022).

Novos autores surgiram e, junto a eles, produções e citações começaram a crescer entre 2010-2012 (Figura 4), entendendo-se que o ambiente de água doce, seus processos e organismos começaram a ser uma preocupação para os pesquisadores. Como pode ser visto na Figura 3, a partir de 2011 muitos autores apareceram publicando pela primeira vez sobre a meiofauna de água doce, como por exemplo, Traunspurger, Hoess, Claus, Heininger, e Ristau. A maioria dos autores são corriqueiros ao tema, pesquisando sobre meiofauna de praia, estuarina e marinha. As citações também começaram a aumentar a partir de artigos em 2011, pois por constituírem um grupo muito exclusivo de autores, suas interações por meio de citações são muito próximas umas das outras (Figura 4).

Houve um total de 159 palavras-chave, sendo as cinco mais utilizadas em ordem

decrecente: "Community", "Nematoda", "Invertebrates", "Ecology" e "Patterns" Tabela 2). A centralidade. Que é a co-ocorrência de uma palavra-chave com outra, porém pertencente a um cluster diferente, foi maior para Community, o que mostra que tal palavra interagiu bem com outras palavras-chave pertencentes a outros clusters. Contudo, a menor centralidade foi a palavra Invertebrates, indicando que esta ocorre interagindo com outras palavras-chave do mesmo cluster ou clusters próximos.

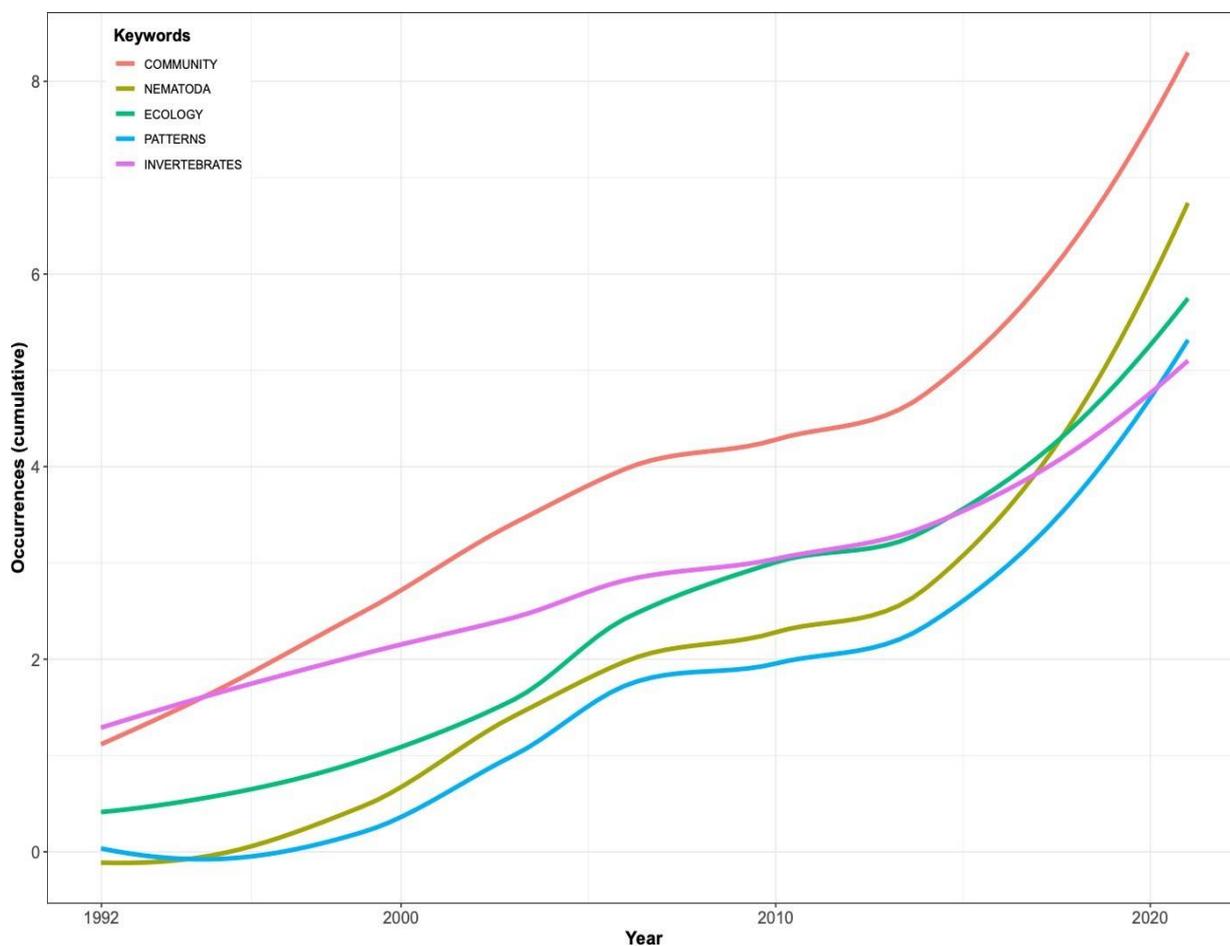
Figura 3: Produção dos principais autores, seu número de artigos e total de citações por ano. N = Número; TC = Total de citações.



Fonte: O autor, (2022).

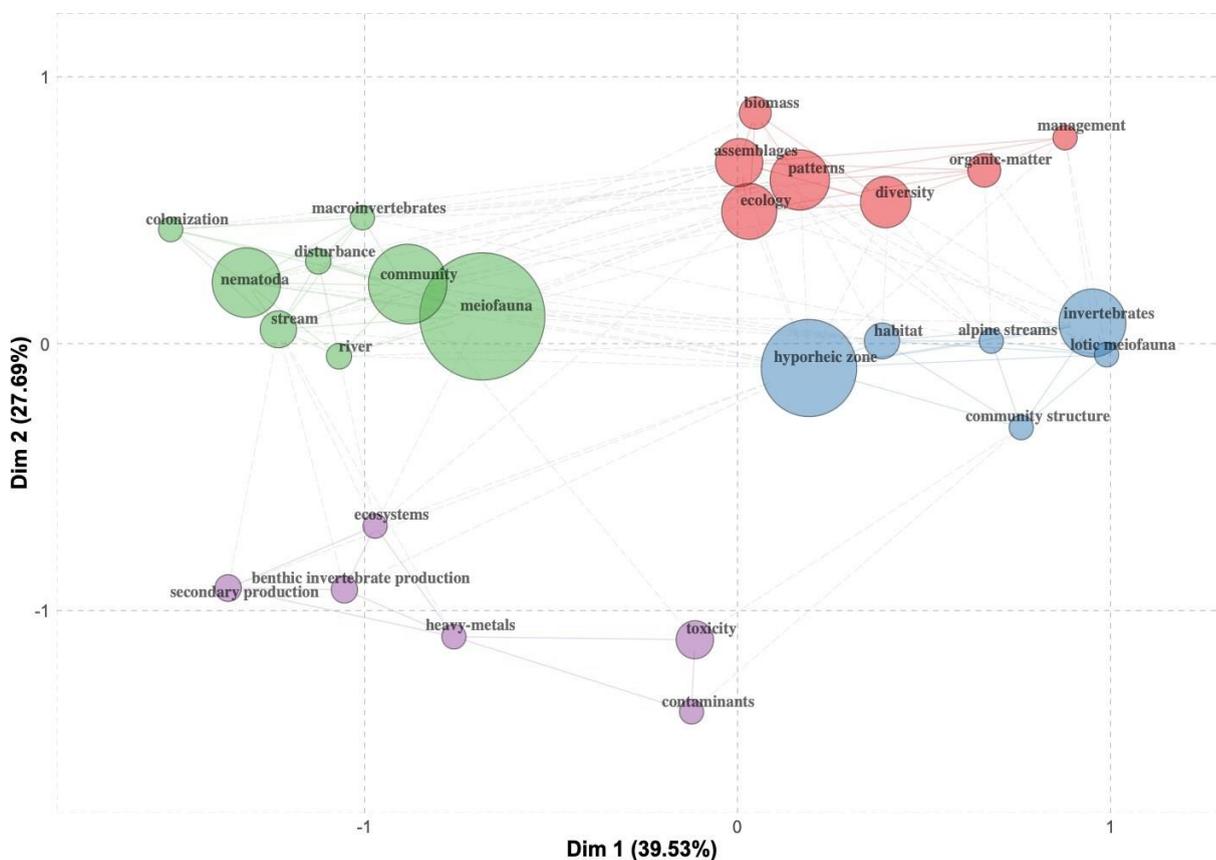
A ocorrência acumulativa das 5 (cinco) palavras-chave mais utilizadas ao longo do tempo (Figura 5) mostra que de 1992 a 2012 (20 anos) o acumulado de todas as palavras-chave foram de 50% e aumentaram a outra metade em 8 anos (Figura 5). Houve um aumento notável do uso das palavras-chave em publicações, pois há mais publicações sobre a comunidade de meiofauna de água doce, Nematoda de água doce e assim por diante, como visto na Figura 1. A Análise de Correspondência Múltipla (MCA) mostrou um padrão de 4 (quatro) clusters nos quais não houve sobreposição em nenhum deles, apesar de existir muita interação de co-ocorrências de palavras-chave (Figura 6). Os quatro clusters diferem pelo seu tópico principal. O primeiro cluster (verde) tem um tema mais relacionado com a comunidade da meiofauna de água doce; o segundo (roxo) está voltado para a ecotoxicidade e poluentes; o terceiro (vermelho) para a diversidade e padrões ecológicos; e o quarto (azul) para a água doce por si só, como habitats lóticos e zona hiporreica.

Figura 5: Ocorrências acumuladas das cinco palavras-chave mais utilizadas ao longo do tempo (meiofauna, zona hiporreica e água doce omitidas).



Fonte: O autor, (2022).

Figura 6: MCA das palavras-chave mais utilizadas e sua rede de co-ocorrências (suas ocorrências são discriminadas pelo tamanho do círculo).



Fonte: O autor, (2022).

Ao todo existem 21 periódicos que vem publicando ao menos um artigo sobre meiofauna de água doce e zona hiporreica. O periódico com maior publicação é *Hydrobiologia*, com 5 publicações. As revistas de maneira geral possuem alto fator de impacto, com a *Ecotoxicology and Environmental Safety* liderando, com o Fator de Impacto de 6.291, sendo o menor, um periódico francês *Vie et Milieu*, com 0.434. Três revistas não possuíam registros do seu fator de impacto, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Periódicos, suas publicações e Fatores de Impacto encontrados

Journal title	Number of papers	IF	Subject categories
Hydrobiologia	5	2.694	Oceanography
Archiv für Hydrobiologie	2	-	Limnological Sciences
Marine and Freshwater Research	2	1.488	Oceanography
Environmental Toxicology and Chemistry	2	3.742	Environmental Sciences
Annales de Limnologie - International Journal of Limnology	1	0.887	Limnological Sciences
Ecotoxicology and Environmental Safety	1	6.291	Environmental Sciences
Ecological Indicators	1	4.958	Environmental Sciences
Limnology and Oceanography	1	4.745	Oceanography
Scientific Reports	1	4.379	Natural Sciences
Molecular Phylogenetics and Evolution	1	4.286	Biology
Freshwater Biology	1	3.809	Biology
River Research and Applications	1	2.443	Environmental Sciences
Journal of Sea Research	1	2.108	Oceanography
Limnologica	1	2.093	Oceanography
Water Environment Research	1	1.946	Environmental Sciences
Canadian Journal of Zoology	1	1.637	Biology
Limnology	1	1.576	Limnological Sciences
Vie et Milieu – Life and Environment	1	0.434	Ecology
The American Microscopical Society	1	-	Biology
Estuaries	1	-	Oceanography
Journal of the North American Benthological Society	1	-	Biology

Fonte: O autor, (2022).

4. DISCUSSÃO

A produção científica tem crescido significativamente ao longo do tempo (Figura 1a) é sendo um produto das poucas publicações existentes, visto que as publicações na década de 90 variaram de 0 a 1 e de 2000 a 2021 de 0 a 4. A partir disso, nota-se que há um aumento de publicações, mas, considerando a produção científica, 4 publicações por ano sobre um único tema é relativamente muito pouco, contrastando com a meiofauna de praia arenosa por exemplo, que possui publicações médias por ano de aproximadamente 9 (Maria et al. 2016), enquanto o número máximo de publicações em meiofauna de água doce em um ano é de 4. Isso mostra que mesmo crescendo significativamente, a meiofauna de água doce ainda é um campo de pesquisa críptico. As citações totais apresentaram os mesmos padrões de números (Figura 1b), mas não aumentaram significativamente ao longo do tempo, mostrando que a comunidade meiofaunística de água doce, ecologia, taxonomia, biologia e populações permanecem bastante desconhecidas até hoje e precisam de uma melhoria quando se trata de produções científicas.

Os Estados Unidos (na década de 90) e a Alemanha (desde 2002) têm o papel principal nas publicações de meiofauna, sendo os pioneiros no tema e influenciando todo o mundo na publicação dessa área. O primeiro estudo de meiofauna de água doce foi nos Estados Unidos com Oden (1979) e, desde 2002, as primeiras publicações após uma lacuna de 5 anos vieram da Alemanha (Linhart et al. 2002), tendo aumentado seu número de publicações ao longo dos anos, sendo o país mais produtivo e mais interativo nesse tema. Os países intercontinentais na Figura 2 mostram que, apesar das poucas publicações, o tema está aumentando e os estudos com a meiofauna de água doce estão se tornando uma área mundialmente divulgada e conhecida.

A produção dos autores ao longo do tempo mostra que o aumento do interesse e da publicação com o tema meiofauna de água doce começou a aparecer com mais autores a partir de 2010, contudo, a maioria dos autores publica pouquíssimas vezes e desaparece, como Palmer, Linhart, e Checon, por exemplo (Figura 3). Tal fato pode ser explicado pela dificuldade de se estudar a meiofauna de água doce e identificá-la ao nível de espécies devido à escassez de publicações sobre taxonomia e outros subtópicos. Os poucos autores que publicam estão divididos pelo tema de interesse de cada um, que é similar em cada grupo (Figura 4). Essa partição mostra como novos estudos surgiram ao longo do tempo, como por exemplo, estudos comunitários, sobre biodiversidade, análise de DNA e padrões ecológicos, sendo a maioria desses novos subtópicos iniciado após do ano 2000, inferindo como essa área precisa ser mais explorada.

As 5 palavras-chave mais utilizadas (Tabela 2; Figura 5) explicitam as principais áreas estudadas até agora (2021) e que assuntos sobre comunidade é amplamente explorado nos documentos publicados, seguido de Nematoda. Os artigos em sua maioria são focados em padrões ecológicos, comunidade, e invertebrados (Tabela 2). Estudos usando impactos ambientais diretos, importância, diversidade, taxonomia e resiliência da meiofauna de água doce são as palavras-chave menos utilizadas, o que mostra o quanto essa área é inexplorada. As centralidades das palavras-chave mostram que os estudos sobre Comunidade, Nematoda e Padrões são os mais publicados em diferentes sub-áreas da meiofauna de água doce, mostrando uma tendência e um crescimento rápido desde 2010 (Figura 5).

MCA converge com a centralidade e as ocorrências das palavras-chave (Tabela 2, Figura 6), mostrando que estas estão fortemente divididas em quatro agrupamentos (como a interação de citações entre autores), os quais possuem sub-áreas específicas de estudo. É visto também que a comunidade e ecologia são mais estudadas enquanto que a ecotoxicologia e poluição as menos estudadas. Os clusters não se sobrepõem, de modo que poucos artigos publicados mesclam essas áreas, assim como visto nos autores. Não há em sequer um dos dados observados a palavra-chave "taxonomia", sendo esta sub-área negligenciada (apesar de ser a base do estudo de qualquer área biológica) o que faz com que existam barreiras limitantes quando se trata do estudo da meiofauna de água doce.

5. CONCLUSÃO

A meiofauna de água doce é um tema emergente e negligenciado que está em uma tendência crescente de publicações, possuindo um grupo exclusivo de autores nos quais são separados em quatro subgrupos, o que mostra uma boa exploração da área. Porém, pela falta de interação entre esses subgrupos de autores, cria-se uma barreira no conhecimento do tema e dificulta a mesclagem entre áreas. A taxonomia que é utilizada como base em outras áreas, tais como ecologia, comunidades e diversidade é muito pouco estudada na meiofauna dulcícola. Isto significa que não há publicações catalogando espécie nessa área, gerando limitações de publicações para muitos autores ou pesquisadores. Os estudos sobre a taxonomia da meiofauna de água doce precisam aumentar, permitindo a melhor descrição da ocorrência de espécies, fatores limitantes e a extensão de ocorrência de espécies, assembleias e comunidades, e, assim, a taxa de publicação aumentará em todo o mundo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. Os autores agradecem pelo financiamento e concessão da bolsa de estudo para o primeiro autor e todo o suporte financeiro. Também agradecem ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Brasil.

REFERÊNCIAS

- ARIA, M., CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, 11(4), pp.959-975. 2017.
- BENKE, A.C.; HURY, A.D.. Benthic invertebrate production—facilitating answers to ecological riddles in freshwater ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, 29(1), pp.264-285. 2010.
- BOON, P. J. et al. The regional hyporheic fauna of gravel-bed rivers and environmental controls on its distribution. **Fundamental and Applied Limnology**, p. 223-239, 2016.
- DE FREITAS, D. A.; DE PAIVA, A. L. R.; DE CARVALHO FILHO, J. A. A.; DA SILVA PEREIRA CABRAL, J. J.; ROCHA, F. J. S. Occurrence of cryptosporidium spp., giardia spp. and other pathogenic intestinal parasites in the Beberibe river in the State of Pernambuco, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v. 48. p. 220-223. 2015.
- DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N. AND LIM, W.M.. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, 133, pp.285-296. 2021.
- EISENDLE-FLÖCKNER, U., HILBERG, S. Hard rock aquifers and free-living nematodes e an interdisciplinary approach based on two widely neglected components in groundwater research. **Ecohydrology** 8, 368e377. 2014.
- FREITAS, J.B.A. **Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2018.
- FREITAS, Jonathas BA et al. Evidence of protective effects on aquifer recharge from polluted tropical rivers: An analysis of hyporheic meiofauna and sediments. **River Research and Applications**, 2021.

GIERE, O. **Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments**. Hamburg, Springer Science e Business Media, 527(p), 2009.

GUO, Y., CHEN, X. AND LIU, A. March. The research status on meiofauna in China by use of bibliometric analysis. In 2010 International Conference on Challenges in **Environmental Science and Computer Engineering** (Vol. 1, pp. 507-510). 2010.

HAKENKAMP, C. C., AND A. MORIN. The importance of meiofauna to lotic ecosystem functioning. **Freshwater Biology** 44:165–175. 2000.

HOFFMANN, A; GUNKEL, G. Bank filtration in the sandy littoral zone of Lake Tegel (Berlin): Structure and dynamics of the biological active filter zone and clogging processes. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, v. 41, n. 1, p. 10-19, 2011.

KHAN, M. A., PATTNAIK, D., ASHRAF, R., ALI, I., KUMAR, S., & DONTU, N. Value of special issues in the Journal of Business Research: A bibliometric analysis. **Journal of Business Research**, 125, 295–313. 2021.

LIM, Z.S., WONG, R.R., WONG, C.Y., ZULKHARNAIN, A., SHAHARUDDIN, N.A. AND AHMAD, S.A.. Bibliometric analysis of research on diesel pollution in Antarctica and a review on remediation techniques. **Applied Sciences**, 11(3), p.1123. 2021.

LINHART, J., VLČKOVÁ, Š. AND UVÍRA, V.. Moss-dwelling meiobenthos and flow velocity in low-order streams. **Biologica**, 39, pp.111-122. 2002.

LIU, Y.. **The influence of meiofauna on river biofilm functioning in relation to water quality** (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III). 2015.

LIU, Y.; DEDIEU, K.; SANCHEZ-PÉREZ, J.M.; MONTUELLE, B.; BUFFAN-DUBAU, E.; JULIEN, F.; AZÉMAR, F.; SAUVAGE, S.; MARMONIER, P.; YAO, J.; VERVIER, P.; GERINO, M. Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach. **Ecological Engineering**, v. 103, part B, p. 385-393, 2017.

MARIA, T.F., WANDENESS, A.P. AND ESTEVES, A.M.. State of the art of the meiofauna of Brazilian Sandy Beaches. **Brazilian Journal of Oceanography**, 64, pp.17-26. 2016.

ODEN, B.J.. The freshwater littoral meiofauna in a South Carolina reservoir receiving thermal effluents. **Freshwater Biology**, 9(4), pp.291-304. 1979.

R CORE TEAM, 2021. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** (Vienna, Austria). < <https://www.R-project.org/> > accessed, Nov, 15. 2021.

ROBERTSON, A.L. Lotic meiofaunal community dynamics: colonization, resilience and persistence in a spatially and temporally heterogeneous environment. **Freshwater Biology** 44, 135e147. 2000.

DOS SANTOS, S. N. et al. Evaluation of freshwater benthic communities: a case study in an urban source in the Northeast of Brazil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 56, n. 1, p. 28-40, 2021.

SCHRATZBERGER, M; INGELS, J. Meiofauna matters: the roles of meiofauna in benthic ecosystems. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 502, p. 12-15, 2018.

SCHRATZBERGER, M; SOMERFIELD, P. J. Effects of widespread human disturbances in the marine environment suggest a new agenda for meiofauna research is needed. **Science of The Total Environment**, p. 138435, 2020.

SILVA, V.M.A.P.; GROHMANN, P. A. e ESTEVES, A. M. Aspectos gerais do estudo da meiofauna de praias arenosas. **Oecologia Brasiliensis**. p.67-92. 1997.

STUBBINGTON, R. The hyporheic zone as an invertebrate refuge: a review of variability in space, time, taxa and behaviour. **Marine and Freshwater Research**, v. 63, n. 4, p. 293, 2012. *Styg.* V3, p. 45-54, 1987.

VERAS, T. B., CABRAL, J. J., PAIVA, A. L., SANTOS, P. J., & FREITAS, D. A. Evaluation of Meiofauna in the Hyporheic Zone of the Beberibe River, Pernambuco, Brazil. **Water Environment Research**, v. 90, n. 8, p. 685-696, 2018.

VERAS, T. B.; CABRAL, J. J. S. P. ; PAIVA, A.L R; BARRETO, A. F. S., Interação rio aquífero e a meiofauna do ambiente hiporreico. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 20-35, 2017.

CAPÍTULO 2

**DIVERSIDADE E ABUNDÂNCIA DA MEIOFAUNA DE ÁGUA DOCE DO
RIO BEBERIBE – PERNAMBUCO, BRASIL**

**ABUNDANCE AND FRESHWATER MEIOFAUNA DIVERSITY OF THE BEBERIBE
RIVER – PERNAMBUCO, BRAZIL**

RESUMO

Estudos sobre diversidade ecológica e taxonomia dos organismos da meiofauna são de fundamental importância para um melhor entendimento da estrutura da comunidade. A meiofauna de água doce não é tão estudada quanto a meiofauna praias ou estuarina, por exemplo, necessitando de mais estudos sobre esse ambiente que vem sendo negligenciado. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a comunidade da meiofauna do rio Beberibe, em dois pontos localizados na região metropolitana do Recife, estado de Pernambuco, Brasil, demonstrando como os organismos estão distribuídos pela matriz sedimentar, evidenciando-se a abundância e diversidade meiofaunística. Foram coletados organismos bentônicos em dois diferentes períodos do ano, seco e chuvoso, em profundidades de 0 a 5cm e 5 a 10cm e em dois diferentes pontos de amostragem. O ponto 1 está inserido em uma área com remanescente de vegetação de Mata Atlântica, sendo aparentemente mais conservado que o ponto 2, pois este está inserido em uma região bastante urbanizada, com uma alta descarga de dejetos orgânicos. Além da coleta dos organismos da meiofauna também foi realizada a caracterização granulométrica dos pontos amostrados e a medição de parâmetros como pH, temperatura e salinidade. Os organismos foram devidamente contabilizados e identificados, para obtenção de dados sobre as estruturas de suas comunidades. O índice de Hill foi utilizado para a realização dos testes de diversidade. Teste não paramétricos de Análise de Similaridade (ANOSIM) também foi realizado, além de uma Análise de Componentes Principais (PCA) e Análises Permutacionais (PERMANOVA). O intervalo de confiança adotado foi de 95%. Foram encontrados 269 indivíduos da meiofauna com a maior abundância distribuída no período chuvoso. Os taxa dominantes foram *Pristina sp*, Tubificinae e *Enchytraeidae sp*. De maneira geral, a granulometria, salinidade e o oxigênio dissolvido modulou a estrutura da comunidade no rio Beberibe nos períodos e pontos de coletas. Houve diferença significativa na distribuição dos organismos nos dois pontos de coleta ($p < 0,05$) e nos dois períodos amostrados ($p < 0,05$), porém nenhuma diferença significativa foi vista para as diferentes profundidades ($p > 0,05$).

Palavras-chave: Ecologia; Índice de Hill; Meiobentos.

ABSTRACT

Studies on ecological diversity and taxonomy of meiofauna organisms are of fundamental importance for a better understanding of the community structure. The freshwater meiofauna is not as well studied as the beach meiofauna or estuarine

meiofauna, for example, requiring more studies on this environment that has been neglected. The present work aimed to characterize the meiofauna community of the Beberibe River, in two points located in the metropolitan region of Recife, state of Pernambuco, Brazil, demonstrating how the organisms are distributed by the sedimentary matrix, evidencing the meiofaunistic abundance and diversity. These benthic organisms were collected in two different periods of the year (dry and rainy seasons) at depths of 0 to 5cm and 5 to 10cm and two different sampling points in a freshwater environment in Pernambuco, Brazil. Point 1 is in an area with remnant Atlantic Forest, apparently more preserved than the other point. On the other hand, Point 2 is in a very urbanized area, with a high discharge of organic waste. In addition to the collection of meiofauna organisms we also performed the granulometric characterization of the sampled points and the measurement of parameters such as pH, temperature and salinity. The organisms were counted and identified, in order to obtain data about the structure of their community. The Hill index was used to perform diversity tests. Nonparametric Similarity Analysis (ANOSIM) tests were also performed, in addition to a Principal Component Analysis (PCA) and Permutational Analysis (PERMANOVA). The confidence interval adopted was 95%. A total of 269 meiofauna individuals were found with the highest abundance distributed in the rainy season. The dominant taxa were *Pristina* sp, Tubificinae and *Enchytraeidae* sp. In general, the granulometry, salinity and dissolved oxygen modulated the structure of the community in the Beberibe river in the collection periods and points. There was a significant difference in the distribution of organisms in the two collection points ($p < 0.05$) and the two sampling periods ($p < 0.05$), but there was not significant difference for the different depths ($p > 0.05$).

Keywords: Ecology; Hill index; Meiobenthos.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos destacam a meiofauna como sendo organismos importantes e que possuem grande influência em diferentes interações no ecossistema, principalmente se tratando de ambientes litorâneos (DE SOUZA et al., 2020). A meiofauna está sendo investigada atualmente para diferentes fins, como por exemplo para estudos de caracterizações moleculares (CASTRO et al., 2021), taxonomia (SCHMIDT-RHAESA, 2020) e composição espaço-temporal, por exemplo (DE SOUZA et al., 2020).

Estudos que englobem a diversidade meiofaunística vem se tornando crescente ao longo do mundo, a exemplo de Iburg et al., (2021) que estudou a composição de comunidades bentônicas associadas a sedimentos e MajdiI et al. (2020), que analisaram tanto a diversidade quanto a abundância dos indivíduos da meiofauna. Yusal et al., (2019) destacaram a utilização da meiofauna como um organismo bioindicador da qualidade de água, sendo crucial análises robustas de sua abundância e diversidade.

Há tempos vem se notando que a meiofauna de água doce não é amplamente estudada quando comparada à meiofauna de praias, principalmente no Brasil (LOPES et al., 2017). Apesar disso, alguns estudos pontuais trazem a meiofauna dulcícola como organismos importantes para o ecossistema, como mostrado por Brinke et al. (2011) e também por Monteiro et al. (2019), que utilizaram esses organismos para investigar efeitos de poluentes ambientais.

Estudos recentes sobre a meiofauna são fundamentados principalmente em relações estatísticas com os dados coletados de distribuição de espécies e parâmetros ambientais (SCHRATZBERGER et al., 2020). Mesmo a meiofauna estando sempre sendo estudada de alguma maneira, cada vez mais percebe-se quão incompleta é a compreensão acerca de um grupo tão diverso e cheio de interações (CERCA et al., 2018).

Atualmente índices de diversidade vem se tornando cada vez mais explorados para se relacionar a estrutura de comunidades bentônicas com fatores ambientais, Semprucci et al. (2019) aplicaram índices de diversidade para a distribuição espacial e temporal da meiofauna. A fim de melhor representar a estrutura de comunidades bentônicas, autores vem utilizando em larga escala os índices de diversidade de Hill (CHAU et al., 2021; LAMPADARIOU et al., 2020; MONTAGNA et al., 2020).

É de fundamental importância mais estudos que visem um levantamento de diversidade para organismos bentônicos e dulcícolas no Brasil, visto que quando há estudos sobre, a maior parte é concentrada na região Sul e Sudeste, sendo as pesquisas limitadas na região Nordeste do Brasil (ROCHA, 2005; SILVA et al., 2018). A falta de estudos sobre comunidades de ambientes de água doce é expressiva, necessitando-se cada vez mais de pesquisas norteadoras que consigam explicar a estrutura e composição desses organismos.

Em se tratando de ambientes dulcícolas no Brasil, principalmente na região Nordeste, o rio Beberibe vem sendo cada vez mais explorado quanto aos organismos bentônicos (DE ALBUQUERQUE. et al., 2015; VERAS et al., 2016; VERAS et al., 2017; FREITAS et al., 2019; SANTOS, 2021). Contudo, nenhum desses estudos focam na sua diversidade taxonômica.

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a comunidade da meiofauna do rio Beberibe, em dois pontos localizados na região metropolitana do Recife, estado de Pernambuco, Brasil, demonstrando como os organismos estão distribuídos pela matriz sedimentar, evidenciando-se a abundância e diversidade meiofaunística.

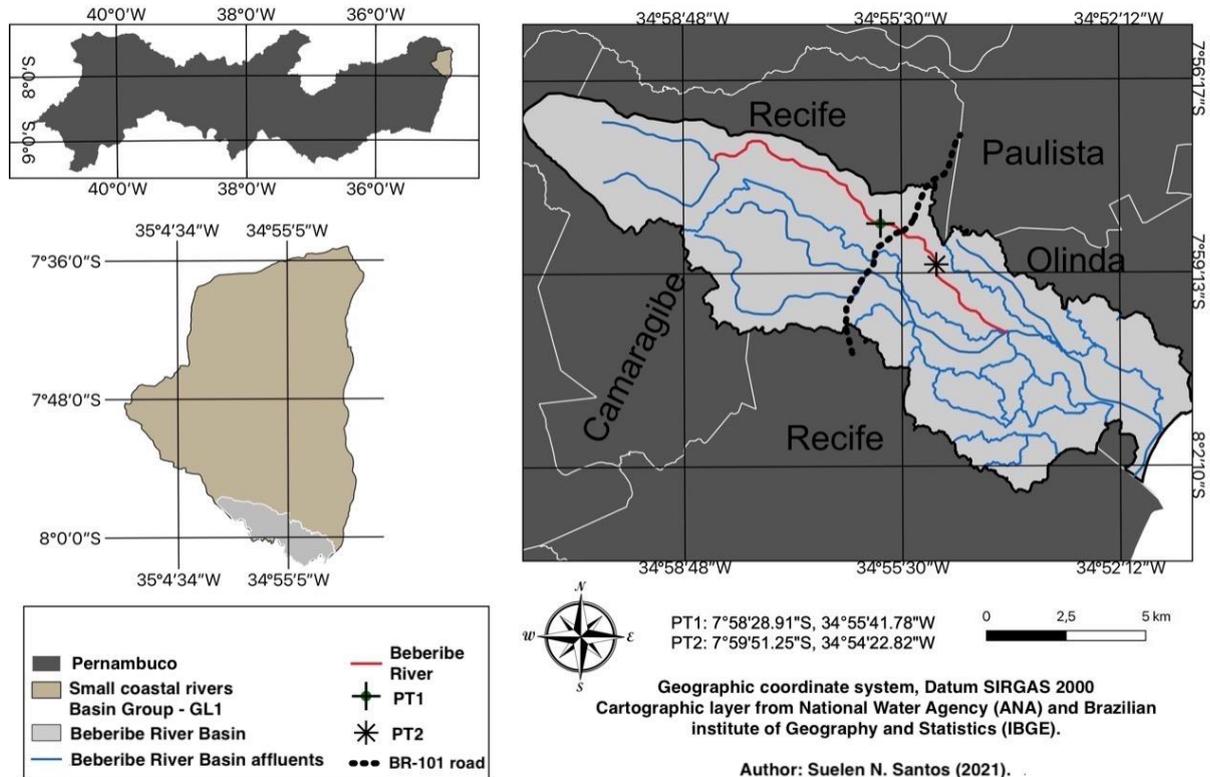
2. METODOLOGIA

A bacia hidrográfica Beberibe integra o grupo GL-1 (Grupo de Bacias Hidrográficas Litorâneas). Está localizada na Região Metropolitana do Recife (RMR), no litoral norte do Estado de Pernambuco, 07° 35' 12" e 08° 03' 48" de latitude sul, e 34° 48' 46" e 35°11' 33" de longitude oeste (Figura 1). Segundo Alvares et al. (2013) a bacia do Beberibe está inserida em uma região de clima quente e úmido (As'– Köppen). A precipitação média anual é em torno de 2450,7 mm com período chuvoso de abril a agosto e seco de setembro a março (CAMPOS, 2003). A temperatura média anual é de aproximadamente 25,5 °C com o mês de julho sendo considerado o mais frio e janeiro o mais quente (FREITAS, 2018). É uma região na qual ocorrem muitas chuvas no período de outono e inverno (AYOADE, 2011).

Foram realizadas coletas de amostras de sedimentos em uma área experimental delimitada na RMR – Região Metropolitana do Recife pelas coordenadas 7° 58' 28.91" de latitude sul e 34° 55' 41.78" de longitude oeste para o Ponto 1 e Latitude 7° 59' 776 "S e Longitude 34°54'415"W para o Ponto 2.

A numeração dos pontos foi dada a partir do ponto mais a montante até o ponto mais a jusante. Desse modo, o Ponto 1 está localizado a montante em relação à BR-101, enquanto que o Ponto 2 a jusante. O P1 está inserido em uma área com vestígios da vegetação de Mata Atlântica enquanto que o P2 em uma região bastante urbanizada, com construção de casas próximas ao rio.

Figura 1. Localização da Bacia hidrográfica do rio Beberibe e da área experimental.



Fonte: O autor (2022).

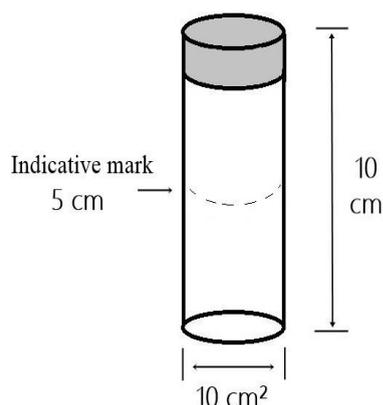
Para a análise da meiofauna, o sedimento foi retirado de um corer em tubo de acrílico conforme ilustrado pela Figura 2. As coletas foram subdivididas nos primeiros 0-5 cm e os 5-10 cm posteriores, sendo coletadas três réplicas em cada ponto em dois períodos do ano: seco (novembro) e chuvoso (maio). Em cada período foram coletadas três réplicas de amostragem para melhor confiabilidade. As amostras de solo para as análises granulométricas também foram coletadas com o mesmo amostrador cilíndrico, obtendo-se, assim, amostras estratificadas do solo nas profundidades de 0-5cm e de 5-10cm. O material de sedimento coletado foi armazenado em sacos plásticos que foram postos em caixas de isopor, sendo posteriormente refrigerados e mantidos a temperatura um pouco abaixo de 10°C, conforme recomendação da norma ABNT NBR 15469 de 2015 para preservação e preparo de amostras.

A escolha dessas duas estações do ano deve-se ao fato de que em pesquisas anteriores, autores como Freitas (2018) e Carvalho Filho (2019) encontraram diferenças na distribuição da comunidade hiporreica, principalmente no que diz respeito aos teores de matéria orgânica no solo que mudaram com base nas estações do ano verão e inverno.

Após coletadas as amostras foram imediatamente acondicionadas em recipientes plásticos e preservadas em formalina 10% e, posteriormente, as amostras foram separadas, identificadas e contadas em laboratório. Antes da etapa de identificação, as amostras também passaram pelo processo de elutriação utilizando-se peneiras geológicas de malhas de 500 μ m, 300 μ m, 200 μ m, 100 μ m e 45 μ m, seguido de uma minuciosa etapa de triagem.

Todos os organismos foram classificados e identificados manualmente em placa de Petri, lupa e microscópio. As identificações foram verificadas por especialistas, quando necessário, para análise de caracteres morfológicos de importância taxonômica. As identificações foram conduzidas ao menor nível taxonômico conseguido, exceto pelo Nematoda, em que foi mantido o nível de filo. As densidades meiofaunísticas foram expressas em número total de indivíduos por 10 cm² de sedimento. Os espécimes identificados foram conservados em álcool 70% e depositados no laboratório de Bentos (LABEN) do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Brasil. Já as análises granulométricas foram realizadas de acordo com o método de Suguio (1973) e foram desenvolvidas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), no Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE, Recife, Brasil).

Figura 2. Ilustração do amostrador utilizado nas coletas.



Fonte: O autor (2022).

Antes de qualquer teste estatístico performado neste estudo, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados. A abundância foi padronizada para a unidade indivíduos/10 cm² (ind.10cm⁻¹). Não foi encontrada normalidade nos dados e nenhuma tentativa de normalização parametrizou os dados. Para tanto, foram usadas

apenas análises não-paramétricas. Para todas as análises permutacionais, foram utilizadas 20.000 permutações. Para testar o agrupamento dos dados, foi realizada a clusterização hierárquica divisiva, com distância Bray-Curtis, com o método de ligação de Ward utilizando-se dos períodos climáticos seco e chuvoso e os pontos de coletas. O teste não paramétrico de Análise de Similaridade (ANOSIM) foi utilizado para se quantificar a força da clusterização e se esta foi significativa. Para se visualizar a contribuição de cada variável ambiental e fator testado na clusterização dos dados, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA), evidenciando-se os clusters para os períodos climáticos e pontos coletados, considerando-se também a contribuição de cada variável em uma escala de baixa a alta. Análises Permutacionais (PERMANOVA) foram usadas com distância de Bray-Curtis e utilizando-se a abundância como variável resposta para se quantificar a tendência da clusterização em ordem não hierárquica (diferente do ANOSIM que utiliza dados em escala hierárquicas para testar significância), uma PERMANOVA one-way para os fatores ambientais, uma PERMANOVA two-way para os fatores (Período e Ponto) e uma PERMANOVA three-way, considerando variáveis ambientais x fatores. Para representar graficamente os dados, foram plotados gráficos boxplots para as variáveis ambientais e seus respectivos valores para os períodos climáticos e os pontos.

Chao et al. (2020) diz que a diversidade nunca deve ser interpretada apenas como um número, decréscimo ou acréscimo do seu valor e, então, desenvolveu quatro passos sequenciais que quando seguidos, independente dos números brutos da diversidade, podem conduzir a uma conclusão robusta sobre a diversidade.

Para a estimação da diversidade foi utilizado o número de Hill, com curvas de acumulação extrapoladas e interpoladas. Foram considerados, portanto, tais passos, utilizando-se bootstrap a um intervalo de confiança de 95%: (i) a satisfação amostral para os fatores, no caso os períodos climáticos e pontos, para cada valor q ; (ii) diversidade efetiva pela completude amostral em curvas de acumulação interpoladas e extrapoladas partindo-se de um valor observado para as ordens q ; (iii) perfil de diversidade efetiva assintótica (observada) e empírica (não observada) em função da ordem de q ; (iv) perfil de equitabilidade em função das ordens de q utilizando-se do índice de Pielou. A partir do comportamento dos valores acumulados, interpolados, extrapolados, assintóticos, empíricos, de completude e equitabilidade, foi possível se chegar a uma conclusão quanto à diversidade. Para as análises estatísticas foi utilizada a linguagem de programação R[®] (R Core Team, 2021), versão 4.2.1, no Software RStudio[®] IDE. Os pacotes utilizados

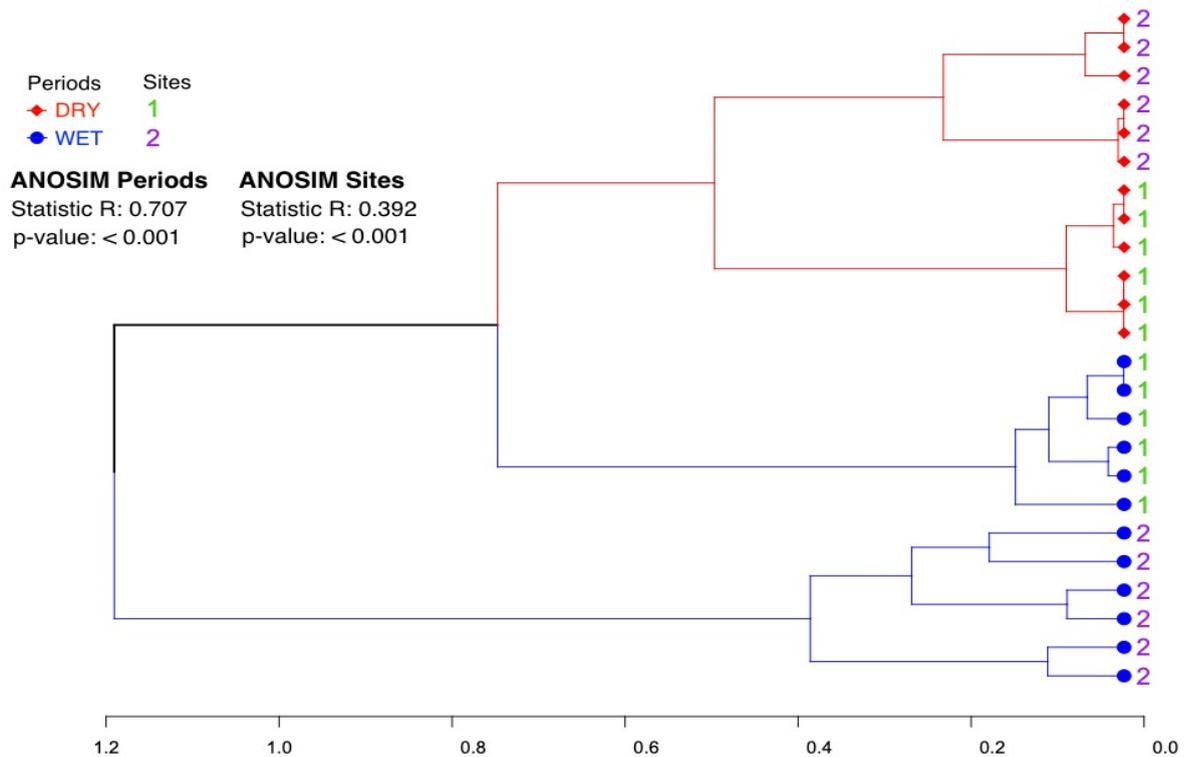
foram o iNEXT.3D, factoextra, vegan, ggplot2 e RYSGRAN. Vale dizer que o pacote RYSGRAN foi utilizado para a identificação granulométrica e determinação dos teores de areia, silte e argila. O valor de p adotado para as análises estatísticas foi de 0,05, nível de confiança = 95%. A abundância relativa e a frequência de ocorrência das espécies também foram apresentadas.

3. RESULTADOS

Apenas os fatores período climático e ponto amostral mostraram um agrupamento significativo. A Profundidade não mostrou nenhum tipo de tendência de agrupamento. Foram encontrados 269 indivíduos, sendo estes distribuídos em 259 indivíduos no período chuvoso (38 no P1 e 221 no P2) e 10 indivíduos no verão (2 no P1 e 8 no P2).

A partir da Figura 3 pode-se notar que houve um forte agrupamento para os períodos climáticos (dry e wet), ANOSIM ($R=0.707$, $p < 0,001$). Para os pontos amostrais (1 e 2) percebeu-se também um agrupamento de força moderada, tendo os valores de $R=0,392$ e $p < 0,001$, é visto também que o Ponto 2 foi fortemente influenciado pelo período climático, pois mostrou-se muito distante no gráfico.

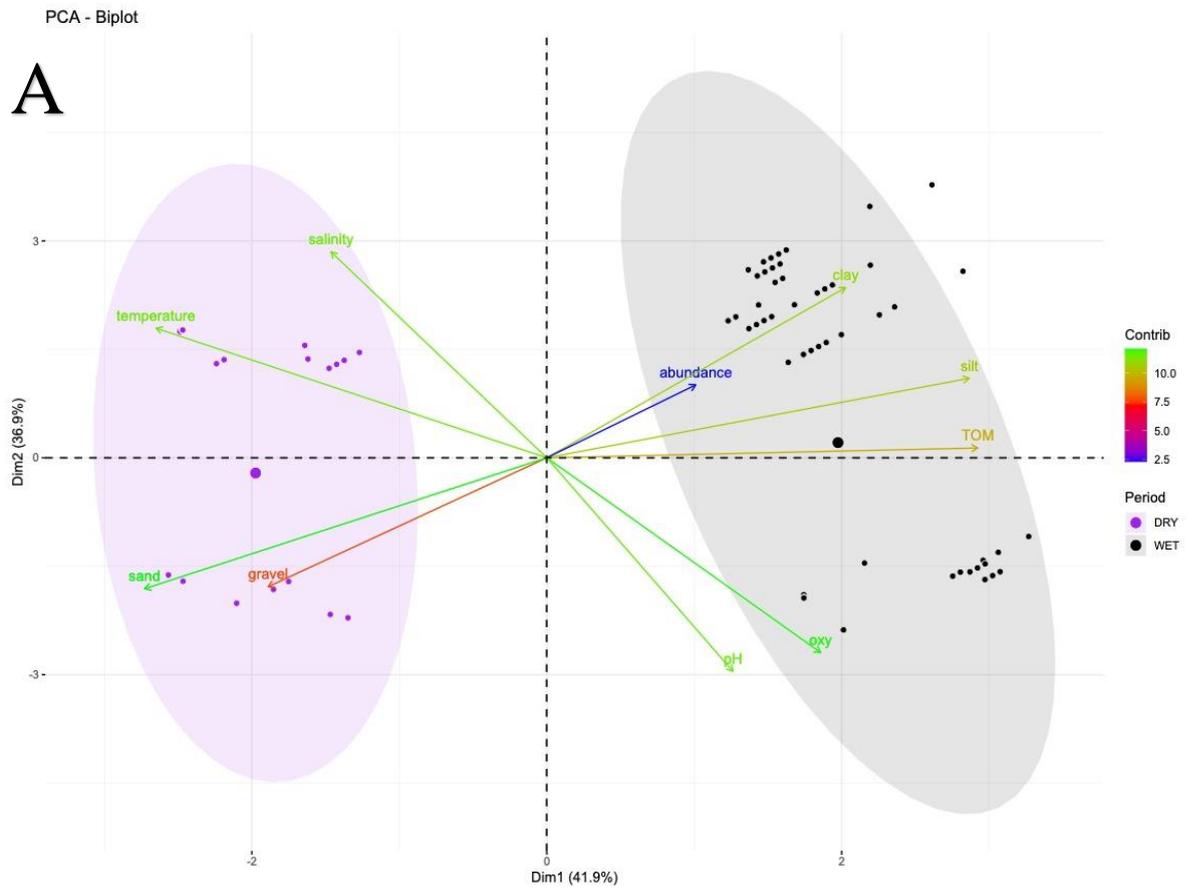
Figura 3. Dendograma expressando graficamente agrupamentos dos períodos climáticos e pontos coletados. A distância utilizada foi Bray-Curtis com o método divisivo e ligação pelo método de Ward. ANOSIM representado para os fatores testados.



Fonte: O autor (2022).

A análise de componentes principais (PCA) conforme demonstrado pela Figura 4, evidenciou um forte agrupamento tanto dos períodos climáticos quanto dos pontos quando consideradas as variáveis e suas contribuições com as variáveis pH, temperatura, salinidade, argila e oxigênio, tendo estas as maiores contribuições para a clusterização em ambos os fatores. Na PERMANOVA one-way (Tabela 1) foi encontrado quantificadamente valores que corroboram com os resultados gráficos do PCA com as variáveis de alta contribuição também tendo um valor de p significativo. Na ANOVA two-way (Tabela 1) foram encontrados também resultados similares com o PCA, sendo o período, ponto e período x ponto, todos estatisticamente significativos. A relação entre variáveis ambientais (PERMANOVA three-way) e os valores testados mostrou que o oxigênio x período, temperatura x período, pH x ponto, salinidade x período x ponto e temperatura x período x ponto foram significativos (Tabela 1) mostrando que essas variáveis tem grande influência na abundância.

Figura 4. Análise de componentes principais (PCA). A) Agrupamento dos períodos climáticos quanto as variáveis e suas respectivas contribuições. B) Agrupamento dos pontos quanto as variáveis e suas respectivas contribuições.



Fonte: O autor (2022).

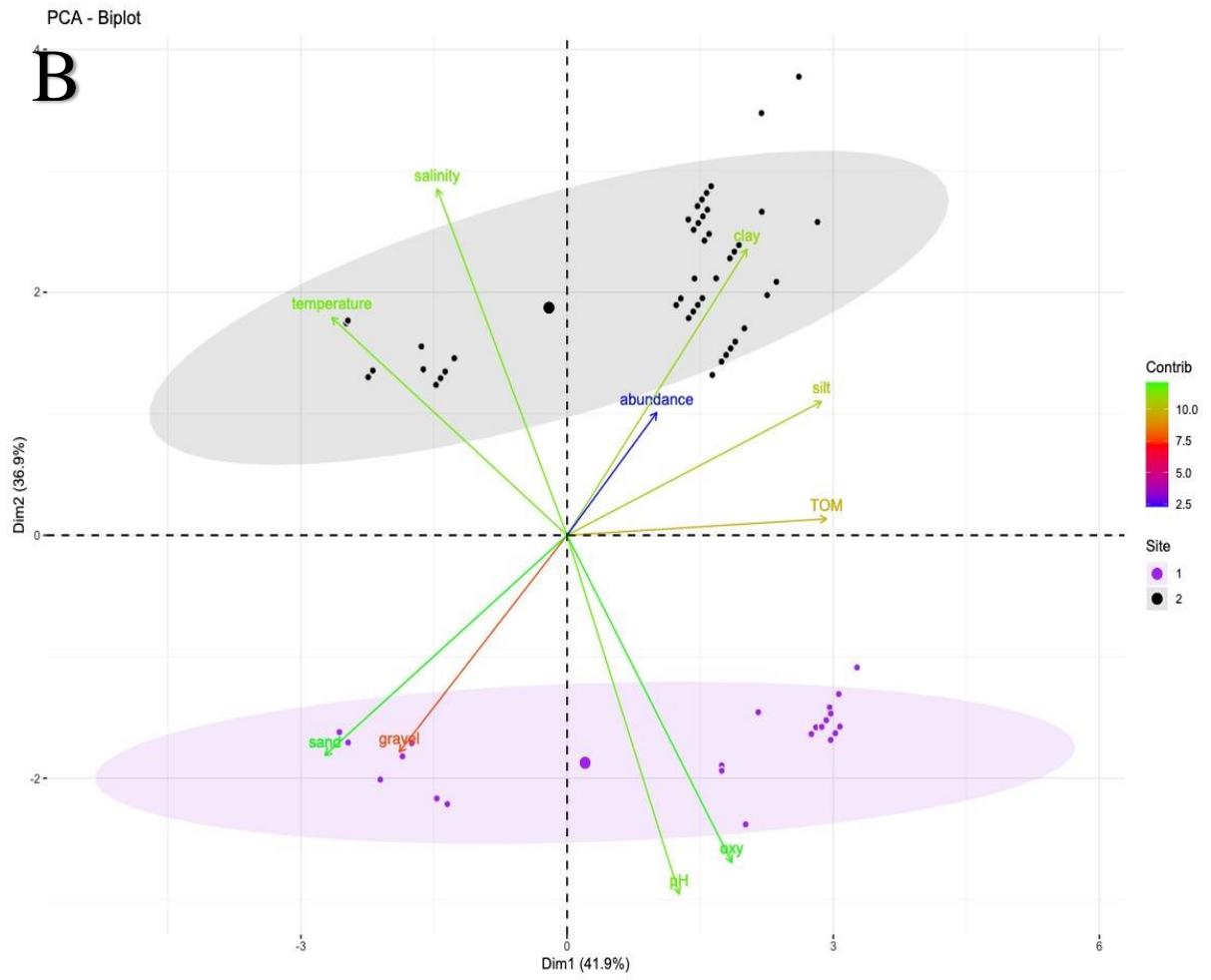


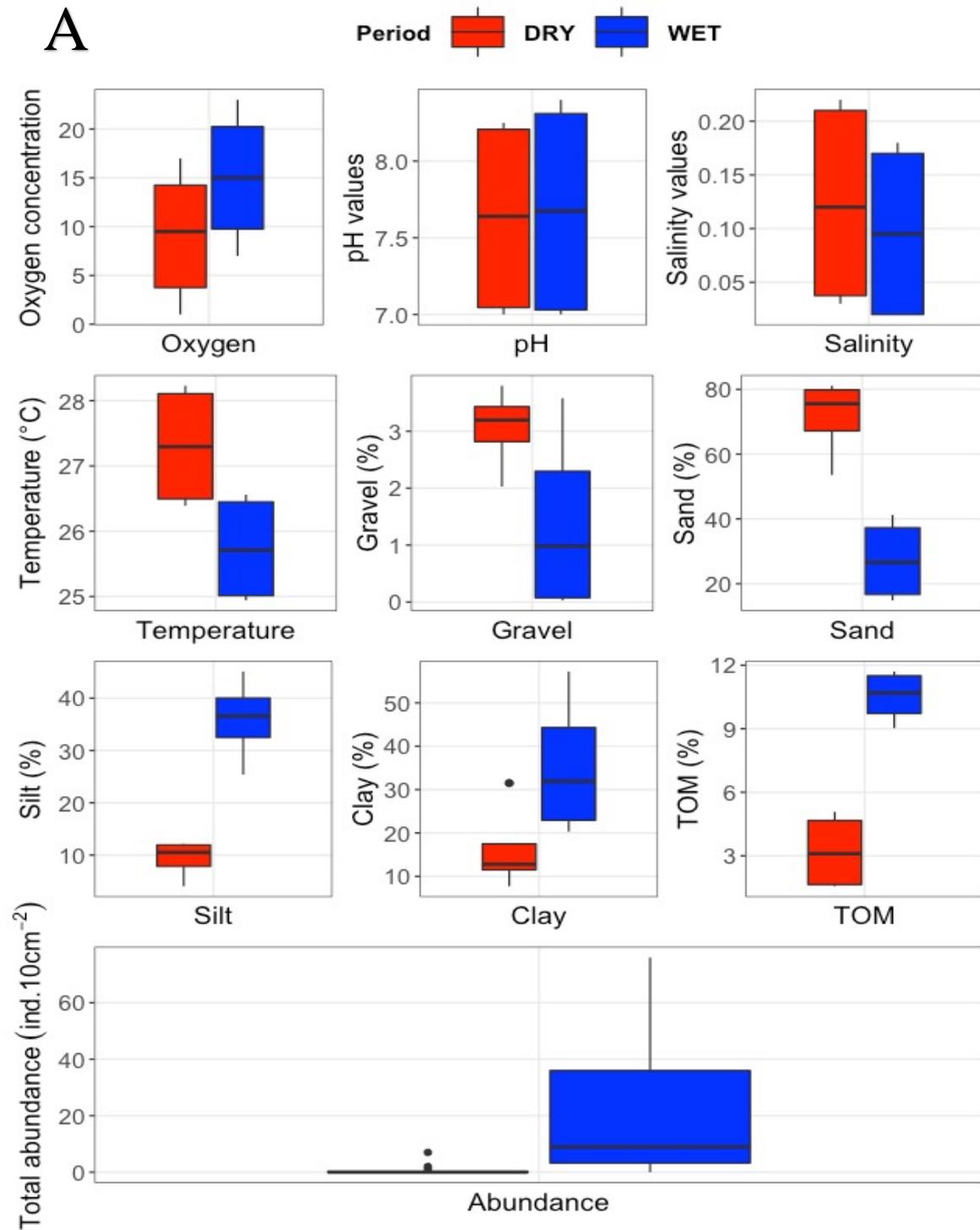
Tabela 1. PERMANOVA da influência dos fatores ambientais na abundância da meiofauna.

Environmental variables	pseudo-F	R ²	p-value
pH	10.246	0.0211	< 0.001
Oxygen	22.641	0.0467	< 0.001
Salinity	5.276	0.0109	0.013
Temperature	35.293	0.0728	< 0.001
%Gravel	35.360	0.0730	< 0.001
%Sand	1.103	0.00228	0.297
%Silt	16.006	0.03302	< 0.001
%Clay	12.821	0.02645	< 0.001
TOM	9.841	0.00065	< 0.001
Factors (Spatial x Temporal)	pseudo-F	R ²	p-value
Period	51.496	0.12674	< 0.001
Site	26.563	0.06538	< 0.001
Period x Site	20.252	0.04984	< 0.001
Environmental variables x Factors	pseudo-F	R ²	p-value
pH x Period	1.456	0.00300	0.220
Oxygen x Period	9.074	0.01872	< 0.001
Salinity x Period	1.220	0.00252	0.275
Temperature x Period	7.279	0.01502	0.003
pH x Site	3.718	0.00767	0.040
Oxygen x Site	0.642	0.00133	0.467
Salinity x Site	0.146	0.00030	0.840
Temperature x Site	1.930	0.00398	0.154
pH x Period x Site	0.336	0.00069	0.663
Oxygen x Period x Site	1.265	0.00261	0.262
Salinity x Period x Site	5.446	0.01124	0.011
Temperature x Period x Site	14.826	0.03059	< 0.001

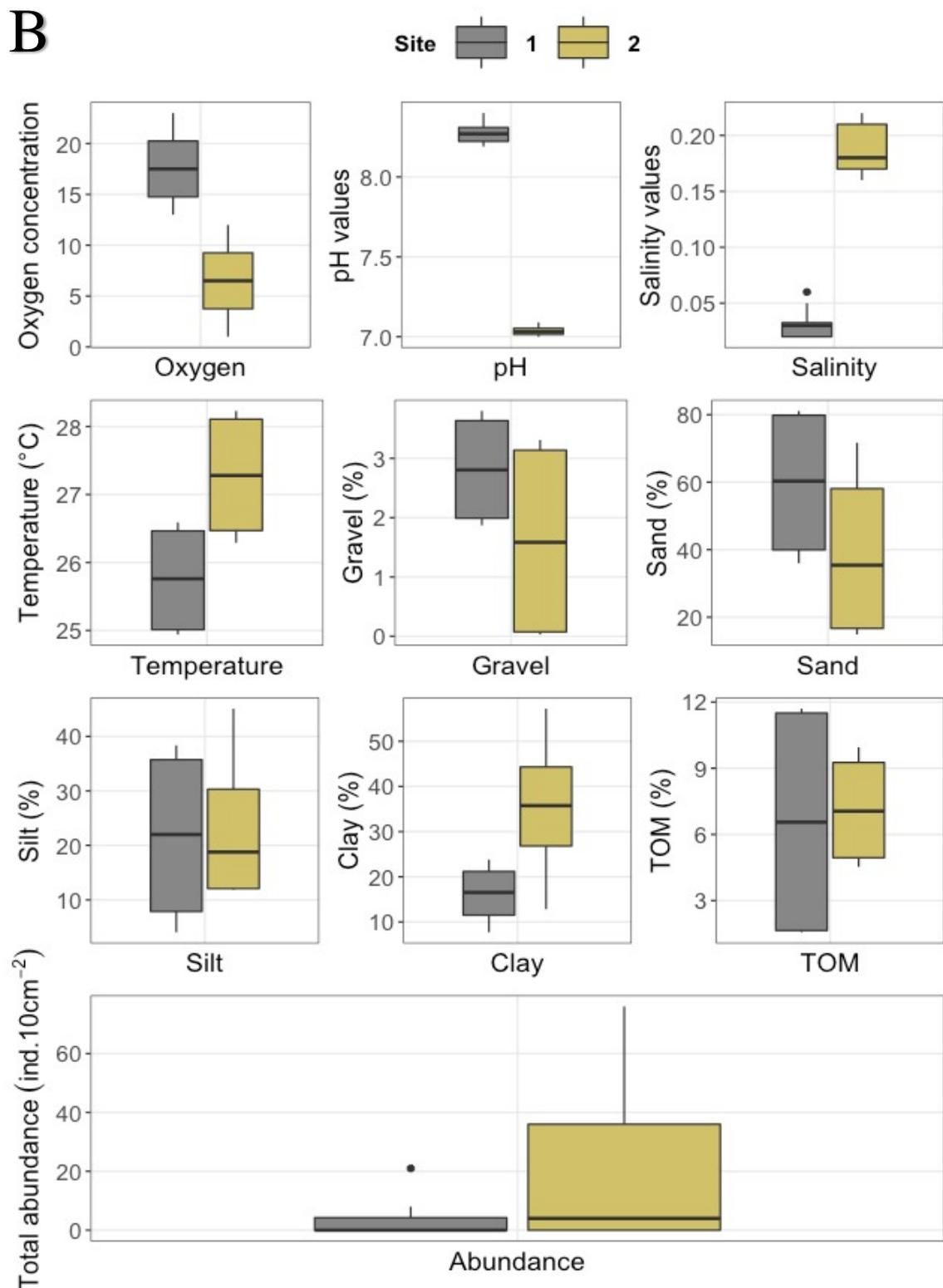
Fonte: O autor (2022).

A concentração de oxigênio mostrou-se flutuar muito ao longo dos períodos e pontos com os valores de cada Boxplot não chegando a se sobrepor para nenhum dos fatores. Para o pH houve uma distinção muito grande para os seus valores quanto aos pontos amostrais, porém não variando tanto entre os períodos climáticos, sendo os valores máximos encontrados no Ponto 1 e os valores mínimos no Ponto 2. A salinidade seguiu o mesmo padrão, porém os valores máximos se encontraram no Ponto 2 e os mínimos no Ponto 1. A temperatura mostrou grande variação em relação aos períodos climáticos e também aos pontos. A porcentagem relativa de cascalho mostrou-se homogênea no Ponto 1 e muito heterogênea no Ponto 2. A porcentagem de areia mostrou-se heterogênea para todos os fatores. Silte e argila também mostraram padrões parecidos, porém com a argila parecendo ter uma certa relação com o período climático. A Matéria Orgânica Total (TOM) mostrou maiores valores no período chuvoso e os menores valores no período seco. A abundância seguiu o mesmo padrão da TOM.

Figura 5. Representação gráfica dos valores observados a partir do Boxplot utilizando os fatores Período climático (A) e Ponto amostral.(B).



Fonte: O autor (2022).

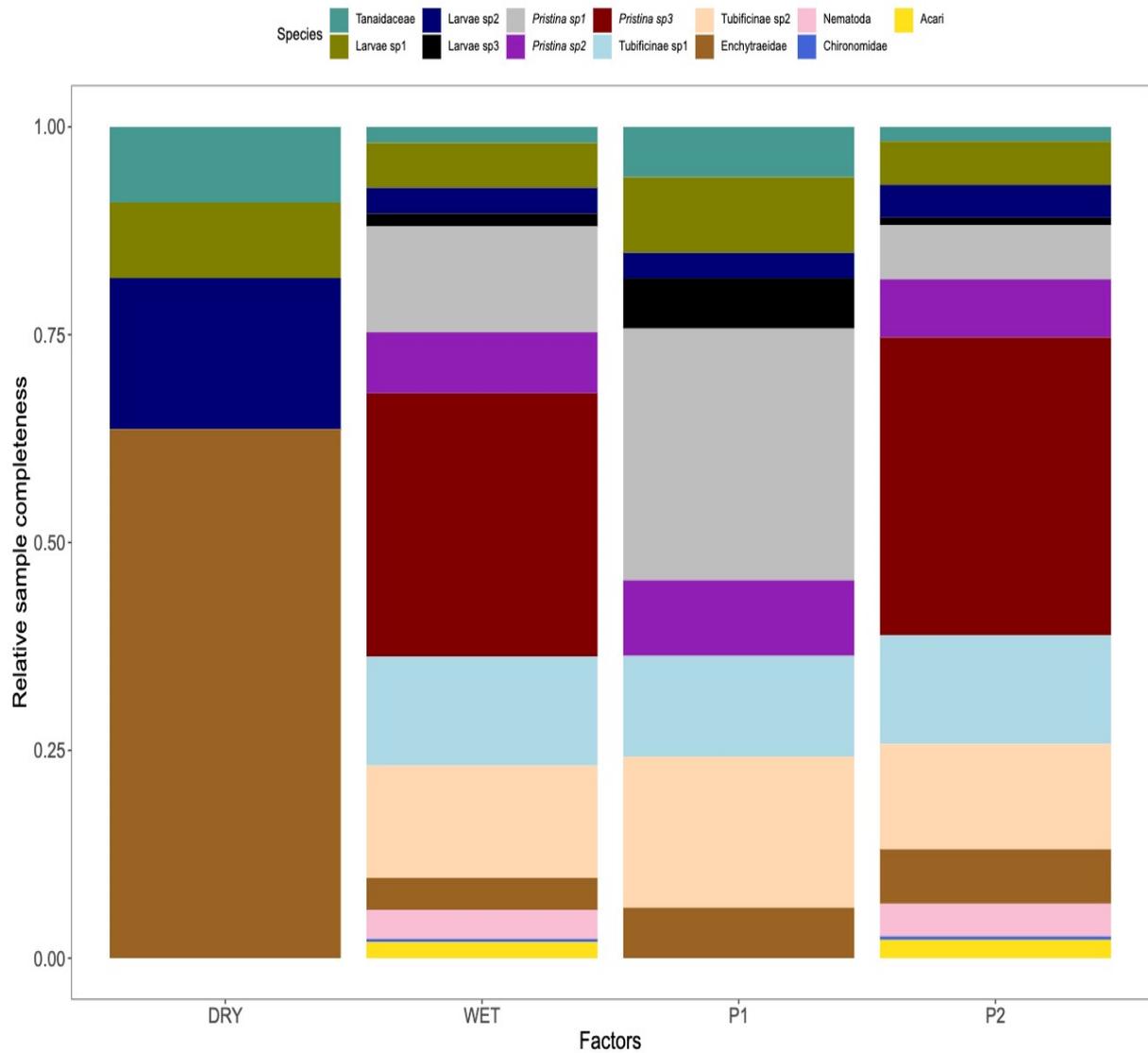


Fonte: O autor (2022).

Na Figura 6 e Tabela 2, o período seco mostra uma maior dominância e menor riqueza de espécies; o período chuvoso mostra uma maior riqueza e melhor distribuição das

espécies. O Ponto 1 mostra uma menor riqueza em relação ao Ponto 2, porém mostra uma maior qualidade da distribuição das abundâncias relativas.

Figura 6. Barplot mostrando a contribuição relativa de cada espécie para cada fator.



Fonte: O autor (2022).

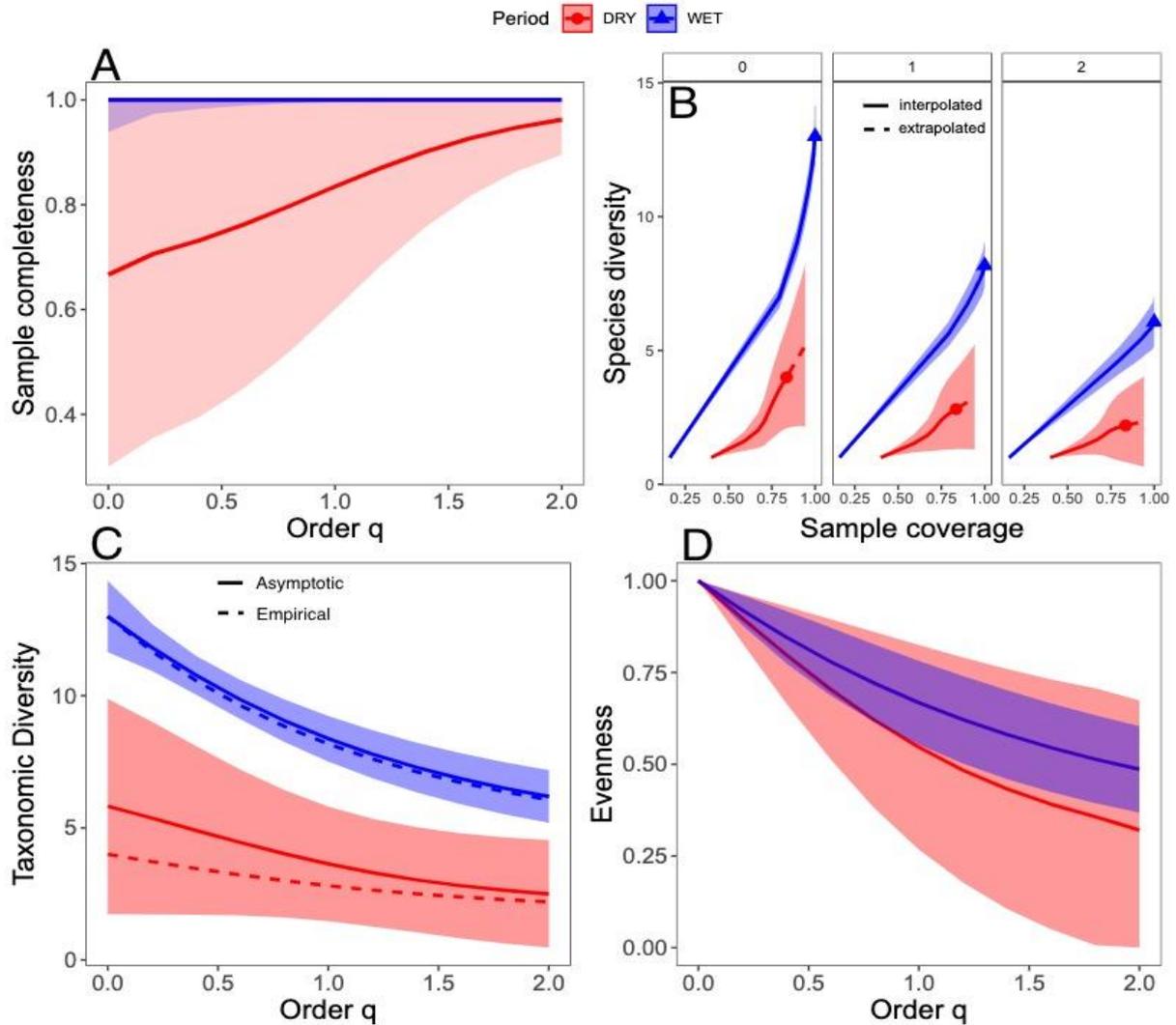
Tabela 2. Presença e ausência dos taxa nos fatores períodos climáticos e pontos amostrais.

		DRY		WET	
Benthic Fauna		P1	P2	P1	P2
Subclass Acari	Acari				X
Family Chironomidae	Chironomidae				X
Genus Enchytraeida	<i>Enchytraeida sp.</i>	X	X		X
Class Insecta	Larvae 1		X	X	X
	Larvae 2		X	X	X
	Larvae 3		X	X	X
Phylum Nematoda	Nematoda				X
Genus Pristina	<i>Pristina sp.1</i>			X	X
	<i>Pristina sp.2</i>			X	X
	<i>Pristina sp.3</i>				X
Order Tanaidacea	Tanaidacea		X	X	X
Subfamily Tubificinae	Tubificinae Genus 1			X	X
	Tubificinae Genus 2			X	X

Fonte: O autor (2022).

A Figura 7A evidencia que apesar de o período seco possuir uma menor completude amostral do que o período chuvoso, estes períodos não variaram significativamente para nenhuma das ordens de q (Bootstrap 95% se sobrepoem). A Figura 7B mostra a completude amostral de cada um dos períodos e sua diferença nas ordens q . É percebido que o período seco tem uma maior queda proporcional do que o período chuvoso. A Figura 7C mostra que a diversidade assintótica (identificada) não variou significativamente da empírica (não identificada). Uma maior ingremidez proporcional dos valores do período seco indica já uma maior diversidade do período chuvoso. Tal fato é confirmado pela equitabilidade, que mostra o período chuvoso possuindo uma maior equitabilidade do que o período seco (Figura 7D).

Figura 7. Diversidade a partir da curva de acumulação da sequência q dos números de Hill para os períodos climáticos. A) Completude amostral pelas ordens de q . B) Diversidade efetiva separada pelas ordens de q sobre a completude amostral. C) Diversidade empírica e assintótica sobre as ordens q . D) Equitabilidade de Pielou sobre ordens q .

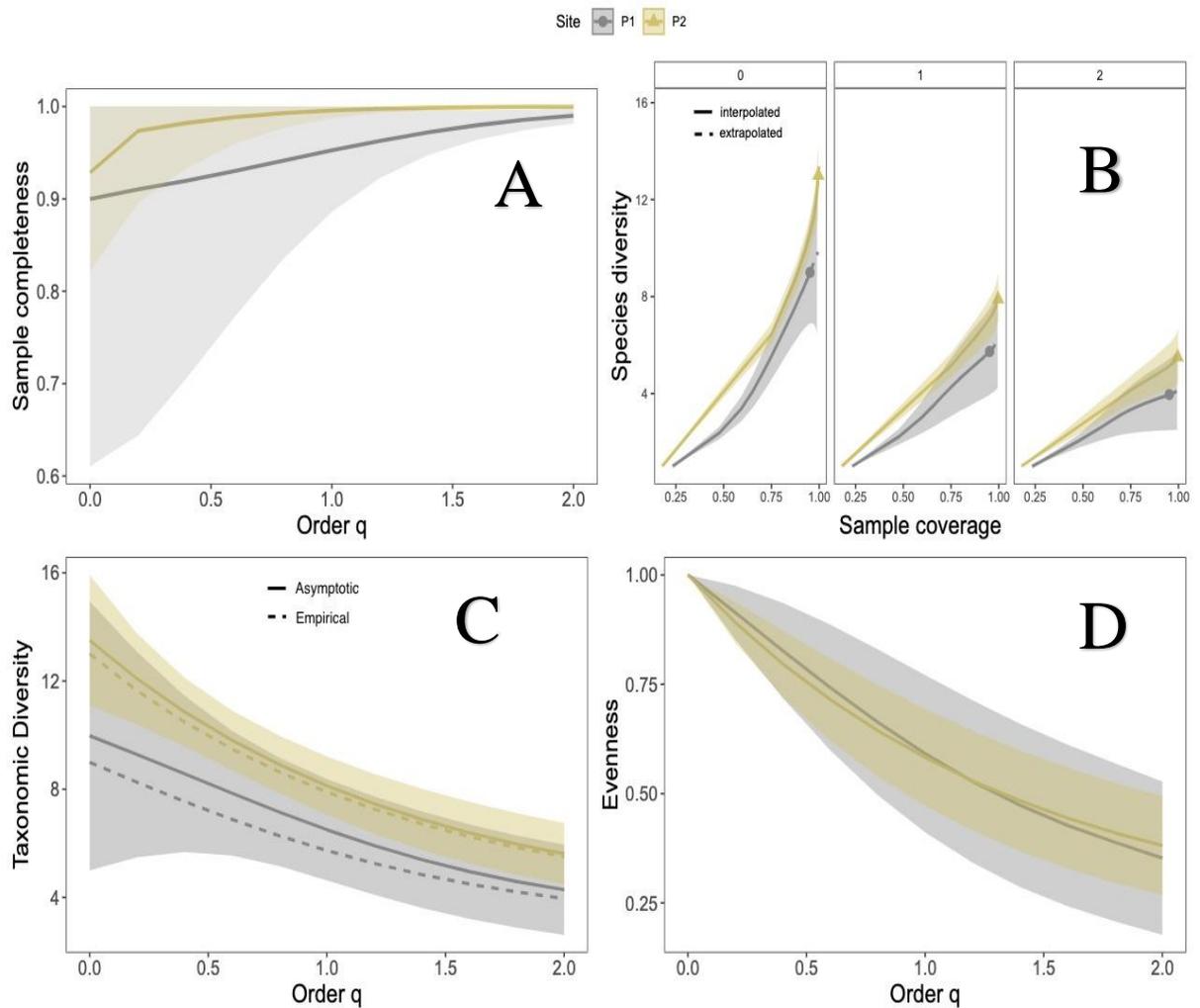


Fonte: O autor (2022).

Em relação aos pontos, a completude amostral também não variou significativamente para as ordens de q (Figura 8A). A Figura 8B mostra que o Ponto 1 teve uma queda proporcional menor do que a do Ponto 2, porém nunca variando significativamente quando a completude amostral passa de 60% para todas as ordens q . A diversidade assintótica e empírica na Figura 8C não variou significativamente entre os pontos, porém o Ponto 2 mostrou uma maior ingrimidez em relação ao Ponto 1. A diversidade empírica não variou significativamente da assintótica, mostrando a confiabilidade dos dados. A Figura 8D mostra que a equitabilidade entre o Ponto 1 e 2 não variou significativamente, porém o Ponto 1

mostrou ter uma maior equitabilidade das espécies raras e segundo Chao (2016) a maior equitabilidade de espécies raras exprime maior diversidade.

Figura 8. Diversidade a partir da curva de acumulação da sequência q dos números de Hill para os pontos amostrais. A) Completude amostral pelas ordens de q . B) Diversidade efetiva separada pelas ordens de q sobre a completude amostral. C) Diversidade empírica e assintótica sobre as ordens q . D) Equitabilidade de Pielou sobre ordens q .



Fonte: O autor (2022).

4. DISCUSSÃO

No total, 269 exemplares da meiofauna foram examinados, sendo a sua distribuição majoritariamente no período chuvoso, com 259 indivíduos. A maioria dos indivíduos se encontravam inteiros, sendo identificados no menor nível taxonômico possível. Os gêneros *Pristina sp*, Tubificinae e *Enchytraeidae sp* foram os mais abundantes, seguidos de larva de inseto, Nematoda, Tanaidacea, Acari e Chironomidae.

Entre os organismos identificados, apenas o gênero *Enchytraeidae sp*, a classe Insecta e a ordem Tanaidaceae ocorreram no período seco. Esse é um do motivo pelo qual a contribuição relativa do *Enchytraeidae sp* foi mais de 50% para este período (Figura 6).

Dentre os taxa encontrados, o Tanaidacea merece um maior destaque mesmo não sendo o táxon dominante. Esses organismos são representados em sistemas de água doce apenas com quatro espécies, sendo descrito na América do Sul com apenas a ocorrência de a uma espécie (JAUME & BOXHALL, 2008). Com base nisso, esse fato faz do rio Beberibe um caso notável de ocorrência de Tanaidacea, além de nesse rio ser o primeiro estudo já realizado em comunidades bentônicas a nível de táxon, além de ser o primeiro registro dessa ordem para a região, sendo os registros mais recentes assinalados por Rodrigues et al., (2021) em uma lagoa costeira no Rio de Janeiro – Brasil.

O Ponto 2 foi o mais rico, possuindo todos os taxa encontrados. Em relação às diferentes profundidades, não houve diferença significativa na distribuição dos organismos (pseudo-F = 2.3423, $R^2 = 0.06659$, p-value = 0.11354). Com base nisso, as camadas de 0-5cm e 5-10cm não evidenciaram diferenças expressivas em suas abundâncias. O Período chuvoso foi apontado como sendo o de maior concentração populacional. Tal fato confirmado pela análise de componentes principais (PCA) que também mostrou uma maior abundância dos organismos no Ponto 2. A PCA explicou a expressividade dos organismos associados a variáveis ambientais, sendo o aumento da matéria orgânica total (TOM), silte, argila, oxigênio e salinidade fatores que mais explicaram e contribuíram expressivamente na maior concentração dos indivíduos, explicando a maior proporção da estrutura da comunidade bentônica. A salinidade é um fator chave para regular a comunidade bentônica, atribuindo um papel secundário à matéria orgânica (BAIA et al., 2021; SEMPRUCCI et al., 2019).

A composição e abundância da comunidade de invertebrados no rio Beberibe variaram significativamente entre os pontos e períodos, com os resultados da PERMANOVA mostrando que houve diferenças significativas entre o fator ponto ($p < 0,05$) e o fator período ($p < 0,05$). Contudo, como supracitado, nenhuma diferença significativa foi vista para o fator

profundidade ($p > 0,05$). Esse fato mostra, assim como em estudos de Baia et al. (2021) e Broman et al. (2019), que os organismos foram fortemente afetados por mudanças sazonais (período seco e chuvoso) e mudanças na salinidade.

Há diversas pesquisas que visam estudar se as variáveis ambientais são responsáveis pela abundância dos organismos meiofaunísticos. Nesse trabalho aqui exposto, foi visto através do valor de p que as variáveis ambientais pH, oxigênio, salinidade e temperatura tiveram diferença significativa na abundância dos organismos meiofaunísticos p -value < 0.001 . Em relação à granulometria, os valores de silte, argila e cascalho foram capazes de influenciar de alguma forma também na abundância dos organismos. Apenas a areia não influenciou significativamente no valor da abundância total, com o p -value de 0.297.

A mais baixa densidade da meiofauna foi obtida no período seco e esse fato pode estar relacionado ao efeito de perturbações no sedimento ou ainda devido à flutuações ambientais que mantiveram as densidades baixas.

A maior abundância dos organismos foi no ponto mais degradado em comparação ao ponto menos impactado, ou seja, o Ponto 2 obteve um número mais expressivo dos organismos. Tal fato pode ter ocorrido devido ao P2 possuir um maior aporte de dejetos urbanos, causando um enriquecimento orgânico. Contudo, pode-se afirmar que o enriquecimento orgânico nem sempre é positivo, pois o seu excesso pode iniciar o famoso “paradoxo do enriquecimento” dito por Rana et al. (2013), que ao invés de aumentar a densidade dos indivíduos, haverá uma diminuição. O paradoxo do enriquecimento orgânico tem a premissa de que altos valores de carga orgânica desencadeará uma queda do oxigênio dissolvido, e, com base nos dados analisados, sabe-se que o oxigênio é um fator determinante na distribuição destes.

A maior abundância dos indivíduos também se deu no período chuvoso. Entende-se que nesse período a chuva é capaz de enriquecer o ambiente, aumentando valores de matéria orgânica total. Em vista disso, o período chuvoso pode contribuir com o enriquecimento orgânico através de processos de carreamento de substâncias orgânicas, aumentando a disponibilidade de nutrientes (GHOSH et al., 2018).

Na Figura 5A é perceptível que os valores das variáveis do período chuvoso foram mais susceptíveis a um maior valor da abundância total, pois sempre estiveram em um *optimum* que teoricamente se espera para meiofauna (RUPPERT & BARNES, 2004). O oxigênio mostrou maiores valores no período chuvoso do que no seco; a salinidade foi levemente menor no período chuvoso, tal fato também apresentado por Venekey et al. (2019). Ainda se tratando do período chuvoso, a temperatura foi significativamente menor em relação ao

período seco. A porcentagem de cascalho e areia foi maior no período seco enquanto que silte, argila, matéria orgânica e a abundância possuíram maiores valores no período chuvoso. A co-variação no ótimo teórico dessas variáveis ambientais sempre influenciarão positivamente a abundância. Tal fato explica a maior abundância total no período chuvoso, a não ser que seja em um ambiente impactado e com espécies generalistas que podem ser encontradas em condições altamente desfavoráveis, desde águas com baixa salinidade até ambientes com alta salinidade (VEIT-KÖHLER et al., 2018; LEIVA et al., 2020; CAPELETTI et al., 2021).

A lógica reversa pode ser aplicada para os menores valores do período seco. Para os pontos amostrais (Figura 5B), foi visto que o desbalanceamento das variáveis ambientais resultou em uma maior abundância total, menores valores de oxigênio e matéria orgânica, enquanto maiores de salinidade e temperatura co-variam para um maior valor da abundância. Isto pode ser explicado pelo fato de no ponto 2 está ocorrendo apenas espécies generalistas, que se dão bem muitas vezes em condições adversas, típicas de ambiente impactado (assim como é o ponto 2), tais como o gênero *Pristina sp*, a subclasse Acari e o filo Nematoda (Figura 6). Isto evidencia que o ponto 2 realmente está sob algum impacto, provavelmente antropogênico, e que a teoria do enriquecimento está a se aplicar nesse caso.

A diversidade efetiva máxima da meiofauna no período chuvoso (Figuras 7 A, B, C, D) se dá devido provavelmente ao *optimum* teórico das variáveis que aumenta a abundância total, e também a relativa, fazendo com que, nesse caso, dada uma influência positiva de abundância para a maioria das espécies, haja uma alta equitabilidade dos valores da abundância relativa com as espécies, sendo adicionadas equitativamente de maneira quase linear ao longo do aumento da completude amostral.

O fato de os valores terem variado significativamente de um período ao outro, com inclusive maiores valores no período chuvoso, mostra como o período seco proporciona um ambiente muito susceptível para a comunidade meiofaunística. A menor queda proporcional da diversidade efetiva ao longo das ordens de q , considerando diferentes pesos às espécies raras e dominantes, mostra como a equitabilidade foi máxima no período seco. A influência dos fatores ambientais é sempre um ponto chave na estimação e discussão no que se refere à diversidade, pois eles sempre determinam se as espécies são igualmente distribuídas, ou não, em um ecossistema, comunidade ou assembleia (MAGURRAN, 2003; CHAO et al., 2014). As diversidades não variaram de forma significativa entre os valores dos pontos 1 e 2 (Figuras 8 A, B, C, D), com exceção da riqueza que foi significativamente maior no ponto 2). Porém, apesar de q_0 ter variado de forma significativa, as diversidades de ordem q_1 e q_2 não variaram,

evidenciando que há mais espécies dominantes no ponto 2 do que no ponto 1, o que expressa, de acordo com a maior equitabilidade de espécies raras, uma maior diversidade no ponto 1. Isto indica também que as variáveis não tiveram tanto peso no balanço da diversidade dos pontos, pois a influência destas no aumento de espécies generalistas em um só ponto junto a uma maior abundância (mesmo que com alta dominância) no ponto 2 terminou tendo uma diversidade efetiva com valores muito parecidos, pois a equitabilidade de espécies generalistas em ambientes impactados é sempre parecida, o que corrobora com as Figuras 5 e 6 (MAGURRAN, 2004; GOTELLI & ELLISON, 2013; RICKLEFS & RELYEA, 2019).

5. CONCLUSÃO

Existe uma falta de informações sobre as comunidades bentônicas, principalmente em ambientes de água doce brasileiros.

Em termos de sazonalidade, as diferenças entre os períodos de seca e chuva, juntamente com pontos que possuem maior enriquecimento orgânico, são fatores determinantes para o estabelecimento das comunidades bentônicas. Os resultados da ecologia e distribuição dos indivíduos forneceram informações taxonômicas que antes não existiam a respeito da estrutura da comunidade da meiofauna para o rio Beberibe.

O conhecimento da ocorrência dos taxaem ecossistemas de água doce no Brasil, é de fundamental importância para contribuição em pesquisas futuras, no âmbito da ecologia, taxonomia e hidrologia, por exemplo.

A análise da estrutura da comunidade bentônica permitiu avaliar de maneira mais concisa suas relações com diferentes fatores ambientais, além de demonstrar a importância em futuros estudos que visem o cunho taxonômico, gerando fundamentação para futuros estudos em sistemas lóticos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem pelo financiamento e concessão da bolsa de estudo para o primeiro autor e todo o suporte financeiro. Também agradecem ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Brasil e ao

Laboratório de Bentos e o de Oceanografia Geológica, ambos pertencentes à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pela infra-estrutura cedida para as análises laboratoriais. cedida para as análises laboratoriais.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15469:2015 - **Ecotoxicologia - Coleta, preservação e preparo de amostras**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L., e SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Metereologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6. p. 711-728, 2013.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 15 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 2011. BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. In: Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. Salvador. 2005.

BAIA, Erivaldo; ROLLNIC, Marcelo; VENEKEY, Virág. Seasonality of pluviosity and saline intrusion drive meiofauna and nematodes on an Amazon freshwater-oligohaline beach. **Journal of Sea Research**, v. 170, p. 102022, 2021.

BRINKE, Marvin et al. Using meiofauna to assess pollutants in freshwater sediments: a microcosm study with cadmium. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 30, n. 2, p. 427-438, 2011.

BROMAN, Elias et al. Salinity drives meiofaunal community structure dynamics across the Baltic ecosystem. **Molecular ecology**, v. 28, n. 16, p. 3813-3829, 2019.

CAPELETTI, Julieta; MARCHESE, Mercedes R.; ZILLI, Florencia L. Evaluating macroinvertebrate metrics for ecological assessment of large saline rivers (Argentina). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 46, p. 66464-66476, 2021.

CARVALHO FILHO, J.A.A. **Estudo de contaminantes emergentes e meiofauna no rio Ipojuca no município de Caruaru**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2019.

CASTRO, Lyda R. et al. Metabarcoding meiofauna biodiversity assessment in four beaches of Northern Colombia: effects of sampling protocols and primer choice. **Hydrobiologia**, p. 1-20, 2021.

CERCA, J., PURSCHKE, G., STRUCK, T.H.. **Marine connectivity dynamics: clarifying cosmo- politan distributions of marine interstitial invertebrates and the meiofauna paradox**. Mar. Biol. 2018. <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/c3.2.6.pdf>>, acessado em 14/12/2021.

CHAO, Anne et al. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological monographs**, v. 84, n. 1, p. 45-67, 2014.

CHAO, A.; CHIU, C. Species richness: estimation and comparison .**Wiley StatsRef: Statistics reference online** (pp. 1–26). 2016.

CHAO, A., Y. KUBOTA, D. ZELENÝ, C.-H. CHIU, C.-F. LI, B. KUSUMOTO, M. YASUHARA, S. THORN, C.-L. WEI, M. J. COSTELLO, AND R. K. COLWELL. Quantifying sample completeness and comparing diversities among assemblages. **Ecological Research**, 35, 292-314. 2020.

CHAU, Minh Khoi et al. Impacts of saltwater intrusion on soil nematodes community in alluvial and acid sulfate soils in paddy rice fields in the Vietnamese Mekong Delta. **Ecological Indicators**, v. 122, p. 107284, 2021.

DE ALBUQUERQUE, Tatiane Barbosa Veras; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira; DE PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro. INTERAÇÃO ÁGUA SUBTERRÂNEA-ÁGUA SUPERFICIAL E COMUNIDADE DE ORGANISMOS DA MEIOFAUNA DO AMBIENTE HIPORREICO. **Águas Subterrâneas**, 2015.

DE SOUZA, Maiara Teixeira et al. Composição e variabilidade espaço-temporal da meiofauna da praia do Goiabal, Calçoene–AP. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1755-1765, 2020.

DOS SANTOS, Suelen Nascimento et al. Evaluation of freshwater benthic communities: a case study in an urban source in the Northeast of Brazil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 56, n. 1, p. 28-40, 2021.

FREITAS, J.B.A. **Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2018.

FREITAS, J.B.D.A et al. Influência da interação rio-aquífero sobre a distribuição vertical da meiofauna hiporreica. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 4, p. 354-367, 2019.

GHOSH, M.; MANDAL, S.; CHATTERJEE, M. Impact of unusual monsoonal rainfall in structuring meiobenthic assemblages at Sundarban estuarine system, India. **Ecological Indicators**, v. 94, part 1, p. 139-150, 2018.

GOTELLI, Nicholas J. et al. **A primer of ecological statistics**. Sunderland: Sinauer Associates, 2004.

IBURG, Sven et al. Effects of Recreational Boating on Microbial and Meiofauna Diversity in Coastal Shallow Ecosystems of the Baltic Sea. **Mosphere**, v. 6, n. 5, p. e00127-21, 2021.

JAUME, D. and BOXSHALL, DA. Global diversity of cumaceans & tanaidaceans (Crustacea: Cumacea & Tanaidacea) in freshwater. **Hydrobiologia**, vol. 595, p. 225-230. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-007-9018-0>. 2008.

LAMPADARIOU, Nikolaos et al. Meiobenthos from biogenic structures of the abyssal time-series station in the NE Pacific (Station M). **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 173, p. 104720, 2020.

LEIVA, Marta; MARCHESI, Mercedes; DIODATO, Liliana. Structure, distribution patterns and ecological responses to hydrological changes in benthic macroinvertebrate assemblages in a regulated semi-arid river: baseline for biomonitoring studies. **Marine and Freshwater Research**, v. 72, n. 2, p. 200-212, 2020.

LOPES, Taynan da Silva et al. **Caracterização de meiofauna e da nematofauna da barragem de poleiros**, Barra de Santa Rosa-Paraíba, Brasil. 2017.

MAGURRAN, Anne E. **Measuring biological diversity**. John Wiley & Sons, 2003.

MAJDI, Nabil et al. Duration and frequency of non-flow periods affect the abundance and diversity of stream meiofauna. **Freshwater Biology**, v. 65, n. 11, p. 1906-1922, 2020.

MONTAGNA, Paul A. et al. Linking Abiotic Variables with Macrofaunal and Meiofaunal Abundance and Community Structure Patterns on the Gulf of Mexico Continental Slope. In: *Scenarios and Responses to Future Deep Oil Spills*. Springer, Cham, 2020. p. 109-131.

MONTEIRO, Luana et al. Effects of the water-soluble fraction of a crude oil on freshwater meiofauna and nematode assemblages. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 176, p. 186-195, 2019.

RANA, S.; BHATTACHARYA, S.; PAL, J.; N'GUEREKATA, G.M.; CHATTOPADHYAY, J. Paradox of enrichment: A fractional differential approach with memory. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 392, n. 17, p. 3610-3621, 2013.

RICKLEFS, Robert E.; RELYEA, Rick. **Écologie: l'économie de la nature**. De Boeck Supérieur, 2019.

ROCHA, Odete. **Águas doces in Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira**, v. II. Brasília: MMA, 2005.

RODRIGUES, Antonio Jailson De S. et al. Benthic macrofauna associated to the invasive bivalve *Mytilopsis leucophaeata* (Dreissenidae) in a coastal lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

RUPPERT, Edward E.; BARNES, Robert D.; FOX, Richard S. **Invertebrate zoology: a functional evolutionary approach**. 2004.

SILVA, Valdecléia Gomes da et al. Caracterização da comunidade meiofaunística com ênfase na nematofauna em ecossistemas aquáticos do Curimataú Oriental Paraibano. 2018.

SEMPRUCCI, Federica; GRAVINA, Maria Flavia; MAGNI, Paolo. Meiofaunal dynamics and heterogeneity along salinity and trophic gradients in a Mediterranean transitional system. **Water**, v. 11, n. 7, p. 1488, 2019.

SCHMIDT-RHAESA, Andreas (Ed.). **Guide to the identification of marine meiofauna**. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2020.

SCHRATZBERGER, M; SOMERFIELD, P. J. Effects of widespread human disturbances in the marine environments suggest a new agenda for meiofauna research is needed. **Science of The Total Environment**, p. 138435, 2020.

VERAS, Tatiane Barbosa et al. RECARGA INDUZIDA ATRAVÉS DO BOMBEAMENTO NAS MARGENS E O PAPEL DA MEIOFAUNA NO LEITO POROSO. **Águas Subterrâneas**, 2016.

YUSAL, Muh Sri et al. Abundance and diversity of meiofauna as water quality bioindicator in Losari Coast, **Makassar, Indonesia**. 2019.

VERAS, Tatiane Barbosa et al. Interação rio-aquífero e a meiofauna do ambiente hiporreico. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 20-35, 2017.

VEIT-KÖHLER, Gritta et al. Oceanographic and topographic conditions structure benthic meiofauna communities in the Weddell Sea, Bransfield Strait and Drake Passage (Antarctic). **Progress in Oceanography**, v. 162, p. 240-256, 2018.

VEIT-KÖHLER, Gritta et al. Oceanographic and topographic conditions structure benthic meiofauna communities in the Weddell Sea, Bransfield Strait and Drake Passage (Antarctic). **Progress in Oceanography**, v. 162, p. 240-256, 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos capítulos apresentados, foi visto que a meiofauna, ou também meiobentos, são organismos fundamentais para estudos que visem melhoria de qualidade de água, monitoramento e utilização de bioindicadores ambientais. Mesmo possuindo um leque de importâncias, esses organismos possuem peculiaridades ainda não bem explicadas, principalmente em se tratando de ambientes de água doce. Há um leque muito restrito de publicações de organismos bentônicos dulcícolas, em especial na zona hiporreica de rios. Esse trabalho permitiu ampliar o conhecimento sobre essa área pouco explorada e, além disso, abriu novas perspectivas, visto que quanto maior o conhecimento que se tiver a respeito desses organismos, maior será a possibilidade de novos estudos ambientais.

O entendimento de como esses organismos estão distribuídos no rio Beberibe possibilitará novas citações, visto que trabalhos no ambiente hiporreico desse rio já existem, porém tratando de assuntos gerais; sendo este trabalho aqui apresentado, pioneiro quando se trata de índices de diversidade da meiofauna no rio Beberibe. A partir dos resultados apresentados entende-se que a estrutura da comunidade bentônica dulcícola tem as suas limitações. O que precisa ser feito é se estudar a distribuição mais profundamente, a fim de melhor se compreenderem os fatores que se correlacionam altamente com o ambiente, facilitando estudos de monitoramento e qualidade de água.

APÊNDICE

1 The neglected area of meiobenthos: a bibliometric analysis 2 in the status of research on freshwater meiofauna

3
4 Suelen Nascimento dos Santos^{1*}, Fernando Cartaxo Rolim Neto¹.

5 ¹ Rural Federal University of Pernambuco, Department of Rural Technology, – UFRPE

6 * Correspondence:

7 1 * Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n. 52171-900. e-mail: sue-santos@outlook.com (at the time that this
8 research was conducted, Master's Degree student in the Rural Technology Department, Rural Federal University
of Pernambuco - Brazil)

10
11 **Abstract:** Studies on freshwater meiofauna are still enigmatic, this field of research is quite
12 neglected, publications on this topic are not increasing as much as the others, showing that
13 there is a certain gap when it comes to this area. This paper contains a brief review of what
14 already exists on freshwater meiofauna around the world in any period, focusing on
15 increasing knowledge on this topic and making it a common study field in science, surveying
16 the research in this little known area of meiofauna. For this, the methodology involved a
17 bibliographic survey carried out from Web of Science (WoS) and SCOPUS bibliographic
18 databases, using any possible time interval, but searching only documents published in
19 English. The search was performed by title and keywords, highlighting Meiofauna (or
20 meiobenthos), hyporheic zone (or freshwater). The results showed a number of 28
21 documents on freshwater meiofauna around the world, mainly concentrated in Germany, the
22 United Kingdom, and the United States. Based on this, a discussion was presented given
23 these few articles found, highlighting that the lack of researches on freshwater meiofauna
24 community, its ecology, taxonomy, biology, and populations, which are consequently
25 poorly known what imposes a barrier on new researchers and researches to emerge in this
26 area and need increase scientific interest at all. It is hoped that this bibliometric review can
27 be used as an alert about this area of meiofauna that is so important but at the same time is
28 neglected, having a very exclusive group of authors and works, being of extreme importance

29 a direction of research that covers all biological, taxonomical and ecological themes that
 30 involve freshwater meiofauna, increasing publications worldwide.

31 **Practioner points:**

- 32 • There is still a challenge to find researches about freshwater meiofauna
- 33 • Freshwater meiofauna is still neglected and enigmatic
- 34 • The lack of knowledgement in taxonomy creates a barrier in every other topic of research
- 35 • The hyporheic zone plays a major role in water quality due to meiofauna filtering and it is
 36 not properly explored

37 **Keywords:** Bibliometrix, State of the art, Hyporheic zone, Ecology, Taxonomy

38 **1. Introduction**

39 Meiofauna (or meiobenthos) are a group of benthic, invertebrate, and cosmopolite
 40 organisms that occur in freshwater (rivers and lagoons), marine and oceanic environments,
 41 groundwater, glaciers, hot springs, rocks, plants, and algae roots, and in other cryptic habitats
 42 (Eisendle & Hilberg, 2014). Meiofauna can be defined as small-sized organisms (<1mm)
 43 which are withheld in a geological sieve of mesh <45mm (Giere, 2009), the microscopic size
 44 is a reflection of an evolutionary benefit to dwell and live in interstitial environments
 45 (Schratzberger & Ingels, 2018). The meiofaunistic community is mainly represented by
 46 Nematoda, Polychaeta, Oligochaeta, Copepoda, Platyhelminthes, and other Molluscs and
 47 Crustaceans (Giere, 2009).

48 Freshwater meiofauna even though had not been quite widely studied, it is known these
 49 organisms plays a fundamental role in improvement processes of water quality (Dos Santos et
 50 al., 2021; Freitas et al., 2021). They are capable, through their biological activity, of filtering
 51 pollutants, rebiomineralizing the organic matter, oxygenating and dissolving minerals in water
 52 (Veras et al., 2018). Some authors highlights the meiofauna importance in freshwater

53 environments, such as Liu et al. (2017), where they emphasise the water resources and its
54 elements preservation need. It is well-known that the conservation of an environment,
55 community or even an species require a vast knowledgement about the topic (Ricklefs &
56 Relyea, 2019), to conserve water resources in an efficient way, it is needed some effort to
57 unveil these unexplored areas, such as freshwater meiofauna organisms and their unheard-of
58 contributions and services to the hyporheic zone ecosystem. According to what is explored so
59 far, freshwater meiofauna is undoubtedly a major component to the freshwater ecosystems
60 functioning (Veras et al., 2018; Dos Santos et al., 2021; Freitas et al., 2021).

61 Including or sampling these organisms in freshwater biological or water quality
62 assessments will result in better contributions and in more robust researches regarding to
63 contaminants clearance methodologies, environment conservation and a proper
64 acknowledgment of the hyporheic zone importance and its environmental services (Boon et
65 al., 2016). The meiofauna capacity of transforming nutrients, metabolise them and filtering
66 pollutants is an important ecosystem service played. Showing the scientific rejection about
67 freshwater meiofauna might be a kickoff to stimulate studies on this topic.

68 Functional roles developed by the meiofauna in an environment are very important and
69 many times essential for well-functioning ecosystems (Hakenkamp et al., 2002; Benke &
70 Hurry, 2010). These roles are organic matter (re)biomineralization for effective energy
71 recycling, aerating the soil, which improves the oxygen flow and increases the redox layer
72 depth, therefore enlarging the vertical inhabitable zone to other organisms and the bioturbation
73 that influence the bacterial dynamics, increasing resource availability to the whole ecosystem
74 (Hakenkamp et al., 2002; Benke & Hurry, 2010; Schratzberger & Ingels, 2018).

75 By being responsible for that functional roles and transformations in ecosystems, these
76 organisms are an increasing research topic in the past decades by many authors and by many
77 environments, such as marine (and beach) and estuarine meiofauna, cryptic meiofauna, deep-

78 sea meiofauna, and many others as it seen in Hoffmann e Gunkel (2011), Stubbington et al.
79 (2012), Freitas (2018), Schratzberger, et al., (2020). Freshwater meiofauna, although, seems
80 to not delight researchers eyes, since publications about this group are not increasing as well
81 as the other ones, some isolated researches have been published in the past years (Guo et al.
82 2010), as Veras et al. (2017), De Freitas (2015), Veras et al. (2018), Dos Santos et al. (2021).

83 Bibliometric analysis is a tool that links bibliographic surveys and statistical analyses
84 and indices, estimating the state of the art or research status of any topic (if it is widely or
85 barely studied) on a temporal and spatial scale, therefore this tool is increasing exponentially
86 in scientific publications in the past years as it gained huge popularity in sundry areas of
87 science (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021; Khan et al., 2021). Meiofauna as the
88 main target of a bibliometric analysis is not so common, although there are few publications
89 with that approach (Lim et al., 2010; Liu, 2015; Guo et al., 2021), most of them focus on
90 marine, estuarine or terrestrial meiofauna, the research status of freshwater meiofauna is likely
91 unknown until nowadays.

92 This ongoing bibliometric research aims in quantifying the researches, publications,
93 and documents published about freshwater throughout all temporal span and over the world
94 and shows the few publications about freshwater meiofauna and the lack in many areas of
95 biological study on this topic. It is expected to increase the knowledge about this topic and
96 make it a commonpublishing field on science and raise the researches in that barely known
97 meiofauna sub-area.

98 **2. Material and Methods**

99 In November 2021, a search was carried out on the electronic database Web of Science
100 (WoS) to find and recognise the current state of scientific literature on freshwater meiofauna.
101 The search was conducted using the fields “title”, “keywords”, in any time span possible, only
102 English written documents were used (table 1). A total of 28 publications were obtained in the

103 search, none of the documents were duplicated or able to be excluded by any reason, so the 28
104 were included in the bibliometric analysis. As well as in WoS, the search was carried out in
105 the database SCOPUS, but most of the publications were duplicated, then the search was not
106 considered in the data analysis, data reduction and so forth (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu
107 et al., 2021).

108 All bibliometric analyses and graphics were performed in R language (R Core Team,
109 2021) in the IDE RStudio Software with the packages “bibliometrix” which was created
110 specifically to carry out bibliometric analyses (Aria & Cuccurullo, 2017) and “ggplot2”, to
111 customise, create, edit and plot elegant graphics. As analyses, it was fulfilled the total scientific
112 production and total citations over time both with a linear regression to estimate the
113 importance of the time in publications frequency trends, most productive countries and the
114 number of single and multiple country publication that allow to see what countries are
115 publishing by itself or collaborating, countries collaboration network, top authors production
116 over time, historic of authors interaction (or citations) throughout time and a Multiple
117 Correspondence Analysis (MCA) of keyword occurrence and co-occurrence and its network
118 and the top five most used keywords and its centrality (interaction among clusters) by
119 comparing clusters and keywords pairs (meiobenthos, meiofauna, hyporheic and freshwater
120 were omitted).

121 **3. Results**

122 The total number of publications/scientific production about freshwater meiofauna was
123 28, which were divided in 25 articles, 1 editorial material and 2 reviews (checklist). The
124 documents are in a time span of 42 years (1979 - 2021) with annual percentage growth rate of
125 1.66% and average citations per year per document of 1.21, the maximum number of annual
126 publications was 4 and the minimum was 1 (Figure 1a) and for total citations, the maximum
127 was 4 and the minimum was 1 as well (Figure 1b). The linear model showed a significant

128 variation ($p < 0.05$) in publications over the years, but have showed a weak relation with the
129 time what says publications is increasing over the time, but not in a continuous or a rapid way
130 (Figure 1a). Total citations seemed to have not increased significantly over the time and
131 showed a weak relation in the model (Figure 1b).

132 Countries network (Figure 2) shows that Germany are the country with most
133 publications and another countries have got isolated publication (Croatia and Spain), the
134 collaboration among countries explicits that most countries interact with each other to publish
135 and research the freshwater meiofauna, mainly countries with more publications (Germany
136 and United Kingdom). Otherwise, some others, like United States and Brazil, publish
137 relatively a lot, with no other country, not interacting (Figure 2).

138 The authors, their production and citations started to grow a lot since 2010-2012 (Figure
139 4), when the freshwater environment, its processes and organisms begin to be concerned by
140 researchers. As it seen in Figure 3, in 2011, many authors appeared publishing for the first
141 time in freshwater meiofauna, like Traunspurger, Hoess, Claus, Heininger and Ristau. Most
142 of the publishers returned in the search, have studied meiofauna before, but in another
143 environments. Citations started to increase from articles in 2011 as well, as it is a very
144 exclusive group of authors, their network citation are too close of each other (Figure 4).

145 There were a total of 159 keywords and the top five most used ones were “Community”
146 used 10 times, “Nematoda”, 9 times, “Invertebrates”, 6 times, “Ecology”, 6 times and
147 “Patterns”, 6 times (Table 2). The centrality (keyword co-occurrence with other keywords
148 from another cluster in the same document) was bigger for Community, what shows that this
149 keyword occurred 10 times with other keywords from other clusters, the lower was
150 Invertebrates, so this one occurs interacting with other keywords from the same cluster or from
151 close clusters.

152 The cumulative occurrence of the 5 (five) most used keywords over the time (Figure 5)
153 shows that from 1992 to 2010 (18 years) all the keywords were almost or in 50% of their
154 cumulative and they increase in the other half in less than 10 years (Figure 5). That is, there is
155 a notably increase of using the keywords in publication, then there are more publications (as
156 seen in Figure 1) about freshwater meiofauna community, freshwater Nematoda and so forth.

157 Correspondence Analysis (MCA) showed a pattern of 4 (four) clusters in which there
158 were no overlapping in none of them despite there were a lot of interaction of keywords co-
159 occurrences (Figure 6). The four clusters clearly differ by its main topic, they diverge: first
160 cluster (green) has got a topic more related with freshwater meiofauna community, the second
161 (purple) are turned to ecotoxicity and pollutants, the third (red) to diversity and ecological
162 patterns and the fourth (blue) to freshwater by itself, like lotic habitats and hyporheic zone.

163 There are, altogether, 21 periodicals that have been publishing at least 1 article about
164 freshwater meiofauna and hyporheic zone. The most-publishing periodical is *Hydrobiologia*,
165 holding 5 publications. The journals in their majority have got an high impact factor,
166 *Ecotoxicology and Environmental Safety* are the top 2, their impact factor is 6.291, the least
167 one is the French journal *Vie et Milieu* (0.434). Three journals had got no records about their
168 impact factors as it seen in Table 3.

169 **4. Discussion**

170 The scientific production significant growth across the time (Figure 1a) is a product
171 of the low-publications returned, because there are few publications in the 90's ranging from
172 0 to 1 and from 2000 to 2021 the range are 0 to 4, it is a huge increase in thesis, but considering
173 scientific production, 4 publications per year about a single topic is relatively very low,
174 contrasting, only in Brazil, marine sandy beaches meiofauna average publications per year is
175 approximately 9 (Maria et al. 2016) while the max number of publications in freshwater
176 meiofauna in an year is 4. This shows that even growing significantly, freshwater meiofauna

177 are still a cryptic research field. Total citations presents the same patters of numbers (Figure
178 1b), but not increasing significantly throughout the time, this proofs that meiofaunistic
179 freshwater community, ecology, taxonomy, biology and populations remains quite unknown
180 until today and needs a improvement in its scientific concernment.

181 United States (in 90's) and Germany (since 2002) have got the main role on meiofauna
182 publications, being the pioneers on the topic and influencing the whole world of publishing in
183 the field. The first freshwater meiofaunal study was in USA Oden (1979) and since 2002, the
184 first publications after a gap of 5 years came in Germany (Linhart et al. 2002) and it has
185 increased its number of publications over years and that is the reason of it is the most
186 productive and the most interactive country in this topic. The intercontinental countries in the
187 Figure 2 shows that despite of the low-publications, the topic is increasing indeed and studies
188 with freshwater meiofauna are becoming a worldwide-published and known area.

189 Authors productions over time shows that the increase of interest and publication in
190 freshwater meiofauna started to appear with more authors after 2010, and that the majority of
191 the authors only publish twice, the articles are not cited many times and then they disappear,
192 like Palmer, Linhart and Checon for example (Figure 3). This might be explained by the
193 difficulty of studying freshwater meiofauna and identifying it to species level due to the lack of
194 publications about freshwater meiofauna species, taxonomy and other subtopics. The few
195 authors that publish, are divided in four clusters of citation, it is clearly separated by the topic
196 of interest of each author, which are the almost the same in each cluster (Figure 4). This partition
197 shows how new studies appeared throughout time, like community studies, biodiversity, DNA
198 analysis and ecological patterns and most of these new subtopics started after 2000 and how
199 this area has got to explore.

200 The 5 most used keywords (Table 2, figure 5) explicits the main areas studied until now
201 (2021) and that community a wide explored in the published documents and Nematoda being

202 the second one, Nematoda by itself is wide researched due to its peculiarities and ease to study
203 most articles are focused on ecological patterns, community and invertebrates (Table 2). Studies
204 using direct environmental impacts, importance, diversity, taxonomy and resilience of
205 freshwater meiofauna are the last used keywords, what shows how much that this area in
206 unexplored, just a bit of its community ecology and Nematoda genera are known (Table 2). The
207 keywords centrality evidences that community, Nematoda and Patterns studies are the most
208 published in different sub-areas in freshwater meiofauna, it says that independent of the sub-
209 area studied, communities, Nematoda and patterns are considered, the cumulative occurrences
210 of keywords shows that they are in a rapid-increase trend since 2010 and hopefully it will
211 remain in that growing trend (Figure 5).

212 MCA converges with the centrality and the occurrences of keywords (Table 2, Figure
213 6), showing that they are strongly divided into four clusters (as the authors network) which ones
214 with their specific sub-area of study and explicit that community and ecology are more studied
215 and the ecotoxicology and pollution are less studied, despite of interactions, the clusters does
216 not overlap, so the few articles published do not merge these areas and the same happens with
217 the authors. As can be seen as well, there is no “taxonomy” keyword, this sub-area is totally
218 neglected (despite being the basis of study of any biological area) what makes limiting barriers
219 in studying freshwater meiofauna.

220 **5. Conclusions**

221 Freshwater meiofauna is a clearly neglected emerging topic which is in a increasing trend of
222 publications and has got a exclusive group of authors that a separated in four subgroups of sub-areas
223 and this makes a barrier on knowledge in the topic and difficult the interaction in publications. The
224 basis used to other areas (ecology, communities, diversity), taxonomy, are neglected in that neglected
225 area, it means that there is no publications describing species in freshwater meiofauna and that makes

226 a limitation in publishing for many authors or researchers. This area must increase in taxonomy,
 227 occurrence of species and describing species and so, this will increase in publication all over the world.

228

229 **Data Availability Statement:** The raw data that support the findings of this study are available
 230 on request from the corresponding author.

231

232 **Conflicts of Interest:** The authors declare no conflicts of interest.

233 **Acknowledgments:** This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento
 234 de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code: 001. The authors wish to thank the
 235 Department of Rural Technology -DTR, Rural Federal University of Pernambuco, Recife.

236

237 REFERENCES

- 238 Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping
 239 analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.
- 240
- 241 Benke, A. C., & Huryn, A. D. (2010). Benthic invertebrate production—facilitating answers to
 242 ecological riddles in freshwater ecosystems. *Journal of the North American Benthological*
 243 *Society*, 29(1), 264-285.
- 244 Boon, P. J., Willby, N., Gilvear, D., & Pryce, D. (2016). The regional hyporheic fauna of gravel-
 245 bed rivers and environmental controls on its distribution. *Fundamental and Applied*
 246 *Limnology*, 223-239.
- 247
- 248 De Freitas, D. A. D., Paiva, A. L. R. D., Carvalho, J. A. A. D., Cabral, J. J. D. S. P., & Rocha, F.
 249 J. S. (2015). Occurrence of *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. and other pathogenic
 250 intestinal parasites in the Beberibe River in the State of Pernambuco, Brazil. *Revista da*
 251 *Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 48, 220-223.
- 252
- 253 Donthu, N., Kumar, S., Pandey, N., Pandey, N., & Mishra, A. (2021). Mapping the electronic
 254 word-of-mouth (eWOM) research: A systematic review and bibliometric analysis. *Journal*
 255 *of Business Research*, 135, 758-773.
- 256
- 257 Eisendle-Flöckner, U., & Hilberg, S. (2015). Hard rock aquifers and free-living nematodes—an
 258 interdisciplinary approach based on two widely neglected components in groundwater
 259 research. *Ecohydrology*, 8(3), 368-377.
- 260
- 261 FREITAS, J. B. D. A. (2018). *Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio*
 262 *Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos* (Master's thesis,
 263 Universidade Federal de Pernambuco).

- 264 Giere, O. Meiobenthology. (2009). *The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments*.
 265 Hamburg, Springer Science e Business Media, 527(p).
 266
- 267 Guo, Y., Chen, X., & Liu, A. (2010, March). The research status on meiofauna in China by use
 268 of bibliometric analysis. In *2010 International Conference on Challenges in Environmental*
 269 *Science and Computer Engineering* (Vol. 1, pp. 507-510). IEEE.
 270
- 271 Hakenkamp, C. C., & Morin, A. (2000). The importance of meiofauna to lotic ecosystem
 272 functioning. *Freshwater biology*, *44*(1), 165-175.
- 273 Hoffmann, A., & Gunkel, G. (2011). Bank filtration in the sandy littoral zone of Lake Tegel
 274 (Berlin): Structure and dynamics of the biological active filter zone and clogging
 275 processes. *Limnologica*, *41*(1), 10-19.
 276
- 277 Khan, M. A., Pattnaik, D., Ashraf, R., Ali, I., Kumar, S., & Donthu, N. (2021). Value of special
 278 issues in the journal of business research: A bibliometric analysis. *Journal of Business*
 279 *Research*, *125*, 295-313.
 280
- 281 Lim, Z. S., Wong, R. R., Wong, C. Y., Zulkharnain, A., Shaharuddin, N. A., & Ahmad, S. A.
 282 (2021). Bibliometric analysis of research on diesel pollution in Antarctica and a review on
 283 remediation techniques. *Applied Sciences*, *11*(3), 1123.
 284
- 285 Linhart, J., Vlčková, Š., & Uvíra, V. (2002). Moss-dwelling meiobenthos and flow velocity in
 286 low-order streams. *Biologica*, *39*, 111-122.
 287
- 288 Liu, Y. (2015). *The influence of meiofauna on river biofilm functioning in relation to water*
 289 *quality* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
 290
- 291 Liu, Y., Dedieu, K., Sánchez-Pérez, J. M., Montuelle, B., Buffan-Dubau, E., Julien, F., ... &
 292 Gerino, M. (2017). Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-
 293 sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach. *Ecological*
 294 *Engineering*, *103*, 385-393.
 295
- 296 Maria, T. F., Wandeness, A. P., & Esteves, A. M. (2016). State of the art of the meiofauna of
 297 Brazilian Sandy Beaches. *Brazilian Journal of Oceanography*, *64*, 17-26.
 298 .
- 299 Oden, B. J. (1979). The freshwater littoral meiofauna in a South Carolina reservoir receiving
 300 thermal effluents. *Freshwater Biology*, *9*(4), 291-304.
 301
- 302 R. Core team. (2013). R: A language and environment for statistical computing.
 303
- 304 Robertson, A. L. (2000). Lotic meiofaunal community dynamics: colonisation, resilience and
 305 persistence in a spatially and temporally heterogeneous environment. *Freshwater*
 306 *Biology*, *44*(1), 135-147.
 307
- 308 Dos Santos, S. N., de Araújo Freitas, J. B., Cabral, J. J. D. S. P., de Paiva, A. L. R., & Clemente,
 309 C. C. C. (2021). Evaluation of freshwater benthic communities: a case study in an urban
 310 source in the Northeast of Brazil. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*
 311 *(Online)*, *56*(1), 28-40.
 312

- 313 Schratzberger, M., & Ingels, J. (2018). Meiofauna matters: the roles of meiofauna in benthic
 314 ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 502, 12-25.
 315
- 316 Schratzberger, M., & Somerfield, P. J. (2020). Effects of widespread human disturbances in the
 317 marine environment suggest a new agenda for meiofauna research is needed. *Science of the*
 318 *Total Environment*, 728, 138435.
 319
- 320 Silva, V. M. A. P., Grohmann, P. A., & Esteves, A. M. (1997). Aspectos gerais do estudo da
 321 meiofauna de praias arenosas. *Oecologia Brasiliensis*, 3(1).
- 322 Stubbington, R. (2012). The hyporheic zone as an invertebrate refuge: a review of variability in
 323 space, time, taxa and behaviour. *Marine and Freshwater Research*, 63(4), 293-311.
 324
- 325 Veras, T. B., Cabral, J. J. D. S. P., de Paiva, A. L. R., & Barreto, A. F. S. (2017). Interação rio-
 326 aquífero e a meiofauna do ambiente hiporreico. *Águas Subterrâneas*, 31(1), 20-35.
 327
- 328 Veras, T. B., Cabral, J. J., Paiva, A. L., Santos, P. J., & Freitas, D. A. (2018). Evaluation of
 329 Meiofauna in the Hyporheic Zone of the Beberibe River, Pernambuco, Brazil: Veras et
 330 al. *Water Environment Research*, 90(8), 685-696.
 331

332 **333 TABLES**

334

335 **Table 1.** Search and its combinations used in the bibliographic survey accomplished in the database
 336 Web of Science. TI: title, KP: keyword.

Search: Freshwater (or hyporheic) meiofauna (or meiobenthos)

TI=("meiofaun*" OR "meiobent*") AND
 TI=("freshwater" OR "Hyporheic") OR
 KP=("meiofaun*" OR "meiobent*") AND
 KP=("freshwater" OR "Hyporheic")

337

338 **Table 2.** Most frequent five keywords and their respective centrality tendency (meiofauna, hyporheic
 339 zone and freshwater omitted).

Keywords	Occurrences	Centrality (degree)
Community	10	0.412
Nematoda	9	0.228
Invertebrates	6	0.184
Ecology	6	0.215
Patterns	6	0.241

340

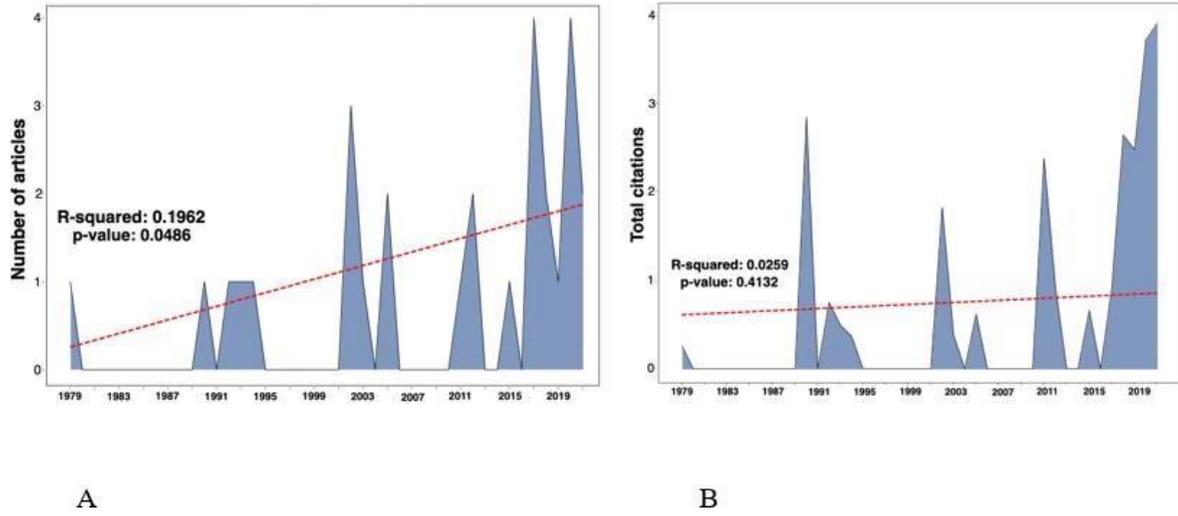
341 **Table 3.** Journals, their publications and Impact Factors.

Journal title	Number of papers	IF	Subject categories
Hydrobiologia	5	2.694	Oceanography
Archiv für Hydrobiologie	2	-	Limnological Sciences
Marine and Freshwater Research	2	1.488	Oceanography
Environmental Toxicology and Chemistry	2	3.742	Environmental Sciences
Annales de Limnologie - International Journal of Limnology	1	0.887	Limnological Sciences
Ecotoxicology and Environmental Safety	1	6.291	Environmental Sciences
Ecological Indicators	1	4.958	Environmental Sciences
Limnology and Oceanography	1	4.745	Oceanography
Scientific Reports	1	4.379	Natural Sciences
Molecular Phylogenetics and Evolution	1	4.286	Biology
Freshwater Biology	1	3.809	Biology
River Research and Applications	1	2.443	Environmental Sciences
Journal of Sea Research	1	2.108	Oceanography
Limnologica	1	2.093	Oceanography
Water Environment Research	1	1.946	Environmental Sciences
Canadian Journal of Zoology	1	1.637	Biology
Limnology	1	1.576	Limnological Sciences
Vie et Milieu – Life and Environment	1	0.434	Ecology
The American Microscopical Society	1	-	Biology
Estuaries	1	-	Oceanography

343

344 **FIGURES**

345



346

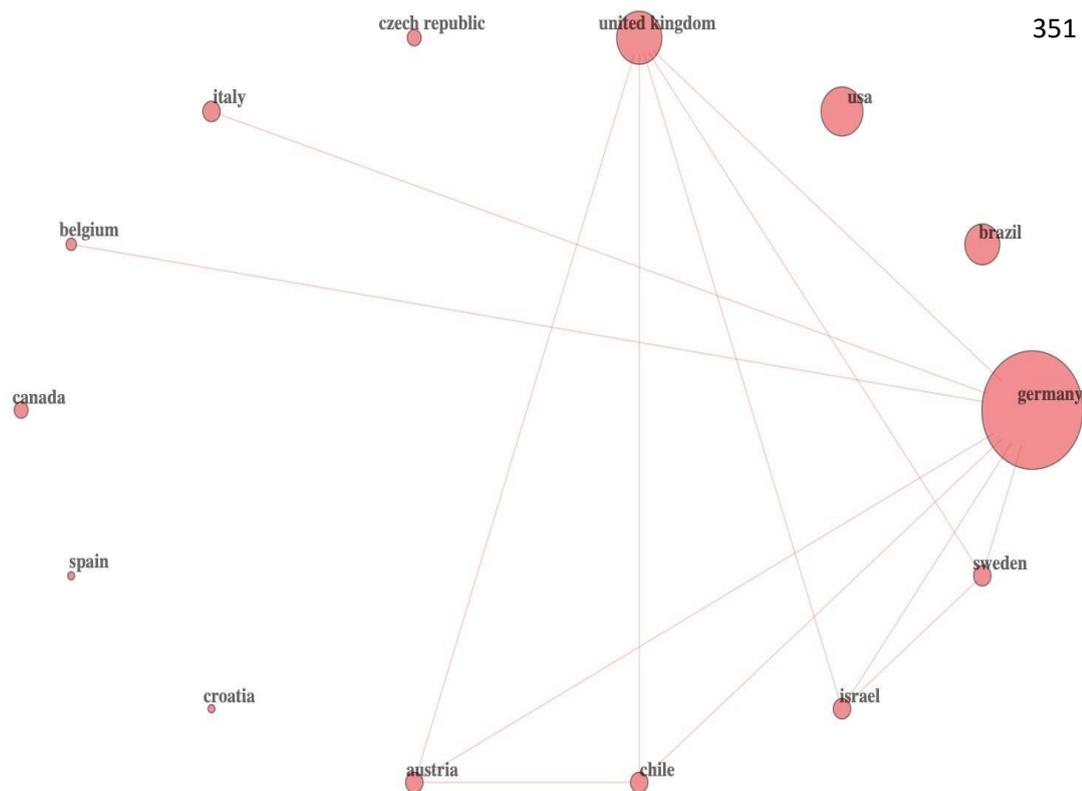
347

Figure 1. (A) Scientific production over the years; (B) Total citations over the years and their respective linear models of publications and citations by the time.

348

349

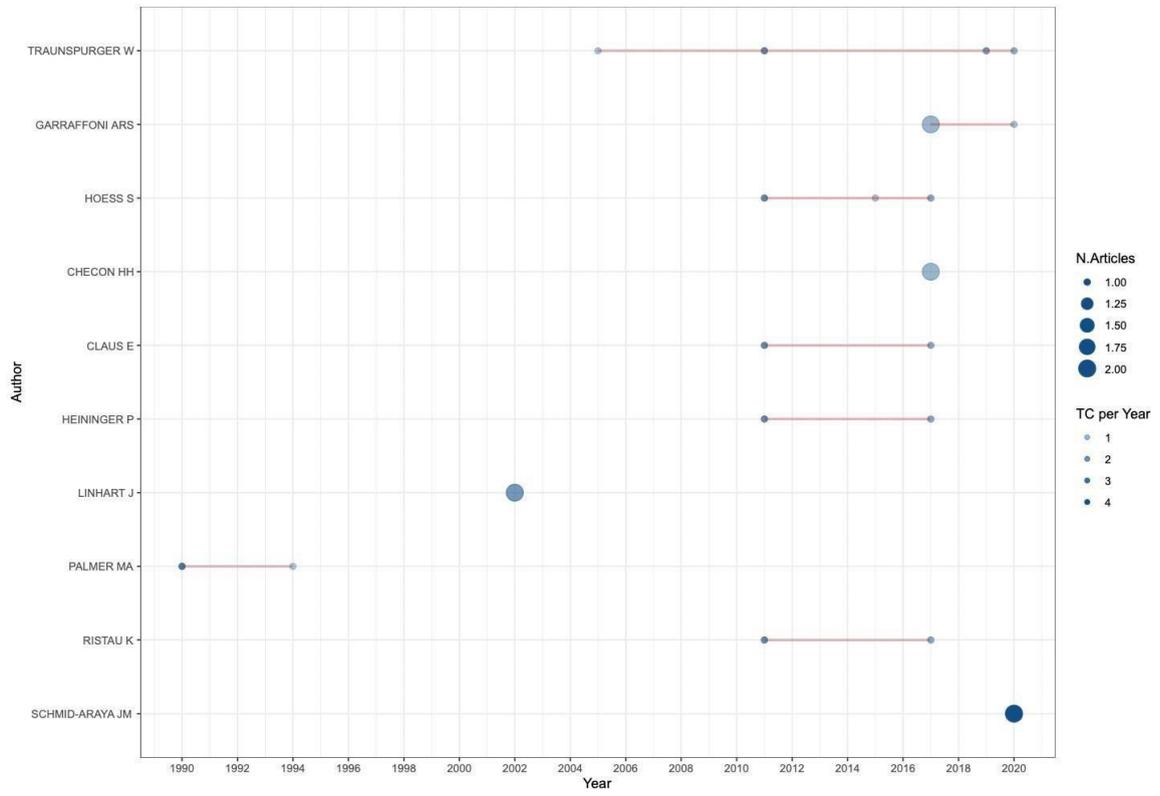
350



351

352
353

Figure 2. Countries interactions and respective publications by circle size. Max publications by country: 6, min publications by country: 1.



354
355

Figure 3. Top authors production, their number of articles and total citations per year.

356

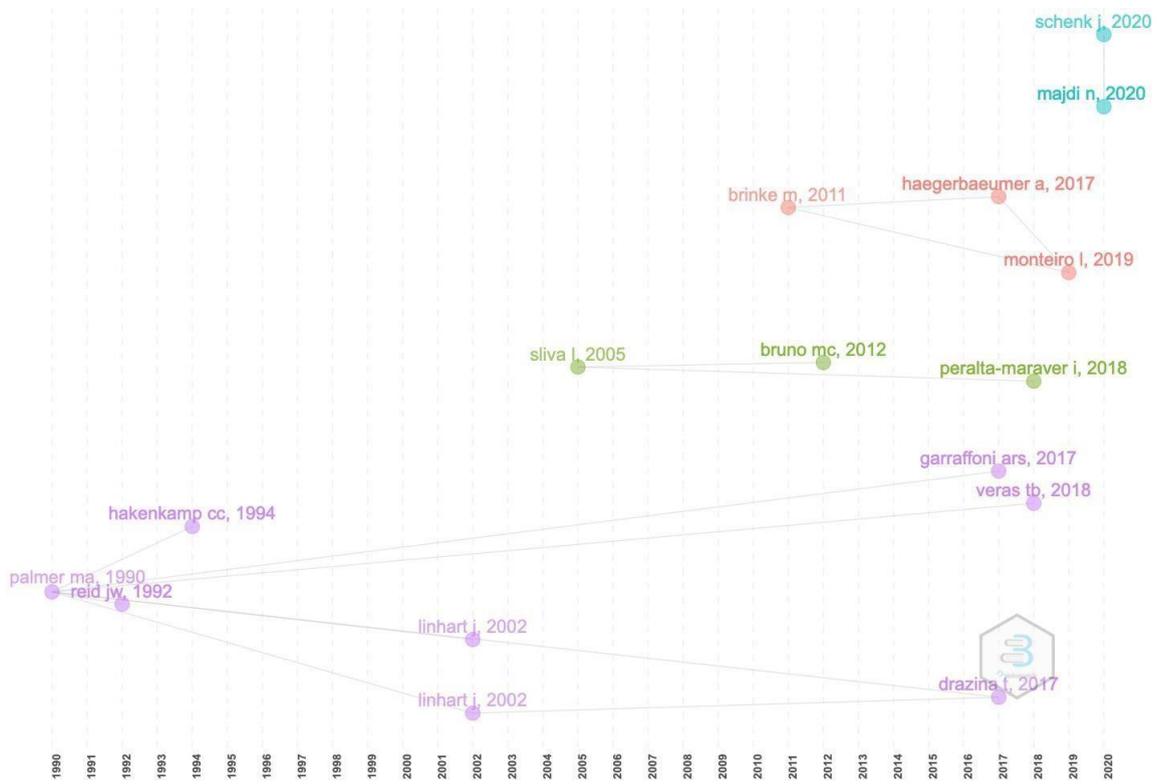


Figure 4. Authors direct citations network throughout time.

357

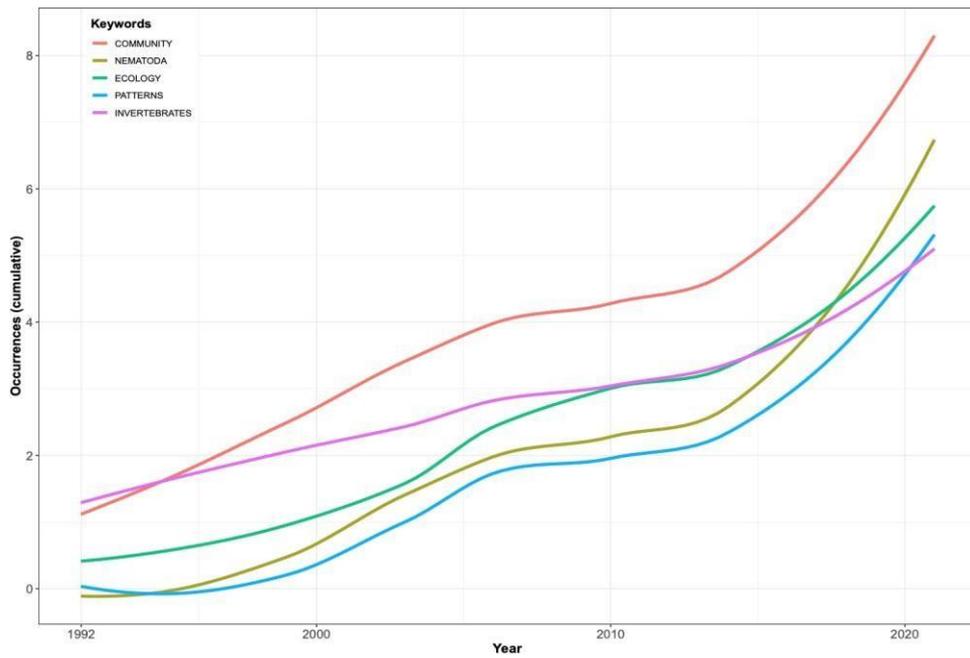
358

359

360

361

Figure



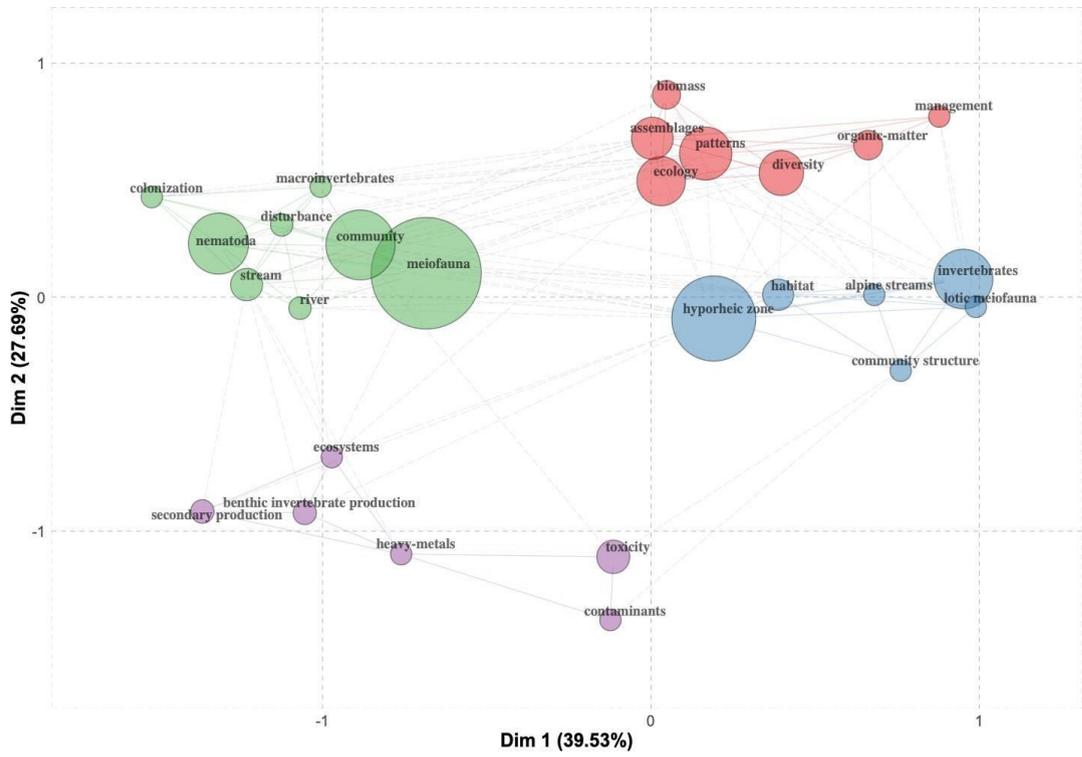
5.

362

Cumulative occurrences of the top five most used keywords over the time (meiofauna, hyporheic zone and freshwater omitted).

363

364



365
366

Figure 6. : MCA of the most used keywords and their co-occurrences network, their occurrence are discriminated by the circle size.