

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos**  
**Trópicos**

**JUCIELIA TENÓRIO JUSTINO**

**ASSEMBLEIAS DE NEMATODA COMO INDICADORAS DE QUALIDADE**  
**ECOLÓGICA EM NASCENTES**

**MACEIÓ – ALAGOAS**  
**09/2023**

**JUCIELIA TENÓRIO JUSTINO**

**ASSEMBLEIAS DE NEMATODA COMO INDICADORAS DE QUALIDADE  
ECOLÓGICA EM NASCENTES**

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

**Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Taciana Kramer de Oliveira Pinto.**

**MACEIÓ – ALAGOAS**

**09/2023**

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

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

S586z Justino, Jucielia Tenório.

Assembleias de nematoda como indicadoras de qualidade ecológica em nascentes /  
Jucielia Tenório Justino. – 2023.

80 f. : il.

Orientadora: Taciana Kramer de Oliveira Pinto.

Dissertação (mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos. Maceió, 2023.

Inclui bibliografias.

Apêndices: f. 78-80.

1. Água doce. 2. Agropecuária. 3. Impacto rural. 4. Meiofauna. 5. Diversidade funcional. 6. Tamanho corpóreo. I. Título.

CDU: 595.132

## FOLHA DE APROVAÇÃO

JUCIELIA TENÓRIO JUSTINO

### ASSEMBLEIAS DE NEMATODA COMO INDICADORAS DE QUALIDADE ECOLÓGICA EM NASCENTES

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

Dissertação aprovada em 05 de setembro de 2023

Dr.(a) Presidente – Taciana Kramer de Oliveira  
Pinto/UFAL

Documento assinado digitalmente

 TACIANA KRAMER DE OLIVEIRA PINTO  
Data: 11/09/2023 15:41:22-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. (a) – Guilherme Ramos Demétrio Ferreira

Documento assinado digitalmente

 GUILHERME RAMOS DEMETRIO FERREIRA  
Data: 11/09/2023 15:55:12-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. (a) – Giovanni Amadeu Paiva dos Santos

Documento assinado digitalmente

 GIOVANNI AMADEU PAIVA DOS SANTOS  
Data: 12/09/2023 15:10:26-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. (a) – Rodolfo Leandro do Nascimento Silva

Documento assinado digitalmente

 RODOLFO LEANDRO NASCIMENTO SILVA  
Data: 12/09/2023 14:39:39-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jucielia Tenório Justino  
(Discente)

Documento assinado digitalmente

 JUCIELIA TENORIO JUSTINO  
Data: 12/09/2023 18:33:24-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

MACEIÓ - AL  
Setembro / 2023

*Dedico este trabalho aos queridos parentes, a minha sobrinha amada, e aos queridos amigos que acreditam em mim, e as pessoas queridas que me ajudaram a chegar aqui.*

*Em memória aos familiares que se foram, que me abraçaram e me incentivaram em vida, em especial, ao meu primo amado Luquinhas que me deixou lindas lembranças, dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por seu infinito amor e nunca ter me abandonado, sempre me abençoou, cuidou de mim e colocou pessoas incríveis na minha vida.

Agradeço a minha família. A minha sobrinha Elisa, que desde sua chegada nesse mundo, tornou meus dias melhores e sempre segurou minhas mãos quando triste, me abraçou, e tornou meus dias floridos, pelo seu sorriso lindo, carinho e amor que me cativa e me incentiva.

Aos amigos que conheci no mestrado, minha migles Rah que sempre me acolheu com seu jeito meigo e amável, aos meus amigos Max, e Dênis, que sempre estiveram do meu lado, me dando apoio. Aos amigos que ganhei no Leb, Lucas, que sempre esteve lado a lado comigo, querida Lucélia, Luiz e a Ju que sempre esteve perto acreditando em mim.

A todos meus amigos da turma de mestrado. A todos os amigos, que sempre me fizeram rir, e me incentivam, Cris, Caci, Netinho, Biel, Val, Will, Lauane, Willamis, Jarina, Fernanda, João Pedro, Sibebe, Lili, Josefa, Taís, Luziene, Júlia, Dalton e ao Fred pelo amigo que foi, e aos de convivência de laboratório.

A minha querida orientadora Taci, que me acolheu no Leb, e me acompanha desde a graduação. Sempre foi mais, além de professora e orientadora, é minha amiga, sempre me apoiou, me abraçou e sempre esteve do meu lado. Por me apresentar os Nematoda, e sua grande contribuição à pesquisa e à sociedade. Por sua dedicação a mim por todos estes anos e a minha pesquisa, pelo carinho, incentivo e companheirismo, por ter corrido comigo e tanto contribuir na minha vida pessoal e acadêmica.

Aos professores de convívio do Laboratório, Kim e Gui pelo aprendizado e todos os momentos felizes e companhia de trabalho por todos estes anos.

A todos da Escola Paulo VI, por todo incentivo e admiração, em especial a Zanza, pelo acolhimento, apoio e amiga, e ao Valmir, por toda amizade, e juntos, aos risos que me propuseram.

Ao meu amigo de mestrado, Jorge, por ter contribuído grandemente na minha pesquisa, com informações e contatos, sobre as nascentes do Rio Piauí.

Ao Engenheiro Civil Pedro (GAMA), por ter me disponibilizado todas as coordenadas e o material do levantamento das nascentes.

A minha amiga Lucélia, por ter me orientado sobre as parcerias para realização dos Coliformes e me repassado os contatos necessários.

A professora Maria Liliam (UFAL), pela parceria para a realização dos Coliformes no Laboratório de Química, e ao material disponibilizado para a realização na UFAL.

Aos motoristas Daniel, e Antônio (UFAL), que nos levou a campo e todas as atividades referentes a minha pesquisa.

A todos que participaram das minhas coletas aventureiras, Antônio, Daniel, Lucélia, Lucas, Gui, Taci e Val.

Ao Engenheiro Químico Marcos (CODEVASF), pela realização das análises de Mercúrio, e disponibilização do espaço do Laboratório de Limnologia para a realização da matéria orgânica.

Ao Joelmir (HANNA) pela orientação para a realização dos nutrientes, e sanar todas as dúvidas sobre as análises.

Ao Laboratório Didático, ao Abrão, Alexandre e Emanuel (UFAL) pelo espaço para realização da matéria orgânica e clorofila, e ao material disponibilizado.

A Taci, pelo seu Laboratório de Ecologia Bentônica, por todo material disponível para a realização da minha pesquisa e convívio científico.

E aos que me ajudaram nas minhas análises, Aleck, Taci, Josefa, Taís, Cris, Biel, Eronildes e Lucas.

Aos vigias Cesar e Epon, pela segurança e companhia nas madrugadas que estive na UFAL, e a todos funcionários da UFAL, que contribuíram de forma indireta na minha pesquisa.

A UFAL e ao DIBICT por terem me proporcionado esta oportunidade, e a coordenação do DIBICT pela compreensão e soluções, e aos professores pelo aprendizado.

Ao SEMARH pela parceria com a FAPEAL, que me propuseram ingressar no mestrado e realizar minha pesquisa, e a CAPES pela concessão da bolsa.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite e suas contribuições.

A todos por tornarem este sonho e a minha pesquisa possível.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

As nascentes são importantes para o abastecimento dos sistemas hídricos, e estão sujeitas a diversos impactos humanos, como o desmatamento das matas ciliares, poluição e erosão das margens. No capítulo 1, foi testada a hipótese de que atividades agropecuárias alteram a estrutura das assembleias de Nematoda de nascentes de rios, diminuindo a diversidade taxonômica e trófica, levando a dominância de Nematoda tolerantes a perturbações. No capítulo 2, foi investigado o espectro de tamanho das assembleias de Nematoda nestas nascentes, testando a hipótese de que a razão comprimento total/Largura máxima do corpo (C/L) responde as alterações em características físico-químicas e biológicas do ambiente diferindo entre nascentes com e sem influência de atividades de agropecuária. Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água e dos sedimentos foram mensurados em 16 nascentes: pH, temperatura, salinidade, concentração de oxigênio dissolvido e de amônia, nitrato, nitrito e fósforo e número mais provável de coliformes totais e *Escherichia coli* da água, teor de matéria orgânica, concentração de mercúrio e de pigmentos e granulometria dos sedimentos. Os Nematoda foram identificados até nível taxonômico de gênero, classificados em relação as guildas tróficas e estratégia de vida e mensurados seus comprimentos totais (C) e larguras máximas do corpo (L). As nascentes sem influência de atividades agropecuárias apresentaram maiores abundância e riqueza de gêneros, maior diversidade trófica e dominância de Nematoda persistentes, enquanto as nascentes com pastagens e cana-de-açúcar apresentaram assembleias de Nematoda de baixa densidade e diversidade e dominância de Nematoda colonizadores. A razão C/L dos Nematoda apresentou diferenças entre nascentes com e sem influência de atividades humanas e às variáveis ambientais, provando ser útil na avaliação da qualidade ambiental em ambiente de água doce.

**Palavras-Chave:** água doce; agropecuária; impacto rural; meiofauna; diversidade funcional; tamanho corpóreo.

## **ABSTRACT**

Springs are important for supplying water systems, and are subject to various human impacts, such as deforestation of riparian forests, pollution and erosion of banks. In chapter 1, the hypothesis was tested that agricultural activities alter the structure of Nematoda assemblages in river springs, reducing taxonomic and trophic diversity, leading to the dominance of disturbance-tolerant Nematoda. In chapter 2, the size spectrum of Nematoda assemblages in these springs was investigated, testing the hypothesis that the ratio total length/maximum body width (L/W) responds to changes in physical-chemical and biological characteristics of the environment, differing between springs with and without the influence of agricultural activities. Physical, chemical and biological parameters of water and sediments were measured in 16 springs: pH, temperature, salinity, concentration of dissolved oxygen and ammonia, nitrate, nitrite and phosphorus and the most probable number of total coliforms and *Escherichia coli* in the water, organic matter content, concentration of mercury and pigments and granulometry of the sediments. Nematoda were identified to taxonomic genus level, classified according to trophic guilds and life strategy and their total lengths (L) and maximum body widths (W) were measured. The springs without the influence of agricultural activities showed greater abundance and richness of genera, greater trophic diversity and dominance of persistent Nematoda, while the springs with pastures and sugar cane presented Nematoda assemblages of low density and diversity and dominance of colonizing Nematoda. The Nematoda L/W ratio showed differences between springs with and without the influence of human activities and environmental variables, proving to be useful in assessing environmental quality in freshwater environments.

**Key-words:** fresh water; agriculture; rural impact; meiofauna; functional diversity; body size.

## LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1: Ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica. Fonte: Calheiros et al. 2009. .... 14
- Fig. 2: Tipos tróficos propostos por Traunspurger (1997). A e B: Comedor de Depósito (A: Daptonema; B: Plectus); C: Comedor de Epistrato (Punctodora); D: Sugador (Dorylaimus); e E: Mastigador (Prionchulus). Fonte: Moens et al. 2006. .... 21
- Fig. 3: Área de estudo evidenciando as nascentes estudadas na Bacia Hidrográfica Rio Piauí, Alagoas, Brasil. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= com pastagem e com cana-de-açúcar). Fonte: Autor. .... 35
- Fig. 4: Número médio de gêneros (A), e densidade total média (ind.10cm<sup>-2</sup>) (B) das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). (linhas indicam desvio padrão, letras diferentes indicam diferenças significativas)..... 42
- Fig. 5: Abundância relativa (%) dos gêneros de Nematoda nas Nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .... 43
- Fig. 6: Valores médios e desvios padrões da Equitabilidade de Pielou (J') e Diversidade de Shannon (H') das assembleias de Nematoda das nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .... 44
- Fig. 7: Resultado da análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) aplicada aos dados de abundância dos gêneros de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .... 44
- Fig. 8: Abundância relativa (%) dos Grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) nas nascentes do rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .... 45
- Fig. 9: Densidade média e desvio padrão dos Grupos tróficos (Traunspurger, 1997) das nascentes do rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .... 46
- Fig. 10: Índice de diversidade trófica (1-ITD) das assembleias de Nematoda nas nascentes do rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar) (linhas indicam desvio padrão)..... 46

- Fig. 11: Resultado da análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), aplicada aos dados de abundância dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) nas nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .....47
- Fig. 12: Índice de Maturidade calculados para as nascentes do Rio Piauí (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .....48
- Fig. 13: Análise de redundância baseada em distâncias (dbRDA) da abundância dos gêneros de Nematoda a partir do modelo ajustado proposto pela análise de modelos lineares baseados em distância (DistLM) para as nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar) (MO=teor de matéria orgânica nos sedimentos). .....49
- Fig. 14: Análise de redundância baseada em distâncias (dbRDA) da abundância dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) a partir do modelo ajustado proposto pela análise de modelos lineares baseados em distância (DistLM) para as nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar) (MO=teor de matéria orgânica nos sedimentos). .....50
- Fig. 15: Área de estudo evidenciando as nascentes estudadas na Bacia Hidrográfica Rio Piauí, Alagoas, Brasil. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= com pastagem e com cana-de-açúcar). Fonte: Autor. ....63
- Fig. 16: Proporção (%) de adultos e juvenis (A) e dentre os adultos, de fêmeas, fêmeas grávidas e machos (B) das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). .....67
- Fig. 17: Valores médio do Comprimento Total e Largura Máxima do Corpo s de juvenis, fêmeas, fêmeas grávidas e machos das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas. ....67
- Fig. 18: Razão Comprimento/Largura (C/L) de adultos das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).(Pontos vermelhos=médias, linhas horizontais pretas=mediana, caixas=1º e 3º quartis, bigodes=mínimos e máximos, pontos pretos=outliers)(letras diferentes indicam diferenças significativas,  $p < 0,05$ ). .....68
- Fig. 19: Distribuição de frequência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos do total das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas. ....69

Fig. 20: Distribuição de frequência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos das assembleias de Nematoda em cada uma das nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Piauí, Alagoas. ....70

Fig. 21: Análise de Redundância Baseada em Distâncias (dbRDA) à partir dos resultados do Modelo Linear Baseado em Distâncias (distLM) aplicada aos dados de frequência de ocorrência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos das assembleias de Nematoda nas nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Piauí, Alagoas. ....71

## LISTA DE TABELAS

Tab. 1: Classificação dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997).....	38
Tab. 2: Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) das variáveis ambientais da água das nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).....	41
Tab. 3: Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) dos parâmetros ambientais do sedimento e parâmetros granulométricos dos sedimentos(Valores recomendados por lei para ambientes aquáticos de água doce de conservação), (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).....	41
Tab. 4: Teste de comparação de médias da PERMANOVA (pairwise) aplicada aos dados de abundância dos gêneros de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). (*=resultados significativos, $p < 0,05$ ).....	45
Tab. 5: Teste de comparação de medias da PERMANOVA (pairwise) aplicada aos dados de abundância dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) nas nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). *=resultados significativos, $p < 0.05$ .....	47
Tab. 6: Médias ( $\pm$ desvio padrão) das variáveis ambientais analisadas das águas das nascentes do Rio Piauí, AL, (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar),.....	66
Tab. 7: Médias ( $\pm$ desvio padrão) das variáveis ambientais analisadas dos sedimentos das nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).....	66
Tab. 8: Análise de Redundância Baseada em Distâncias (dbRDA) a partir dos resultados do Modelo Linear Baseado em Distâncias (distLM) aplicada aos dados de frequência de ocorrência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos das assembleias de Nematoda nas nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Piauí, Alagoas. *=diferenças dignificativas $p < 0.05$ .....	71
Tab. 9: Classificação Taxonômica das assembleias de Nematoda das nascentes do Rio Piauí, Alagoas, Brasil.....	78
Tab. 10: Guildas tróficas das assembleias de Nematoda das nascentes do Rio Piauí, Alagoas, Brasil.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Área de Proteção Permanente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
pH	Potencial Hidrogeniônico
USEPA	United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO .....	11
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	12
2.1	Ecosistemas Aquáticos Continentais .....	12
2.2	Nascentes .....	13
2.3	Assembleias de Nematoda .....	16
3	REFERÊNCIAS.....	24
4	IMPACTOS DE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS EM NASCENTES: RESPOSTA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DAS ASSEMBLEIAS DE NEMATODA 32	
5	INTRODUÇÃO .....	32
6	MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
6.1	Área de Estudo .....	34
6.2	Delineamento Amostral, Coleta e Processamento das Amostras .....	34
6.3	Parâmetros da água .....	35
6.4	Nematoda .....	37
6.5	Análise Estatística.....	38
7	RESULTADOS.....	39
7.1	Parâmetros Ambientais .....	39
7.2	Estrutura das assembleias de Nematoda .....	42
7.2.1	Estrutura taxonômica .....	42
7.2.2	Estrutura funcional .....	45
7.3	Relações com os Parâmetros Ambientais .....	48
8	DISCUSSÃO .....	50
9	CONCLUSÃO .....	54
10	REFERÊNCIAS.....	55
11	ESPECTRO DE TAMANHO DAS ASSEMBLEIAS DE NEMATODA DE ÁGUA DOCE EM NASCENTES SUJEITAS AO IMPACTO DE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS .....	60
12	Introdução.....	60
13	Materiais e Métodos .....	62
13.1	Área de estudo e coleta de dados .....	62
13.2	Nematoda.....	64

13.3	Análise de dados.....	64
14	RESULTADOS.....	65
14.1	Parâmetros Ambientais .....	65
14.2	Assembleias de Nematoda.....	66
15	DISCUSSÃO .....	71
16	CONCLUSÃO .....	74
17	REFERÊNCIAS.....	75
17.1	APÊNDICES .....	78
17.2	Item I.....	78
17.3	Item II.....	80

## 1 APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é dividida em 3 partes, uma revisão da Literatura composta de três subtópicos: Ecossistemas Aquáticos Continentais, Nascentes e Nematoda. Além da revisão, esta dissertação possui dois capítulos que tratam da estrutura das assembleias de Nematoda em nascentes do Rio Piauí, em áreas rurais com influência de atividades de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem bovina, e em locais sem influência destas atividades.

O primeiro capítulo, intitulado *Impactos de Atividades Agropecuárias em Nascentes: Resposta Taxonômica e Funcional das Assembleias de Nematoda*, teve como foco principal descrever a estrutura das assembleias de Nematoda em nascentes de um rio em termos de diversidade e abundância de gêneros, guildas tróficas e aspectos da estratégia de vida, e avaliar o impacto de atividades agropecuárias na qualidade ambiental das nascentes, testando a hipótese de que atividades agropecuárias alteram a estrutura das assembleias de Nematoda de nascentes de rios, diminuindo a diversidade taxonômica e trófica e levando a dominância de Nematoda tolerantes a perturbações

No segundo capítulo, intitulado *Espectro de Tamanho das Assembleias de Nematoda de Água Doce em Nascentes Sujeitas ao Impacto de Atividades Agropecuárias*, tivemos como objetivo caracterizar o espectro de tamanho dos Nematoda de água doce, com foco na razão comprimento total/diâmetro máximo do corpo (C/L), testando a hipótese de que a razão Comprimento total/Largura máxima do corpo (C/L) responde as alterações em características físico-químicas e biológicas do ambiente diferindo entre nascentes com e sem influência de atividades de agropecuária.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Ecossistemas Aquáticos Continentais

A superfície da terra é recoberta por  $\frac{3}{4}$  de água. Deste total, 97,5% são de água salgada, que apesar de sua importância, tem uso restrito para o homem e para animais terrestres. Somente 2,5% da água disponível é doce, distribuída entre os diferentes ecossistemas de água doce: 68,9% nas regiões polares, 29,9% nos aquíferos, 0,9% em açudes e reservatórios, e apenas 0,3% em rios e lagos (Barreto et al. 2007; Hirato, 2009).

Segundo a ANA (2009), o Brasil retém 12% de água doce mundial, e nas Américas é o país de maior retenção com 34,9%. A água no mundo não é distribuída de forma igual, assim como no Brasil, com a sua maior concentração de água na região Norte (68%), e baixa concentração nas regiões do Centro – Oeste (16%), Sul (7%), Sudeste (6%), e Nordeste (3%). O mesmo acontece para os recursos hídricos subterrâneos, que ocupam 48% do solo brasileiro, mas também são distribuídos de forma desigual, como o aquífero do Nordeste, que possui a menor disponibilidade de água, enquanto o aquífero Guarani no Sul do Brasil, recebe grandes quantidades de água (Tundisi e Scheuenstuhl, 2014).

As principais atividades de uso de água do Brasil são, a irrigação (49,8%), o abastecimento humano (24,3%) e a indústria (9,7%), seguido pelo uso animal (8,4%), das termelétricas (4,5%), do abastecimento rural (1,6%) e a mineração (1,7%) (ANA, 2020). Com o aumento da população e das atividades econômicas, o consumo e o uso hídrico têm acelerado, intensificando a escassez da água, principalmente na região Nordeste, que apresenta baixa disponibilidade hídrica de água para o consumo (ANA, 2020)

A água é essencial para a manutenção da vida, participando dos processos fisiológicos dos animais, além do seu uso em importantes atividades, como agricultura, criação de animais, geração de energia, indústrias têxteis, e principalmente, para o abastecimento humano (Marcena et al. 2017). Justamente por essa importância, os ecossistemas aquáticos de água doce são explorados e podem ser considerados os mais impactados da Terra (Nogueira et al. 2010). Os impactos do lançamento de esgotos, desmatamento, queimadas e práticas agrícolas, degradam as bacias hidrográficas, e geram alterações negativas nas características ambientais (Rodrigues et al. 2009, BRASIL, 1981), como poluição das águas e dos sedimentos,

desaparecimento da mata ciliar, erosão das margens, e mortandade dos organismos aquáticos. O mau uso da terra e da água, causa danos ambientais, refletindo no equilíbrio do ecossistema e na qualidade de vida humana.

Os ecossistemas de água doce são relevantes em termos ecológicos e socioeconômicos, oferecendo ao homem diversos serviços ecossistêmicos hidrológicos, distribuídos em quatro categorias: serviços de regulação – dos danos naturais, do clima, de doenças, e da purificação da água; provisão – no abastecimento para a agricultura, agropecuária, comércio, população, e para as indústrias de produção e de consumo alimentício; culturais – para educação, ecoturismo e recreação, meditação, estético e inspiração, cultural e senso de localização; e de suporte – na produção primária, formação do solo, ciclagem de nutrientes e produção do oxigênio (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003). Todos estes serviços compõem a segurança hídrica (Smith et al. 2008). Além disso, estes ambientes sustentam uma gama faunística e florística, que vivem parte ou todo o seu ciclo de vida na água.

Os ecossistemas estão intimamente ligados à biota, e juntos desempenham a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia, de modo que, quaisquer alterações nesses ambientes, ameaçam sua qualidade, quantidade e resiliência (Rodrigues et al. 2006; Rapport et al. 2009). Estes impactos podem levar a perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos (Mello et al. 2020).

## **2.2 Nascentes**

As bacias hidrográficas compreendem uma região da superfície terrestre de alto relevo que retém a água de precipitação da chuva, e de outros rios por divisores de água, que escoem por gravidade para as regiões de baixo relevo por canais, córregos, e ravinas até o rio principal (Barrella, 2001; Finkler et al. 2014). As águas se infiltram no solo ou no aquífero, e dão origem as nascentes, que também formam corpos de águas, como córregos e riachos. Os sistemas de águas, se unem através do escoamento superficial e das nascentes, e formam as bacias hidrográficas (Piroli, 2022) (Fig. 1).

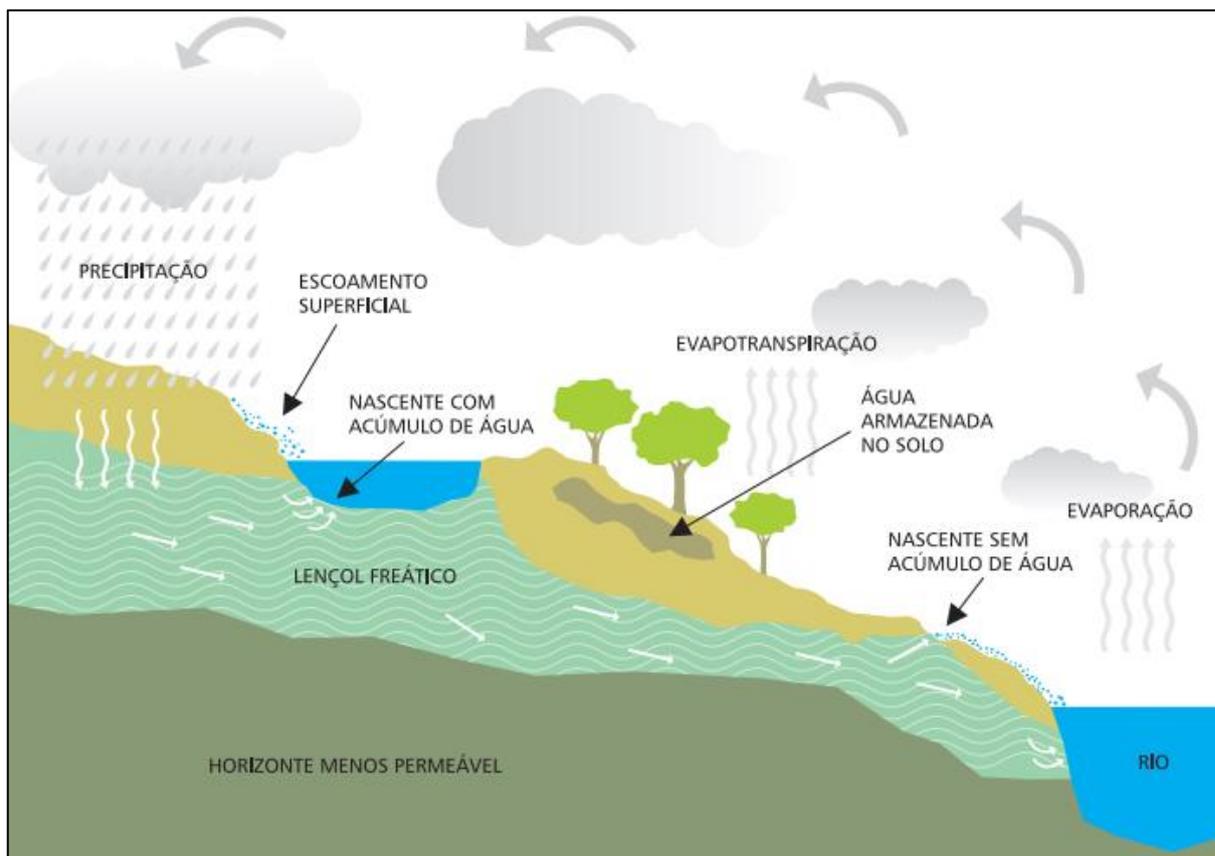


Fig. 1: Ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica. Fonte: Calheiros et al. 2009.

Segundo o Código Florestal (2012), a nascente é o afloramento natural do lençol subterrâneo dando início ao curso d'água, tida como uma Área de Preservação Permanente – APP, sendo proibida a retirada da mata ciliar em um raio de 50 metros. As matas ciliares são sistemas florestais de árvores ou arbusto de médio porte, que crescem junto às margens de rios, riachos, nascentes, lagos e represas, presentes ao longo de seus percursos (Castro, Castro e De Souza, 2013). Desempenham importantes funções na preservação dos sistemas hídricos, como na manutenção da biodiversidade, e abrigo para animais, principalmente da avifauna; serve como fonte auxiliar na alimentação da fauna aquática, e suporte no escoamento das águas, evitando a concentração de água na margem, criando uma barreira natural contra o assoreamento e de qualquer eventual meio de contaminação e poluição contra a qualidade hídrica e da fauna presente (Nicácio, 2001). Constituem, a principal forma de proteção do sistema hídrico, sendo áreas de transição entre o meio aquático e terrestre, formando corredores ecológicos, que controlam a passagem de energia e nutrientes entre os ecossistemas (Collins et al. 2010).

As nascentes são essenciais para o abastecimento e equilíbrio ambiental das bacias hidrográficas. Segundo Calheiros e colaboradores (2009), a água deve ser abundante, de boa qualidade e perene, em área de cota topográfica elevada e estar localizada perto da área de uso, favorecendo sua distribuição por gravidade, sem uso de energia. Conforme o Código Florestal (2012), as nascentes em áreas rurais, podem possuir em seu entorno atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, porém, estas atividades devem ser desenvolvidas com sustentabilidade, requerendo a recomposição de mata ciliar no raio mínimo de 15 metros. Entretanto, os principais impactos humanos em nascentes estão relacionados ao acesso de animais e atividades agrícolas (Venzel et al. 2016).

O pastoreio animal causa a remoção de matas ciliares, gerando a erosão das margens e soterramento, e conseqüentemente o desaparecimento das nascentes, além da contaminação bacteriológica de coliformes e compostos nitrogenados pelos dejetos animais (Souza et al. 2016). O uso de pesticidas, fertilizantes e condicionadores de solo provenientes da agricultura, degradam as águas superficiais e subterrâneas (Dias et al. 1999). Assim, torna-se evidente a necessidade do controle, manejo e monitoramento da quantidade e qualidade dos recursos hídricos destinados a agricultura e em áreas de pasto de gado.

Recentemente, estudos vêm sendo realizados a respeito da degradação antrópica em nascentes utilizando diferentes enfoques, tais como através da avaliação macroscópica (Gomes, Melo e Vale, 2006; Felipe e Junior, 2012; Leal et al. 2017; Silva et al. 2018; Pieroni et al. 2019; Gomes e Cortez, 2020; França et al. 2020). No Brasil, a maior parte dos estudos de impactos em nascentes, especificamente em áreas rurais, mostraram-se ser de caráter qualitativo e descritivo (Aquotti, Yamagushi e Gonçalves, 2019; Palivoda e Povaluk, 2015; Barros e Barros, 2016; Brunini, Silva e Pissara, 2017; Ramos e Santos, 2018). Exemplos destes estudos são os trabalhos de Silva (2015), que descreveu todas as nascentes no entorno de áreas de cana-de-açúcar do rio Prata/PB, totalmente degradadas. Pollo e colaboradores (2019), constataram o desaparecimento de nascentes do córrego Lajeado em São Manuel-SP, ao longo de 7 anos após a introdução do cultivo de cana-de-açúcar. Silvae colaboradores (2018) investigaram o status de conservação das nascentes do rio Piauí, em Alagoas, com 72,4% das nascentes inseridas em áreas de entorno com atividade de agricultura, como cana-de-açúcar, cultura de feijão, milho, mandioca,

pastagem, piscicultura e suinocultura, e classificaram estas nascentes com status de conservação ruim e péssimo.

Estes estudos qualitativos realizados até o tempo atual em áreas rurais, têm se mostrado insuficientes para revelar a carga poluente e a condição ecológica das nascentes. Nesse sentido, o estudo de bioindicadores fornece um diagnóstico mais preciso dos impactos (Campbell, 2004; Revenga et al. 2005). As comunidades bentônicas são vistas como um excelente objeto de estudo na avaliação de impactos antrópicos, porque respondem rapidamente às perturbações presentes no ambiente e, pelo hábito bentônico e relativamente sedentário, refletem condições locais (Ferreira et al. 2015).

### **2.3 Assembleias de Nematoda**

A meiofauna é composta por invertebrados bentônicos que vivem entre os grãos de areia de ambientes aquáticos, os quais não possuem tamanho padrão definido. A definição clássica deste grupo é dada como sendo organismos que passam por uma peneira com abertura de malha de 0,5 mm e, ficam retidos na peneira com malha de abertura de 0,044 mm (Holme e McIntyre, 1984).

Os animais da meiofauna, possuem uma alta diversidade e ampla distribuição, habitando em todos os ecossistemas aquáticos. O filo Nematoda de vida livre, se destaca neste grupo, possui alta representatividade, e são os mais abundantes em amostras da meiofauna, com até 95% dos indivíduos e 50 a 90% em biomassa (Giere, 2009).

Os Nematoda são animais vermiformes, arredondados e filiformes, de tamanho variando de micrômetros a metros de comprimento, são onipresentes e podem ocorrer em densidades de até três milhões por m<sup>2</sup>, seu corpo é revestido por uma cutícula que os permite viver conforme seu habitat e estilo de vida, em ambientes, como solos terrestres e úmidos, sedimentos arenosos, argilosos, rochosos e tratos digestivos de animais hospedeiros, e se locomovem por contrações ao longo do corpo, em movimento ondulatório, sua cauda possui glândulas unicelulares, que secretam um adesivo para se fixar ao substrato (Traunspurger, 2000; Brusca, Moore e Shuster, 2018). Estão classificados em dois grupos ecológicos: Nematoda parasitas, comumente terrestres, alcançam mais de 5 metros de comprimento, geram impactos na agricultura, e à saúde humana; e os Nematoda de vida livre, com até 1 cm de comprimento, comumente aquáticos e semiaquáticos, não são prejudiciais à saúde

humana e ambiental, e são importantes na detecção de perturbações ambientais (Brusca, Moore e Shuster, 2018).

Os animais de vida livre, possuem ampla distribuição geográfica, estando em todas as zonas climáticas, desde águas rasas às altas profundidades, ocorrendo em todos os tipos de substratos e sedimentos (Giere, 2009). Possuem ciclo de vida relativamente curto, que varia de 1 a 3 meses, pequeno tamanho e baixa mobilidade, que permite amostras pequenas com alta riqueza e representatividade (Giere, 2009). Exercem diferentes funções ecológicas, como biomineralização da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, e fluxo de energia da teia alimentar infaunal (Coull, 1988). Participam da teia alimentar, atuando na transferência de energia trófica, como predadores e servindo de alimento para níveis superiores, são onívoros, e decompositores da matéria orgânica (Schratzberger e Ingels, 2018). Respondem aos diferentes fatores ambientais, como o tamanho dos grãos dos sedimentos, a disponibilidade de alimentos, quantidade de oxigênio dissolvido, ao dióxido de carbono, a temperatura, ao pH, e aos poluentes provenientes dos efluentes domésticos, industriais, aquícolas e agrícolas, como ao enriquecimento inorgânico, aos metais pesados, e aos hidrocarbonetos (Giere, 2009; Stark et al. 2020; Pinto et al. 2021; Ridall e Ingels, 2023). São altamente sensíveis às atividades antrópicas, atuando como bioindicadores ambientais (Coull, 1999).

Há estimativas da existência de um número de espécies de Nematoda entre 100.000 e 100 milhões de espécies, entretanto somente são conhecidas para a ciência cerca de 25 mil, dentre as quais, grande parte é de vida livre, e destas cerca de 90%, ocorrem em ambiente marinho (Abebe, Decraemer e De Ley 2008; Brusca, Moore e Shuster, 2018). Em água doce, as espécies descritas chegam a cerca de 2 mil, e habitam rios, lagos, lagoas, cavernas, águas subterrâneas e nascentes, possuindo um comprimento em média de 0,25 a 8 mm, a maioria possui corpo mais transparente com visibilidade escura do intestino, possuem sexos separados, e a grande maioria são fêmeas e são maiores que os machos (Zullini, 2021). A cutícula é menos densa que as dos parasitas, e a sua locomoção depende do tipo de substrato do ambiente, onde o corpo pode ser empurrado, quando na coluna de água, nadam, e nos sedimentos rastejam com o auxílio das glândulas cuticulares, espinhos do corpo e sulcos e da cauda, que pode variar entre filiforme, cilíndrica ou alongada, redonda e cônica (Traunspurger, 200; Brusca, Moore e Shuster, 2018). O ciclo de vida e o tempo de geração dos Nematoda pode variar entre espécies e habitats, em água doce ocorre

de uma a quatro gerações ao ano, sendo mais longas que para o ambiente marinho, onde pode ocorrer entre oito e 10 gerações ao ano e são influenciados pelas variações ambientais, como o pH, temperatura, oxigênio e a profundidade, e o tipo de sedimento. Esses parâmetros também influenciam a densidade e a riqueza dos Nematoda nos diferentes habitats, além de aspectos metodológicos como o método de coleta (Corer, Bou Rouch, Quadrat) e a abertura do tamanho de malha (24 – 144  $\mu\text{m}$ ), (Pinto et al. 2021; Traunspurger, 2021).

Alguns táxons de Nematoda, predominantemente de água doce, apresentam espécies encontradas em ambientes marinhos, isso porque certos Nematoda possuem uma faixa ampla de tolerância na variação da salinidade. O oposto também ocorre e alguns gêneros marinhos podem apresentar uma ou várias espécies de água doce (Hodda, Ocaña e Traunspurger, 2006). Também podem ocorrer Nematoda de solo em ambientes de água doce. A grande maioria das ocorrências são de espécies parasitas de plantas aquáticas, no entanto, sua ocorrência pode ser breve ou temporária, necessitando ser frequente para ser considerado habitante daquele habitat (Hodda, Ocaña e Traunspurger, 2006). A exemplo disso, os gêneros *Hirschmanniella*, *Xiphinema* e da família Mermithidae apresentam corpo fino e alongado, permitindo o movimento entre os substratos úmidos e hastes de plantas úmidas, já os gêneros, *Ditylenchus* e *Tylenchus*, são menores, e apesar de grande parte das espécies serem dominantes em plantas terrestres, possuem espécies aquáticas (Hodda, Ocaña e Traunspurger, 2006). Ainda segundo os autores, o registro de Nematoda de diferentes sistemas ocorrentes em água doce é influenciado pelo tipo de amostragem e pelo período de coleta, o que pode influenciar o conhecimento da biodiversidade.

Apesar da água doce apresentar menores riqueza e abundância de espécies de Nematoda quando comparada a ambientes marinhos, pouco se sabe sobre o papel ecológico das assembleias de Nematoda, em especial em ambientes dulcícolas. (Traunspurger, Threis e Majdi, 2015). Estudos sugerem maior abundância em sedimentos com alta concentração de matéria orgânica, sendo que em sedimentos bem oxigenados de águas limpas de rios íntegros, pode ocorrer uma redução de abundância (Zullini, 2021). Apesar disso, a taxonomia, a distribuição regional e a local, e o desempenho ecológico e funcional dos Nematoda nos sedimentos de água doce, ainda são incompreendidos. Sabe-se que podem ser diversos em alguns habitats pequenos de água doce, e sua alta diversidade está associada ao alto nível de

especialização do nicho trófico, profundidade e sazonalidade (Traunspurger e Majdi, 2021).

Importantes métricas dos aspectos ecológicos dos Nematoda são indicadores e conseguem refletir as perturbações ambientais, e monitorar a qualidade ecológica dos ecossistemas. Uma dessas métricas é o Índice de Maturidade (MI), que consiste em um índice baseado em características da estratégia de vida dos Nematoda, que são classificados em uma escala de colonizadores-persistentes (c-p) de 1 a 5, indo de colonizadores (1-3), aqueles com ciclo de vida curto e altas taxas de reprodução, considerados bons colonizadores e tolerantes a perturbações, e a persistentes, aqueles com ciclo de vida mais longo e baixas taxas reprodutivas, sensíveis as perturbações (4-5) (Bongers, 1990).

O cálculo do MI consiste na média ponderada da frequência de cada gênero em cada c-p, conforme a fórmula:

$$MI \sum = \frac{vi \times fi}{n}$$

Onde, vi= valor c-p do gênero; fi= frequência do gênero i na amostra; n= total de indivíduos na amostra (Bongers, 1990).

O enriquecimento orgânico e a poluição ambiental com o passar do tempo podem causar impactos relevantes na sucessão das comunidades, resultando em alterações na composição de gêneros e na diversidade trófica (Pearson e Rosenberg, 1978). Assim, quando existe poluição e outros distúrbios em um determinado local, pode haver o desaparecimento das espécies sensíveis, as quais serão substituídas pelas espécies oportunistas e tolerantes, levando ao aumento das abundâncias e dominância das mesmas (Bongers, Alkemade e Yeates, 1991). Esse índice foi empregado inicialmente para monitorar as comunidades de Nematoda terrestres e com o sucesso, foi expandido para ambientes marinhos e salobros, e posteriormente foram aplicados em água doce (Neher e Darby, 2006). Estudos com o c-p indicam diferentes respostas das assembleias de Nematoda aos diferentes estressores ambientais presentes em um ecossistema. Zullini et al (2011) observaram que em baixa temperatura houve baixa abundância de gêneros classificados como c-p 2, enquanto, o aumento da temperatura aumentou a abundância de outros de c-p 3 e 4. Semprucci et al (2015) identificaram maiores abundâncias de Nematoda de c-p 1 e 2 em um rio com diversos vetores de poluição, como águas residuais urbanas, industriais e de fazenda de gado. Dražina et al (2014) encontraram dominância de

gêneros da classe Adenophorea com valores altos do *c-p*, confirmando boa qualidade da água e condição oligotrófica ao longo do gradiente vertical de um lago, com diminuição do *c-p* com o aumento da profundidade. A diminuição do *c-p* com o aumento da profundidade também foi observada por Abebe et al (2001), a disponibilidade de alimento e conseqüentemente de oxigênio ao longo da profundidade, influência a diversidade vertical dos Nematoda.

Os Nematoda também estão agrupados em guildas tróficas conforme o seu hábito alimentar, e sabe-se que a ocorrência destas guildas é afetada por diversos fatores ambientais (Moens et al. 2006). A caracterização da tipologia bucal dos Nematoda permite saber e classificar o tipo de alimentação e seu papel na teia trófica dos ecossistemas aquáticos (Traunspurger, 1997).

A primeira classificação dos Nematoda em guildas tróficas foi proposta, para Nematoda marinhos, classificados em 1A: comedores de depósitos seletivos; 1B: comedores de depósitos não seletivos; 2A: comedores de epístratos ou raspadores e 2B: onívoros/predadores (Wieser, 1953). Posteriormente, Yeates e colaboradores (1993), acrescentaram mais dois grupos: estágios alimentares de vida livre de Nematoda parasitas e onívoros. Como a onivoria compreende mais de um nível trófico, comportando diversos hábitos alimentares, não foi bem utilizado pelos pesquisadores.

Para os Nematoda de água doce, a classificação trófica foi adaptada por Traunspurger (1997), a partir das classificações supracitadas, baseada na morfologia da boca presente nos Nematoda de água doce, que difere dos marinhos, especialmente em relação a presença de estilete. Este autor propôs quatro guildas ou grupos tróficos (Fig. 2):

I. Comedor de Depósito: raramente possui dente, se alimenta de bactérias e eucariotos unicelulares que são engolidos inteiros.

II. Comedor de Epístrato: possui dente pequeno, usado para se alimentar de bactérias, eucariotos unicelulares, diatomáceas e outros tipos de microalgas.

III. Mastigador: possui cavidade bucal volumosa e esclerotizada com um ou mais dentes e dentículos. Se alimentam de eucariotos unicelulares, outros Nematoda, enquitreídeos e tardígrados.

IV. Sugador: possui estilete e é onívoro, se alimentando de algas, plantas, fungos e animais. Muitas espécies se alimentam exclusivamente de células epidérmicas de plantas e raízes aquáticas.

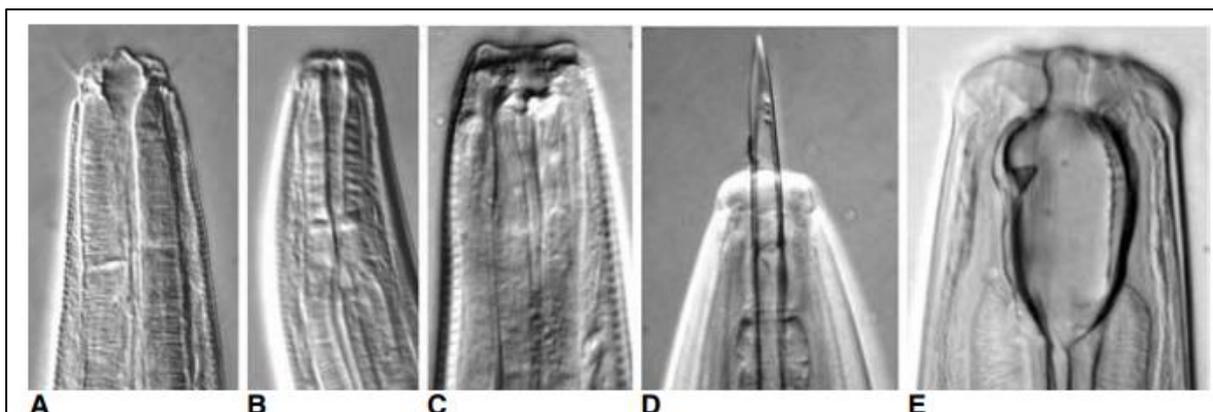


Fig. 2: Tipos tróficos propostos por Traunspurger (1997). A e B: Comedor de Depósito (A: Daptonema; B: Plectus); C: Comedor de Epistrato (Punctodora); D: Sugador (Dorylaimus); e E: Mastigador (Prionchulus). Fonte: Moens et al. 2006.

Estudos como os de Wiederholm (1980), Brodersen e colaboradores (1998), e Aspin e colaboradores (2020), observaram maior diversidade taxonômica em lagoas e lagos poluídos, enriquecidos com nutrientes. No entanto, baixa diversidade trófica, onde poucas respostas funcionais de sua alimentação foram registradas, a maioria se concentrou em espécies comedoras de bactérias de ambientes terrestres e de água doce (Moens et al. 2006). A diversidade trófica e taxonômica está relacionada, ou seja, ambientes com maior diversidade taxonômica possuem maior complexidade trófica, já que quanto mais gêneros existem, mais nichos tróficos são preenchidos. No entanto, fatores ecológicos como produtividade e interação entre espécies também podem influenciar essa relação (Cianciaruso et al. 2009).

Índices como o de maturidade e de diversidade trófica fornecem informações importantes na ecologia funcional dos Nematoda e na diferenciação de habitats sujeitos a diferentes condições ambientais (Neher, 2001). Outro enfoque na utilização de indicadores biológicos, é a utilização de aspectos morfológicos e morfométricos dos organismos. É reconhecidamente um enfoque muito útil na avaliação de impactos humanos e no monitoramento das condições ambientais nos ecossistemas aquáticos (Losi et al. 2013). A maioria dos estudos de morfometria dos Nematoda foi realizada em ambientes marinhos e estuarinos (Vanaverbeke et al. 2003; Tita et al. 1999; Soetaert et al. 2009; Armenteros e Ruiz-Abierno, 2015) e estão concentrados em regiões temperadas (Eyuaalem Abebe et al. 2008) e os padrões conhecidos, não se aplicam aos sistemas de água doce. Devido a esta lacuna no conhecimento, os

poucos trabalhos realizados em água doce, tal como o de Quang et al (2017) em um rio do Vietnã, se baseiam em padrões propostos para ambientes marinhos. Estes autores utilizam os morfotipos dominantes descritos por Schratzberger e colaboradores (2002), que definiram como robustos, aqueles com razão comprimento total/diâmetro máximo do corpo  $<15$  e delgados, aqueles com valor  $>15$  para esta razão. Estes morfotipos foram inicialmente propostos para uma região estuarina, o que pode não ser adequado para assembleias de água doce. Os corpos d'água continentais são naturalmente isolados e apresentam uma grande especificidade de características locais o que dificulta generalizações e inferências (Eyualem-Abebe, 2001).

A diversidade dos Nematoda, é reflexo da dinâmica e do funcionamento dos ecossistemas, junto aos diferentes níveis de poluição, que formam eixos ambientais que determinam os habitats das assembleias de Nematoda (Moens et al. 2013). Isso influencia alterações diretamente na estrutura das assembleias, e auxilia no diagnóstico preciso do comportamento e integridade biológica nos ambientes aquáticos, bem como, na identificação de táxons sensíveis e tolerantes a tais alterações (Danovaro et al. 2008; Badawy et al. 2013).

Existem poucos estudos de ecossistema de água doce utilizando a meiofauna, e em especial os Nematoda, como indicadora de qualidade ecológica. Alguns estudos foram realizados em diferentes locais do mundo como Espanha, Alemanha, Áustria, Itália, África, Estados Unidos, Índia e Taiwan, abordando a diversidade taxonômica e relações das assembleias com parâmetros ambientais (para revisão ver Hoss e Traunspurger, 2021). A maioria dos estudos realizados avaliando a resposta dos Nematoda a poluição, vêm sendo realizados em laboratório através de experimentos com microcosmos, como por exemplo, na avaliação da reação da ivermectina farmacêutica nas comunidades de Nematoda (Brinke et al. 2010), como também, o efeito da toxicidade aguda na exposição de Iodeto de Prata (Fajardo et al. 2016), os efeitos de metais e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) (Haegerbaeumer et al. 2017), efeitos dos compostos de frações hidrossolúveis de óleo de petróleo bruto (Monteiro et al. 2019), com exceção do trabalho de Hoss et al. (2010), que classificou as espécies de Nematoda conforme a sensibilidade e tolerância a estressores antrópicos, para avaliar o estado ecológico de sedimentos não consolidados, com dados coletados continuamente por 9 anos, na Alemanha.

No geral, a maior parte dos estudos que utilizam a fauna bentônica como indicador de qualidade das nascentes, utilizou os macroinvertebrados (Silveira, 2004; Monteiro, Oliveira, Godoy, 2008; Copatti, Schirmer, e Machado, 2010; Zardo et al. 2013; Flor e Souto, 2016; Pego, Santos e Santos, 2018; Santos e Melo, 2017). Para o Brasil, essa lacuna no conhecimento dos Nematoda de água doce é verdadeira, onde trabalhos da composição dessas assembleias são extremamente escassos, até o momento presente. Pinto et al. (2021), listaram os gêneros de Nematoda, a partir de estudos realizados em 6 estados do Brasil (Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Rio de Janeiro e Santa Catarina) a partir de estudos inéditos e dados da literatura, e registraram 11 ordens, 53 famílias e 132 gêneros, com as maiores diversidade de Nematoda encontradas em Santa Catarina e Alagoas.

Esta escassez de trabalhos é especialmente notada para nascentes, especialmente para o Brasil, onde um único trabalho foi desenvolvido até o presente momento em nascentes do sertão da Paraíba, com ênfase em aspectos taxonômicos da assembleia de Nematoda (Barros et al. 2021). A utilização das assembleias de Nematoda como indicadores de qualidade em nascentes brasileiras ainda é desconhecida para a ciência. O seu estudo em áreas rurais, permite avaliar o impacto de atividades da agropecuária e o estado ecológico e de conservação das nascentes através de mudanças nas assembleias de Nematoda, bem como, a diversidade, ecologia e taxonomia dos Nematoda desses ambientes, e fornecem informações que auxiliem a estabelecer políticas públicas para a recuperação, preservação e planos de gestão das nascentes. Vale ressaltar, que este estudo está vinculado à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH/AL, atendendo às demandas do Plano de Desenvolvimento do Estado de Alagoas (PDE).

### 3 REFERÊNCIAS

- ABEBE, E.; DECRAEMER, W.; DE LEY, P. **Global diversity of nematodes (Nematoda) in freshwater**. Freshwater Animal Diversity Assessment, 67–78, 2007. doi:10.1007/978-1-4020-8259-7\_8. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8259-7\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8259-7_8). Acesso em: 20 jun. 2023.
- \_\_\_\_\_. MEES, J.; COOMANS, A. **Nematode communities of Lake Tana and other inland water bodies of Ethiopia**. Hydrobiologia. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 462: 41–73. 2001.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: **informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Brasília: ANA, 2020.
- \_\_\_\_\_. Fatos e Tendências: **Água**. 2. ed. Brasília: ANA, CEBDS, 29 p. 2009.
- AQUOTTI, N. C. F.; YAMAGUSHI, N. A.; GONÇALVES, J. E. Preservação e Conservação de Nascentes em Propriedades Rurais: **Impactos, Ações e Contradições**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 16 (29):1309, 2019.
- ARMENTEROS, M.; RUIZ-ABIERNOS, A. **Body size distribution of free-living marine nematodes from a Caribbean coral reef** Nematology, 17:1153-1164, 2015.
- BADAWY, R. M.; EL-HOSEN, I.; TALAL, M. Biodiversity and seasonal fluctuation of aquatic and semiaquatic insects in Rashid stream, kafr El-Zayat (Gharbyia governorate) Egypt. Acad. J. Biolog. Sci., 6(1): 47-66. 2013.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BARRETO. S. et al. Nascentes do Brasil: **Estratégias para a proteção de cabeceiras em Bacias Hidrográficas**. WWF-Brasil. Imprensa Oficial. São Paulo, 2007.
- BARROS, F. L. De O. et al. **Marine free-living nematodes in semiarid inland waters**. Acta Limnologica Brasiliensia, 33: e 15. 2021. ISSN 2179-975X. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X6520>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/alb/a/cBD3gRGLg9sPnnk4nWh3wyL/?lang=en>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- BARROS, Z. X.; BARROS, B. S. X. **A cultura da cana-de-açúcar como fator de risco para córregos e nascentes**. Irriga, Botucatu, 21(1):202-210, 2016.
- BONGERS, T. The maturity index: **an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition**. Oecologia 83, 14–19. 1990.

\_\_\_\_\_. ALKEMADE, R.; YEATES, G. W. **Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index.** Marine Ecology Progress Series 76, 135–142. 1991.

BRASIL. CÓDIGO FLORESTAL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 26 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAsncias](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAsncias). Acesso em: 13 abr. 2022.

BRINKE, M. et al. **Assessing effects of the pharmaceutical ivermectin on meiobenthic communities using freshwater microcosms.** Aquatic toxicology, 99:126-137. 2010.

BRUNINI, R. G.; SILVA, M. C.; PISSARRA, T. C. T. **Efeito do Sistema de Produção de Cana-de-Açúcar na Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas.** Revista Agrarian, 10(36):170-180, 2017. ISSN: 1984-2538.

BRUSCA, R. C.; MOORE, W.; SHUSTER, S. M. **Invertebrados.** 3. ed. - Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018. ISBN: 978-85-277-3344-1.

CALHEIROS, R. O. et al. Cadernos da Mata Ciliar n. 1: **preservação e recuperação das nascentes, de água e vida.** São Paulo: SMA, 2009.

CALLISTO, M. et al. **Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ).** Acta Limnologica Brasiliensia, 14 (1): 91-98. 2002.

CAMPBELL, I.C. **Biological monitoring and assessment using invertebrates.** F.R. Burden, D. Donnert, J. Godish, I. McKelvie (Eds.), Environmental Monitoring Handbook: Chapter 5, The McGraw-Hill Companies, 2004.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M; DE SOUZA, P. C. **A Importância da Mata Ciliar no Contexto da Conservação do Solo.** REVISTA ELETRÔNICA DE EDUCAÇÃO DA FACULDADE ARAGUAIA, 4:230-241. 2013.

CIANCIARUSO, M. V. et al. **Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades.** Biota Neotrop. 9 (3), 2009. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/XY7DCLvLHgFnrsV8cjP8yDH/>. Acesso em: 20 out. 2023.

COLLINS, A. L. et al. **A preliminary investigation of the efficacy of riparian fencing schemes for reducing contributions from eroding channel banks to the siltation of salmonid spawning gravels across the southwest UK.** J. Environ. Manag., 91:1341-1349, 2010.

COPATTI, C. E.; SCHIRMER, F. G.; MACHADO, J. V. V. **Diversidade de Macroinvertebrados Bentônicos na Avaliação da Qualidade Ambiental de uma Microbacia no Sul do Brasil.** PERSPECTIVA, Erechim. 34(125):79-91, 2010.

COULL, B. C. Ecology of the Marine Meiofauna. In: HIGGINS, R. P.; THIEL, H. eds. **Introduction to the study of meiofauna.** Washington, Smithsonian Institution Press, p. 18-38. 1988.

\_\_\_\_\_. **Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats.** Australian Journal of Ecology 24:327–343, 1999.

CRUZ, M. C. S. **Avaliação do impacto de um cultivo de ostras sobre o ambiente bentônico.** Bol. Inst. Pesca, São Paulo, 41(2): 207 – 218, 2015.

DANOVARO, R. et al. **Deep-sea nematode biodiversity in the Mediterranean basin: testing for longitudinal, bathymetric and energetic gradients.** Ecography, 31: 231-244. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5484.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.0906-7590.2008.5484.x>. Acesso em: 10 jul. 2023.

DIAS, M. et al. Manual de Impactos Ambientais: **orientações básicas sobre ambientais de atividades produtivas.** Fortaleza: Banco do Nordeste, p. 297. 1999.

DRAŽINA, T. et al. Nematode feeding types in a tufa-depositing environment (Plitvice Lakes, Croatia). Natura Croatica. 23:89-99, 2014.

FAJARDO, C. et al. **Potential risk of acute toxicity induced by Agl cloud seeding on soil and freshwater biota.** Ecotoxicology and Environmental Safety, 133: 433-441. 2016.

FELIPPE, M. F.; JUNIOR, A. P. M. **Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG.** Geografias, Artigos Científicos. 08(2): 08-23, 2012.

FERREIRA, R. C. et al. Responses of estuarine nematodes to an increase in nutriente supply: **An in situ continuous addition experimete.** Marine Pollution Bulletin, 90: 115–120. 2015.

FINKLER, R. et al. Planejamento, manejo e gestão de bacias: **A bacia hidrográfica.** 2014.

FLOR, T. R.; SOUTO, H. N. **Biomonitoramento do Lago Poço Verde situado na Região de Coromandel (MG), Utilizando Macroinvertebrados Bentônicos como Indicadores de Qualidade da Água.** Getec, 5(10):12-30. 2016.

FRANÇA, B. G. et al. Avaliação de Nascentes do município De Santa Bárbara de Goiás utilizando o Método IIAN: **Índice de Impacto Ambiental de Nascentes**. Vita et Sanitas. 2020. ISSN 1982-595.

GIERE, O. Meiobenthology: **The microscopic motile fauna of aquatic sediments**. 2ª ed. Springer-Verlag, Berlim. 2009.

GOMES, E. R.; CORTEZ, A. T. C. **Diagnóstico ambiental das nascentes do rio Caldeirão, Pedro II, Piauí**. Revista da Academia de Ciências do Piauí, 01: 31-49, 2020.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia, MG: **análise macroscópica**. Revista Sociedade & Natureza, 17(32), 2006.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. 428-444, 2009. In: TEIXEIRA, W. et al. Decifrando a Terra. 2. ed - São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. ISBN 978-85-04-01439-6.

HODDA, M.; OCAÑA, A.; TRAUNSPURGER, W. Nematodes from Extreme Freshwater Habitats. Pag: 179-210, 2006. In: Eyualem, A.; Andrassy, I.; Traunspurger, W. **FRESHWATER NEMATODES - Ecology and Taxonomy**. CABI Publishing. ISBN0 85199 009 6. 2006.

HOLME, N. A.; MCINTYRE, A. D. **Methods for the study of marine benthos**. Blackwell Scientific Publications, Victoria. 387p. 1984.

HOSS, M.; TRAUNSPURGER, W. Nematodes from extreme an unusual freshwater habitat. In: Traunspurger, W. et al. **Ecology of Freshwater Nematodes**. CABI Editora. 2021.

HOSS, S. et al. Nematode species at risk — **A metric to assess pollution in soft sediments of freshwaters**. Environment International, 37(5):940-949. 2011.

LEAL, M. S. et al. **Caracterização hidroambiental de nascentes**. Rev. Ambient. Água 12 (1), Fev 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1909>.

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

MARCENA, E. M. et al. **Água de Uso Doméstico, Captação e Reutilização**. Integrada Revista Científica FACOL/ ISEOL, v. IV, Junho, 2017, ISSN 2359-0645. 2017.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and human well-being: **a framework for assessment**. Washington, DC: Island, 245p. 2003.

MOENS, T. et al. Feeding Ecology of Free-living Benthic Nematodes. In: Eyualem, A.; Andrassy, I.; Traunspurger, W. **FRESHWATER NEMATODES - Ecology and Taxonomy**. CABI Publishing. 2006. ISBN 0 85199 009 6.

\_\_\_\_\_. et al. **Ecology of free-living marine nematodes**. Hand. Zool. 2, 109–152. 2013.

MONTEIRO, L. et al. **Effects of the water-soluble fraction of a crude oil on freshwater meiofauna and nematode assemblages**. Ecotoxicology and Environmental Safety, 176, 30: 186-195. 2019.

MONTEIRO, T. R.; OLIVEIRA, L. G.; GODOY, B. S. **Biomonitoramento da Qualidade de Água Utilizando Macroinvertebrados Bentônicos**: adaptação do Índice Biótico BMWP 'À Bacia do rio Meia Ponte-GO. Oecol. Bras., 12 (3): 553-563, 2008.

MOTTA, E. J. O.; GONÇALVES, N. E. W. **PLANO NASCENTE SÃO FRANCISCO: Plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio São Francisco**. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). Editora IABS, Brasília-DF, Brasil. 2016.

NEHER, D. A. Role of Nematodes in Soil Health and Their Use as Indicators. Journal of Nematology, 33, 161-168. 2001.

\_\_\_\_\_. DARBY, B. J. Computation and Application of Nematode Community Indices: General Guidelines. 2006. In: Eyualem, A.; Andrassy, I.; Traunspurger, W. **FRESHWATER NEMATODES - Ecology and Taxonomy**. CABI Publishing. 2006. ISBN 0 85199 009 6.

NICÁCIO, J. E. M. A Manutenção de Mata Ciliar: **Um Ativo Permanente**. REVISTA DE ESTUDOS SOCIAIS, 3(6):85-92. 2001.

NOGUEIRA, C. et al. **Restricted-range fishes and the conservation of Brazilian freshwaters**. PLoS ONE 5(6), e11390. DOI: 10.1371/journal.pone.0011390. 2010.

PALIVODA, A. P.; POVALUK, M, P. Avaliação do estado de conservação de nascentes localizadas em áreas rurais do município de Itaiópolis, SC. **Saúde e Meio Ambiente**: Revista Interdisciplinar, 4(1), 17–31. 2015.

PEGO, A. P.; SANTOS, L. B. S.; SANTOS, J. C. **Benthic macroinvertebrates as water quality bioindicators of three springs in Complexo Parque do Sabiá, Uberlândia, Minas Gerais**. Journal of Environmental Analysis and Progress. 2018.

PIERONI, J. P. et al. **Avaliação do Estado de Conservação de Nascentes em Microbacias Hidrográficas**. Revista Geociências, 38(1):185 - 193, 2019.

PINHEIRO, C. et al. Assessing the ecological status of a Mediterranean river: **benthic invertebrates and diatoms as complementary bioindicators**. Limnetica, 39(1): 299-315. 2020. ISSN: 0213-8409.

PINTO, T. K. et al. Free-living freshwater nematodes from Brazil: **checklist of genera and regional patterns of diversity**. Nematology 3(2)1 – 14. 2021.

PIROLI, E. L. Água e bacias hidrográficas: **planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas**. São Paulo: Editora UNESP, 2022, 141 p. ISBN: 978-65-5714-298-1. <https://doi.org/10.7476/9786557142981>.

POLLO, R. A. et al. **Expansão do cultivo da cana-de-açúcar e o impacto sobre os recursos hídricos**. Atena Editora (2019). Ensaios nas Ciências Agrárias e Ambientais, 3(17):130 -140. 2019.

RAMOS, H. F.; SANTOS, D. C. R. M. **O Índice de Impacto Ambiental de Nascentes (IIAN) e o Grau de Preservação das Nascentes em Propriedades Rurais de Barra Mansa**. 2018.

RAPPORT. et al. **Ecosystem Health: Principles and Practice**. Wiley-Blackwell, USA. 384 pp. 2009.

REVENGA. et al. **Prospects for monitoring freshwater ecosystems towards the targets**. Philos. Trans. R. Soc. B, 360: 397-413. 2005.

RIDALL, AARON.; INGELS, JEROEN. **Nematode community structures in the presence of wastewater treatment plant discharge**. Environmental Monitoring and Assessment. 2023. ISBN: 195:991. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11555-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-11555-5>. Acesso: 21 jun. 2023.

RODRIGUES, I. et al. **Diagnóstico dos impactos ambientais advindos de atividades antrópicas na margem do rio Sanhauá e Paraíba**. Centro Científico Conhecer - Enciclopédia Biosfera, Goiânia, 5(8). 2009.

RODRIGUES, V. A. et al. **Recuperação de nascentes em microbacias da cuesta de Botucatu**. In: Rodrigues V.A, Bucci LA, organizadores. **Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais**. Botucatu: FEPAF; 2006.

SANTOS, M. O.; MELO, S. M. **Influence of land use and occupation in the quality of water sources - Macroinvertebrates benthic as bioindicators**. Journal of Environmental Analysis and Progress 02(01): 36-43, 2017. ISSN: 2525-815X.

SCHRATZBERGER, M.; INGELS, J. Meiofauna matters: **The roles of meiofauna in benthic ecosystems**. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 502:12–25, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002209811730031X?via%3Di> hub. Acesso em: 21 jun. 2023.

\_\_\_\_\_. et al. **Effects of paint-derived tributyltin on structure of estuarine nematode assemblages in experimental microcosms**. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 272: 217– 235. 2002.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Cadernos da Mata: **Preservação e Recuperação das Nascentes De Água e Vida**. Departamento de Proteção da Biodiversidade. São Paulo: SMA, 2009.

SEMPRUCCI, E. **Meiobenthos and free-living nematodes as tools for biomonitoring environments affected by riverine impact**. Environ Monit Assess, 187:251. 2015. DOI 10.1007/s10661-015-4493-7. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-015-4493-7>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SILVA, T. S. S. et al. **Diagnóstico ambiental de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Piauí, Alagoas**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 13(3):399-403, 2018. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5844>. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/5844>. Acesso em: 19 ago. 2021.

SILVEIRA, M. P. **Aplicação do Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade da Água em Rios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 68p.-- (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 36). 2004. ISSN 1516-4691.

SMITH, M. et al. Pay: **establishing payments for watershed services**. Gland: IUCN, 2008.

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

SOUZA, P. A. et al. **Metodologias de avaliação de impactos ambientais da APP, Rancho Tutty Falcão Gurupi-TO**. Enciclopédia Biosfera, 13(24), 2016.

STARK, J. S. et al. **Diversity, abundance, spatial variation and human impacts on marine meiobenthic nematode and copepod communities in Casey Station, East Antarctica**. 2020. Frontiers in Marine Science, 7, 480.

TITA, G.; VINCX, M.; DESROSIERS, G. **Size spectra, body width and morphotypes of intertidal nematodes: an ecological interpretation**. J.Mar. Biol. Ass. U.K., 79: 1007-1015, 1999.

TRAUNSPURGER, W. **Bathymetric, Seasonal and Vertical Distribution of Feeding-Types of Nematodes in an Oligotrophic Lake**. Vie et Milieu / Life & Environment, Observatoire Océanologique - Laboratoire Arago, 1-7. 1997.hal-03103468.

\_\_\_\_\_. et al. **Ecology of Freshwater Nematodes**. CABI Editora, 320 p. 2021.

\_\_\_\_\_. THREIS, I.; MAJDI, N. **Vertical and temporal distribution of free-living nematodes dwelling in two sandy-bed streams fed by helocrene springs**. Article in Nematology · June 2015. DOI: 10.1163/15685411-00002914.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no Brasil: **problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Estud Av. 2014; 22(63): 7-16.3. 2014.

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

VENZEL, S. M., et al. **Revitalização de nascentes**. Natureza online, Instituto Federal do Espírito Santo, v(2):1-6, 2016.

WIEDERHOLM. T. Use of benthos in lake monitoring. Journal of the Water Pollution Control Federation, 52:537-547, 1980.

WIESER, W. **Die Beziehung zwischen Mundhöhlengestalt, Ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden.** Arkiv für Zoologie 4: 439–484.1953.

YEATES, G. W. et al. **Feeding habits in soil nematode families and gênera - an outline for soil ecologists.** J. Nematol. 25: 315-331. 1994.

\_\_\_\_\_. et al. **Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists.** Journal of Nematology 25: 315–331. 1993.

ZARDO, D. C. et al. **Variação espaço-temporal na abundância de ordens e famílias de macroinvertebrados bentônicos registrados em área de nascente, Campo Verde-MT.** Revista Uniara, 16(1) 2013.

ZULLINI, A. NEMATODI D'ACQUA DOLCE: **Manuale di identificazione al genere e metodi di raccolta.** Rivista del Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale, v. 35, 2° supplemento, pag. 254. 2021. ISSN 2611-5182.

\_\_\_\_\_. GATTI, F.; AMBROSINI, R. **Microhabitat preferences in springs, as shown by a survey of nematode communities of Trentino (south-eastern Alps, Italy).** Springs: neglected key habitats for biodiversity conservation, J. Limnol., 70(1): 93-105, 2011. DOI: 10.3274/JL11-70-S1-07. Disponível em: <https://www.readcube.com/articles/10.4081%2Fjlimnol.2011.s1.93>. Acesso em 10 set. 2023.

#### 4 IMPACTOS DE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS EM NASCENTES: RESPOSTA TAXONÔMICA E FUNCIONAL DAS ASSEMBLEIAS DE NEMATODA

##### RESUMO

Os ecossistemas dulcícolas desempenham importantes serviços ecossistêmicos hidrológicos para o homem e a natureza. Diferentes usos de solo por diferentes atividades antrópicas intensificam impactos nesses ambientes, como nascentes localizadas em áreas rurais sob exploração humana. Os Nematoda de vida livre são excelentes bioindicadores de distúrbios ambientais, porém sua ecologia é pouco conhecida em ambientes de água doce. No presente trabalho investigou-se a estrutura das assembleias de Nematoda, testando a hipótese de que atividades agropecuárias alteram a estrutura das assembleias de Nematoda de nascentes de rios, diminuindo a diversidade taxonômica e trófica, levando a dominância de Nematoda tolerantes às perturbações. Foram investigadas as assembleias de Nematoda em 16 nascentes localizadas em áreas com e sem a presença de pastagem e cana-de-açúcar. As assembleias de Nematoda estiveram compostas por 39 gêneros, *Ironus* e *Monhystera* sendo os mais abundantes nas nascentes. Nascentes sem influência de atividades agropecuárias apresentaram maior riqueza de gêneros e dominância de Nematoda de estratégia de vida persistentes, sendo influenciadas de modo significativo pela maior vazão e menores teores de matéria orgânica nos sedimentos. As características da estrutura das assembleias de Nematoda das nascentes sujeitas a atividades de agropecuária estudadas indicam baixa qualidade ambiental.

**Palavras-chave:** grupos tróficos; índice de maturidade; indicadores ecológicos; perturbações humanas, cana-de-açúcar, pastagem.

#### 5 INTRODUÇÃO

Os sistemas de água doce e sua biodiversidade vêm sendo sistematicamente alterados e degradados por inúmeras atividades humanas (Hansen et al. 2022), tais como o lançamento de efluentes industriais e domésticos, entrada de poluentes, sobrepesca, introdução de espécies nativas, agropecuária e diversas alterações na geomorfologia das bacias de drenagem (Pinto et al. 2021, Venzel et al. 2016).

As nascentes são áreas protegidas pela Lei 12.651/2012 do Código Florestal, classificadas como Áreas de Preservação Permanentes – APP. Trata-se de uma área preservada e protegida pela mata ciliar conforme o curso de água, com o objetivo de conservar a paisagem, os recursos hídricos, a geomorfologia e a diversidade biológica (Brasil, 2012). As nascentes são ecossistemas essenciais para formação de corpos hídricos, uma vez que sua integridade fornece água de boa qualidade, preservando a biodiversidade local (Calheiros et al. 2006). Estes ambientes estão altamente

vulneráveis às consequências do mau uso do solo e da água, sendo impactados principalmente pela agropecuária (Venzel et al. 2016). São ecossistemas comumente inseridos em áreas agrícolas, sujeitos a inúmeros impactos antrópicos. Na agricultura, o uso de pesticidas, fertilizantes e corretivos de solo, degradam as águas superficiais e subterrâneas, além de devastar a vegetação nativa (Dias et al. 1999). Em áreas de pastagem, ocorre a retirada da mata ciliar, que favorece o assoreamento e soterramento de nascentes pelos animais, além da contaminação bacteriológica da água e do sedimento por coliformes totais e compostos nitrogenados (Souza et al. 2016).

Dentre a comunidade bentônica presente nos sistemas aquáticos, os Nematoda, se destacam, por sua alta dominância e ampla distribuição. São onipresentes em todos os tipos de sedimentos limnéticos, mesmo em condições extremas, com altas temperaturas, águas ácidas e anóxicas condições que eliminam outros organismos da fauna bentônica (Traunspurger e Majdi, 2021). Os Nematoda exercem importantes funções nos ecossistemas de água doce, como nos processos de biomineralização dos sedimentos, ciclagem de matéria orgânica e um papel essencial na teia trófica, pois se alimentam de protistas, diatomáceas, pequenos invertebrados, detritos e bactérias, como também, servem de alimento para níveis tróficos superiores (Majdi e Traunspurger, 2015; Schratzberger e Ingels, 2018).

Os Nematoda costumam ser abundantes e persistentes em ambientes poluídos (Coull, 1990), sendo úteis, na avaliação da qualidade ambiental. Estudos mostram sua eficiência, na detecção das pressões antrópicas e naturais nos ecossistemas aquáticos (Alves et al. 2013; Zeppilli et al. 2015). O curto ciclo de vida, a mobilidade limitada e o confinamento ao sedimento possibilitam a coleta de amostras pequenas e representativas, com elevada diversidade de espécies, que apresentam diferentes níveis de tolerância e sensibilidade a estressores ambientais, que permitem a esse táxon, refletir diferentes tipos de impacto nesses ambientes (Giere, 2009).

A composição taxonômica e os padrões de distribuição e processos ecológicos dos Nematoda ainda são pouco conhecidos em muitos habitats de água doce (Traunspurger e Majdi, 2021). Para diagnosticar alterações nos ecossistemas é importante conhecer as comunidades biológicas em termos de sua taxonomia, densidades populacionais, estratégias de vida e identificar gêneros chaves, possíveis indicadores dos distúrbios no ambiente (Piepenburg, 2005).

Nesta pesquisa foi estudada a estrutura das assembleias de Nematoda em nascentes investigando o impacto do cultivo da cana-de-açúcar e da presença de áreas de pastagens de gado, utilizando alterações nas assembleias de Nematoda como indicadora, testando a hipótese de que atividades agropecuárias alteram a estrutura das assembleias de Nematoda de nascentes de rios, diminuindo a diversidade taxonômica e trófica e levando a dominância de Nematoda tolerantes a perturbações.

## **6 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1 Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do rio Piauí possui uma área de drenagem com aproximadamente 1.080 km<sup>2</sup>, abrange os municípios de Arapiraca, Limoeiro de Anadia, Junqueiro, São Sebastião, Teotônio Vilela, Coruripe, Feliz Deserto, Penedo e Piaçabuçu no estado de Alagoas. O rio Piauí nasce em Arapiraca, e deságua na margem esquerda do rio São Francisco, que é o maior rio completamente brasileiro e um dos mais importantes do país. A ocupação da bacia do rio Piauí corresponde ao plantio de cana-de-açúcar (28,46%), solo exposto (26,34%), pastagem em área úmida (18,85%), plantio de coco (4,10%), e áreas de remanescente de mata atlântica (3,80%). Este rio apresenta 354 nascentes catalogadas (Silva et al. 2018).

### **6.2 Delineamento Amostral, Coleta e Processamento das Amostras**

Um único período de coleta de dados foi realizado entre fevereiro e março de 2022, em córregos tributários da Bacia do Rio Piauí, nas cidades de Penedo, Teotônio Vilela e São Sebastião, no estado de Alagoas. Foram selecionadas nascentes em locais com e sem influência de atividades de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem, da seguinte forma: (SS) sem influência de nenhuma destas duas atividades; (PS) com influência apenas de pastagens e afastadas de áreas de cultivo de cana-de-açúcar; (SC) em áreas sem influência de atividade de pastagem e com influência de cultivo de cana-de-açúcar; e (PC) em áreas com influência de pastagens e de cultivo de cana-de-açúcar ao mesmo tempo. Cada situação foi coletada em quadruplicata, totalizando 16 nascentes estudadas (Fig. 3).

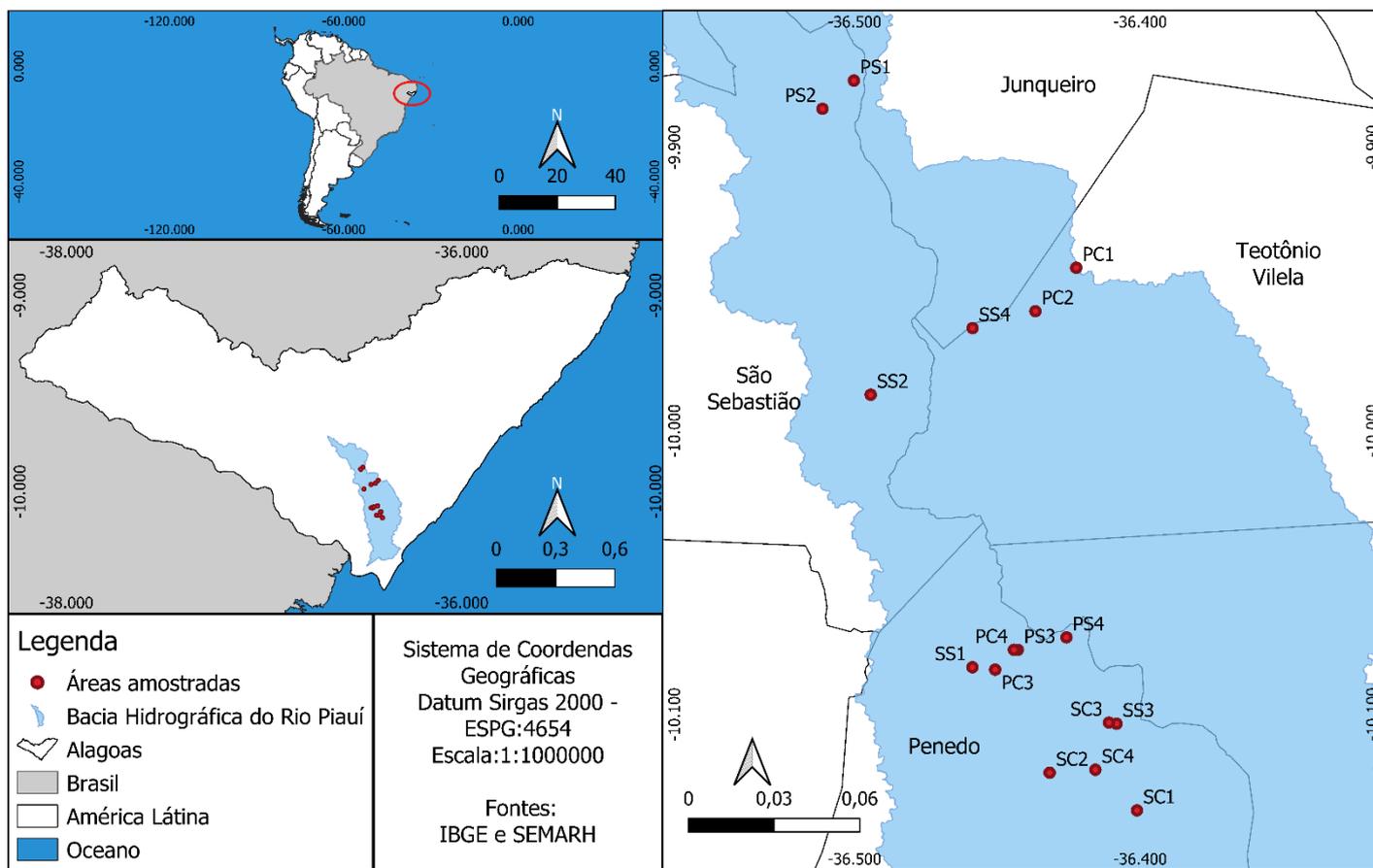


Fig. 3: Área de estudo evidenciando as nascentes estudadas na Bacia Hidrográfica Rio Piauí, Alagoas, Brasil. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= com pastagem e com cana-de-açúcar). Fonte: Autor.

### 6.3 Parâmetros da água

Em cada nascente, foram coletadas amostras de água em triplicata para cálculo da abundância de coliformes totais e *Escherichia coli* e para o cálculo de concentrações de nutrientes inorgânicos (Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Nitrito e Fósforo). Para coliformes totais e *Escherichia coli*, as amostras foram armazenadas em sacos estéreis e resfriadas em campo, para processamento em laboratório em até 24 horas, através da técnica de tubos múltiplos utilizando o substrato Aquatest Coli (LB 172038 Rev. 09 – 05/2018). Foram considerados negativos para coliformes totais e *Escherichia coli*, os tubos que permaneceram inalterados após a incubação. E após esse período os tubos que apresentaram coloração amarela, foram considerados positivos para coliformes totais. Além disso, os que exibiram fluorescência durante exposição à luz UV ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ), foram considerados positivos para *Escherichia coli*. Posteriormente, foi feita a contagem dos tubos para a quantificação de coliformes

totais e *E. coli* pela contagem do Número Mais Provável (NMP), conforme o método do substrato Aquatest.

Para mensuração da concentração dos nutrientes inorgânicos: Amônia, Nitrito, Nitrato e Fosfato, as amostras foram resfriadas em campo e congeladas a - 20 °C até o processamento, quando descongeladas, foram filtradas com peneira de 45 µm para remoção do material suspenso. Para mensurar os nutrientes, foram utilizados 10 mL das amostras homogeneizados individualmente com os seus respectivos reagentes, e lidas em fotômetro HANNA com curvas pré-programadas para cálculo das concentrações de Amônia, Nitrito, Nitrato e Fosfato (Greenberg, Clesceri e Eaton, 1992). Foram aferidos ainda parâmetros físico-químicos da coluna de água, como pH, potencial de oxi-redução, temperatura, oxigênio dissolvido e salinidade, utilizando uma sonda multiparâmetros.

Amostras de sedimentos para análise granulométrica, cálculo do teor de matéria orgânica e concentrações de mercúrio foram coletados em triplicata com corer de 10 cm de diâmetro interno inserido em 5 cm dos sedimentos. As amostras foram resfriadas em campo. Para análise granulométrica, foi utilizado o método de peneiramento à seco dos grãos grosseiros (Sugio, 1973), no qual os sedimentos foram secos em estufa a 80 °C por 48h e peneirados em agitador granulométrico de acordo com a classificação de Wentworth (1922). A classificação, tamanho médio, grau de selecionamento, assimetria e curtose dos grãos de sedimento foram calculadas de acordo com Folk e Ward (1957) no ambiente R através do pacote G2Sd (Fournier et al. 2014).

Para o cálculo do teor de matéria orgânica contida nos sedimentos, foi seguida a metodologia de ignição em mufla proposta por Wetzel e Likens (1990). Os sedimentos foram secos em estufa a 80 °C por 48h para retirada da umidade, pesados e levados à mufla por 550 °C durante 5h. Os teores foram determinados pela subtração entre o peso inicial e final da amostra, correspondente à matéria orgânica volatilizada, e calculados em termos de percentual do total da amostra. A análise para o cálculo da concentração de Mercúrio seguiu o método da USEPA (1998).

Também foram coletadas amostras em triplicata do primeiro centímetro dos sedimentos para determinação da concentração de clorofila utilizando-se um corer de 1 cm de diâmetro. As amostras foram mantidas isoladas da luz, resfriadas em campo e posteriormente congeladas a - 20 °C. As amostras foram descongeladas e os pigmentos foram extraídos em 10 ml de acetona por até 24h isolados da luz. A

determinação foi realizada em espectrofotômetro digital utilizando os comprimentos de onda de 665 e 750 nm, antes e depois da acidificação com HCl 0,1N para retirada da interferência por turbidez (Colijin e Dijkema 1981, CETESB, 2014, Lorenzen 1967).

#### 6.4 Nematoda

Para o estudo dos Nematoda foi utilizado um corer de 3,5 cm de diâmetro interno, inserido 5 cm nos sedimentos. As amostras foram coletadas em triplicata e fixadas com formalina a 4%. Posteriormente, foram lavadas em água corrente utilizando um jogo de 2 peneiras, sendo a superior de malha de 500 µm para separar a serapilheira do sedimento, e a inferior de 24 µm. Devido a grande quantidade de sedimento retido na peneira inferior, foi utilizado ainda o método de flotação com Sacarose (Jenkins, 1964) para maximizar a extração dos Nematoda. O processo de flotação foi repetido por até cinco vezes em amostras com muita quantidade de sedimentos. O sobrenadante foi vertido em peneira de 24 µm e o material retido foi levado a placa de Dolffus sob estereomicroscópio para contagem e retirada de todos os Nematoda.

Os espécimes foram diafanizados (De Grisse, 1969) e montados em lâminas permanentes em glicerina. E com o uso de microscópio óptico Olympus Cx31, os espécimes foram identificados a nível de gênero (Zullini, 2021). Posteriormente os Nematoda foram classificados quanto às guildas tróficas conforme as características morfológicas da cavidade bucal (Wieser, 1953; Jensen, 1987; Yeates et al. 1994, modificado por Traunspurger, 1997) (Tab. 1).

O índice de diversidade trófica (ITD) proposto por Heip et al. (1985) foi calculado através da fórmula  $ITD = \sum \theta^2$ , onde  $\theta$  = é a proporção da contribuição de cada guilda trófica nas amostras. Os valores do ITD variam de 0.25 (maior diversidade trófica) a 1 (menor diversidade trófica). Os resultados foram expressos como 1-ITD para melhor compreensão, onde maiores valores indicam maior diversidade trófica.

Foi calculado o Índice de Maturidade (MI), a partir da classificação dos Nematoda em relação a estratégia de vida em c-p 1: colonizadores extremos, c-p 2: colonizadores, c-p 3: intermediário, c-p 4: persistentes, e c-p 5: persistentes extremos. O MI é calculado através do somatório do valor de c-p de cada gênero multiplicado pela frequência de ocorrência deste gênero nas amostras. A dominância de gêneros persistentes e conseqüentemente maiores valores de MI, indica baixa perturbação ambiental (Bongers, 1990, Bongers e Ferris 1999).

O MI foi desenvolvido por Bongers (1990) e pode ser definido como uma medida de perturbação, onde valores menores são indicativos de um ambiente perturbado ou impactado e valores maiores indicam um ambiente menos perturbado ou não impactado. A fim de calcular o MI, os Nematoda foram classificados em uma escala de estratégia de vida denominada *c-p* (colonizadores -persistentes): *c-p* 1- colonizadores extremos, *c-p* 2 – colonizadores, *c-p* 3 – intermediários, *c-p* 4 – persistentes e *c-p* 5 – persistentes extremos (Bongers, 1990). Colonizadores são aqueles que apresentam ciclo de vida curto e altas taxas de reprodução, considerados bons colonizadores e tolerantes as perturbações, enquanto os persistentes são aqueles de ciclo de vida mais longo e baixas taxas reprodutivas, colonizadores secundários e sensíveis as perturbações (Bongers, 1990).

<b>TIPO DE ALIMENTAÇÃO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>	<b>DIETA PRINCIPAL (Traunspurger 1997, modificado depois de Yeates SPECIES <i>et al.</i> 1994)</b>
<b>Comedor de Depósito</b>	Dente pequeno ausente e na cavidade vestibular	Bactéria e eucariontes unicelulares
<b>Comedor de epistrito</b>	Dentes pequenos na cavidade bucal	Bactérias, unicelulares, eucariontes, diatomáceas e outras algas
<b>Mastigadores</b>	Cavidade bucal volumosa e esclerótica com um ou mais dentes e dentículos	Eucariotas unicelulares e predação sobre protozoários, nematódeos, rotíferos, feitiçarias, dentículos tardigrades
<b>Sugadores</b>	Presença de estilete	Onívoros (algas, plantas, fungos e animais), células epidérmicas e pelos radiculares

Tab. 1: Classificação dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997).

## 6.5 Análise Estatística

Para comparar a estrutura das assembleias de Nematoda entre as nascentes e testar a hipótese levantada, foram utilizadas análises uni e multivariadas.

Foram calculados os índices de diversidade de Shannon (H) e equitatividade de Pielou (J) utilizando os gêneros em cada tipo de nascente através da função Diverse do pacote estatístico PRIMER v6+PERMANOVA.

Para verificar diferenças significativas nestes índices entre as nascentes, uma vez que os dados não atenderam as premissas de homogeneidade das variâncias e normalidade dos dados testadas através dos testes de Levene e Shapiro-Wilks,

respectivamente, análises de Modelos Lineares Generalizados (GLM) foram aplicadas utilizando um modelo de distribuição de quasipoisson e nascentes como fator preditivo. No caso de diferenças significativas entre os modelos, um teste de Tukey para comparação de médias foi aplicado para detectar entre quais nascentes foram as diferenças. Este mesmo procedimento foi aplicado aos valores da densidade média total dos Nematoda, do IM e do ITD. Estas análises foram realizadas através das funções básicas do ambiente R (R Core Team, 2022) e do pacote *multcomp* (Hothorn et al. 2008), utilizando as funções *glm* e *glth*.

Para verificar dissimilaridades e diferenças significativas nas assembleias de Nematoda entre nascentes, análises multivariadas de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) e análise de variância multivariada por permutação (PERMANOVA) foram aplicadas a abundância dos gêneros de Nematoda tendo tipos de nascente como fator preditivo. Estas análises foram aplicadas a matriz de similaridade de Bray-Curtis dos dados de abundância dos gêneros, sem transformação.

Para verificar a influência dos parâmetros da água e do sedimento como preditores da estrutura das assembleias de Nematoda foi realizada uma análise de Modelo Linear Baseada em Distâncias (DistLM), utilizando-se uma matriz de distâncias construída a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis dos dados de abundância dos gêneros de Nematoda sem transformação. Para escolher o melhor modelo ajustado foi utilizado o critério de seleção de AICc e o procedimento de seleção *stepwise* e um nível de significância de 5% para verificar a significância das relações com os parâmetros ambientais medidos. O modelo indicado pela análise de DistLM foi plotado através de uma análise de Redundância baseada em distâncias (dbRDA). Todas estas análises foram aplicadas através do pacote estatístico PRIMER v6+PERMANOVA.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Parâmetros Ambientais

A água das nascentes apresentou valores de abundância de Coliformes Totais que variaram entre 8,46 ( $\pm 0,0$ ) e 8,50 ( $\pm 0,14$ ) NMP/100 mL. Os valores para

abundância de *Escherichia coli*, foram menores em PS ( $5,60 \pm 3,64$  NMP/100 mL), e maiores em SS ( $8,01 \pm 1,70$  NMP/100 mL) (Tab. 2).

As concentrações de Nitrogênio Amoniaco variaram de  $1,08 (\pm 0,44)$  a  $1,43 (\pm 1,44)$  mg/L nas nascentes estudadas. Os maiores valores médios para as concentrações de Nitrato e Nitrito foram todos registrados em SS ( $5,13 \pm 5,95$  e  $1,24 \pm 1,95$  mg/L, respectivamente). Em SS foram registrados ainda os menores valores médios para a concentração de Fósforo ( $1,51 \pm 1,70$  mg/L). Os maiores valores para a concentração deste nutriente foram encontrados em PC ( $5,92 \pm 15,23$  mg/L) (Tab. 2).

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram de  $6,02 \pm 1,42$  a  $7,38$  mg/L, e os valores de pH de  $5,81$  a  $6,20$ . Todas as nascentes possuíam salinidades menores que 1, e as temperaturas variaram de  $26$  e  $27$  em PS e SS, a  $30^\circ\text{C}$  em PC. SS apresentou os maiores valores de vazão ( $0,51 \pm 0,62$  L/s) (Tab. 2).

As nascentes SS, SC e PS apresentaram classificação de areias médias, pobremente selecionadas, simétricas e mesocúrticas, sem nenhuma tendência dos grãos, e o oposto para PC, onde os sedimentos apresentaram classificação de areia fina, pobremente selecionada com assimetria para o lado dos finos (Tab. 3).

As concentrações de mercúrio no sedimento variaram entre  $0,01$  e  $0,02$  mg/Kg. O teor de matéria orgânica contido nos sedimentos variou de  $0,92$  a  $4,29$  g, sendo os menores valores registrados em PC, SS e PS ( $0,92 \pm 0,32$ ,  $1,02 \pm 0,98$  e  $1,73 \pm 1,04$  g, respectivamente). As nascentes SC apresentaram o maior valor registrado em SC ( $4,29 \pm 4,67$  g). As concentrações de clorofila-a variaram de  $53,16$  e  $374,46$  g/cm<sup>2</sup>, com o maior valor registrado em SS ( $321,87 \pm 374,46$  g/cm<sup>2</sup>) (Tab. 3).

Nascente	Coli totais NMP/100mL	<i>E. Coli</i> NMP/100mL	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L	P mg/L	OD mg/L	pH	Salinidade%	T °C	Vazão (L/s)
<b>SS</b>	8,50±0,00	8,01±1,70	1,10±0,64	5,13±5,95	1,24±1,95	1,51±1,70	6,02±1,42	6,20±0,41	0,12±0,08	28,15±1,80	0,51±0,62
<b>SC</b>	8,50±0,00	6,23±3,31	1,24±0,81	2,90±3,49	0,11±0,29	2,14±3,71	7,31±2,38	6,12±0,64	0,04±0,01	30,68±4,11	0,06±0,10
<b>PS</b>	8,46±0,14	5,60±3,64	1,08±0,44	3,68±6,38	0,02±0,05	2,55±2,46	6,48±1,92	5,81±0,41	0,13±0,05	27,50±0,63	0,07±0,10
<b>PC</b>	8,50±0,00	6,11±3,56	1,43±1,44	4,86±3,10	0,01±0,02	5,92±15,23	7,16±2,10	5,92±0,92	0,03±0,01	30,85±2,10	0,01±0,02

Tab. 2: Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) das variáveis ambientais da água das nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

Nascente	Hg (mg/kg)	Clorofila (g/cm <sup>2</sup> )	Matéria Orgânica (%)	Tamanho Médio do grão (mm)	Grau de Selecionamento	Assimetria	Curtose
<b>SS</b>	0,02±0,01	321,87±374,46	1,02±0,98	0,26±0,19	2,55±0,56	-0,04±0,25	1,01±0,20
<b>SC</b>	0,02±0,02	53,16±172,56	4,29±4,67	0,31±0,33	2,59±0,62	0,03±0,23	0,93±0,24
<b>PS</b>	0,02±0,01	128,45±297,74	1,73±1,04	0,54±0,63	2,86±0,26	0,08±0,11	0,92±0,17
<b>PC</b>	0,01±0,02	189,06±337,44	0,92±0,32	0,23±0,06	2,59±0,41	-0,03±0,05	1,01±0,22

Tab. 3: Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) dos parâmetros ambientais do sedimento e parâmetros granulométricos dos sedimentos (Valores recomendados por lei para ambientes aquáticos de água doce de conservação), (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

## 7.2 Estrutura das assembleias de Nematoda

### 7.2.1 Estrutura taxonômica

As assembleias de Nematoda estiveram compostas por 41 gêneros, pertencentes a oito ordens e 25 famílias (Apêndices – Item I). O maior número de gêneros registrado foi de 26 em SS, seguido por PS com 24, PC com 15 e SC com 14 gêneros (Fig. 4A). Destes, sete ocorreram exclusivamente em SS (*Aphanolaimus*, *Aquatides*, *Belondira*, *Chrysonema*, *Paramphidelus*, *Plectus*, *Psilenchus*), três em SC (*Aphanonchus*, *Eudorylaimus*, *Oncholaimus*), seis em PS (*Enchodelus*, *Iotonchus*, *Panagrolaimus*, *Paraphanolaimus*, *Propanagrolaimus*, *Idiodorylaimus*) e dois em PC (*Cobbonchus*, *Protorhabditis*), e os gêneros *Crocodylaimus*, *Hemicycliophora*, *Ironus* e *Microlaimus*, estiveram amplamente distribuídos entre as nascentes.

A nascente SS apresentou densidade média significativamente maior que o encontrado em todas as outras nascentes ( $p=0,001$ ), 29,39 ind.10cm<sup>-2</sup> ( $\pm 40,48$ ). Os valores de densidade média das nascentes PS, PC e SC foram 8,23 ( $\pm 12,68$ ), 8,75 ( $\pm 9,70$ ) e 9,88 ( $\pm 9,69$ ) ind.10cm<sup>-2</sup>, respectivamente (Fig. 4B).

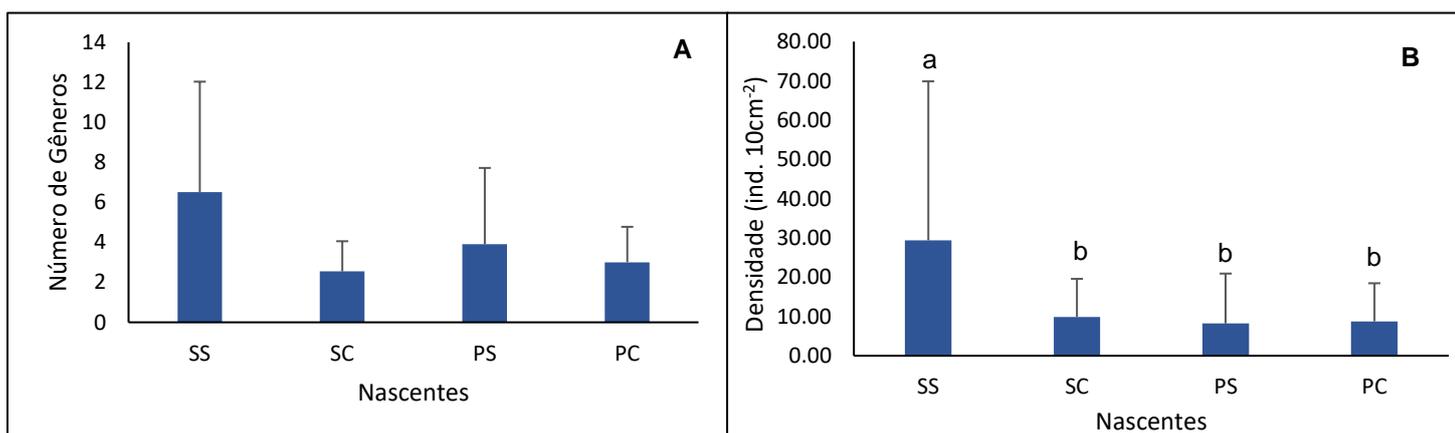


Fig. 4: Número médio de gêneros (A), e densidade total média (ind.10cm<sup>-2</sup>) (B) das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). (linhas indicam desvio padrão, letras diferentes indicam diferenças significativas).

O gênero *Ironus* foi dominante nas nascentes sem influência de pastagem, com valores de abundância relativa de cerca de 29% em SS e SC (Fig. 5). Em SS, *Monhystera* foi o segundo gênero mais abundante (14,10%) e em SC *Mononchulus* e *Crocodylaimus* foram também representativos com valores de abundância relativa de 18,83% e 12,50% respectivamente (Fig. 5).

Em PC a assembleia foi dominada por *Mesodorylaimus*, *Laimydorus* e *Monhystera* (16,91%, 14,05%, 10,19%) e em PS *Monhystera* apresentou os maiores valores de abundância relativa, 26,10%, seguido de *Hemicycliophora*, com 12,50% (Fig. 5).

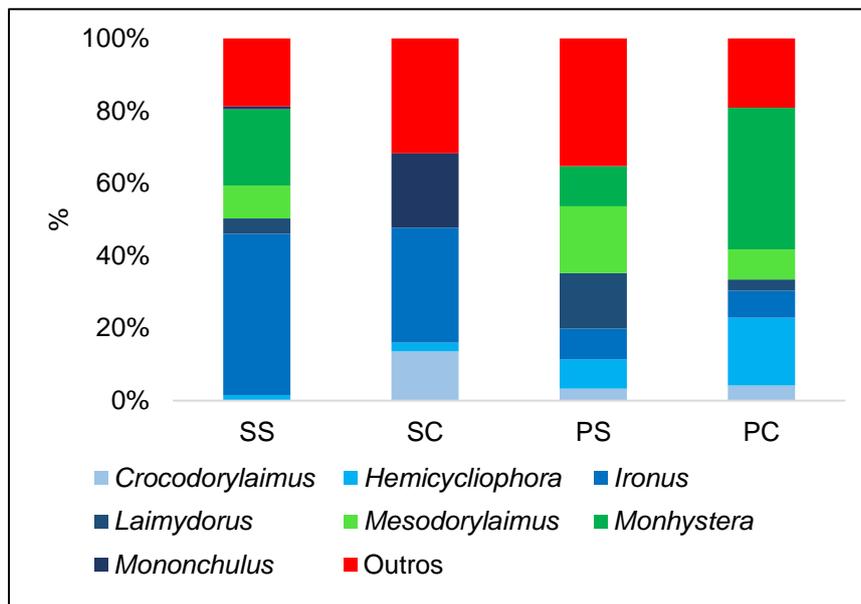


Fig. 5: Abundância relativa (%) dos gêneros de Nematoda nas Nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

Os índices de diversidade de Shannon e de equitatividade de Pielou calculados, apresentaram maiores valores médios em PS, porém não foram encontradas diferenças significativas para estes índices entre as nascentes (Fig. 6).

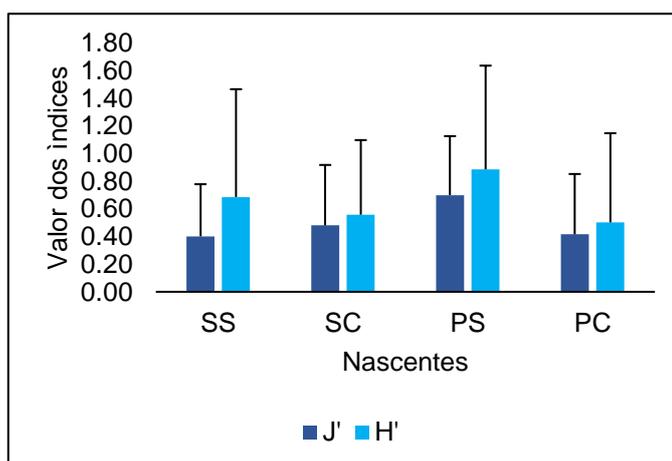


Fig. 6: Valores médios e desvios padrões da Equitabilidade de Pielou (J') e Diversidade de Shannon (H') das assembleias de Nematoda das nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

A estrutura taxonômica das assembleias, apresentou dissimilaridades e diferenças significativas entre as nascentes (Pseudo-F = 2.35,  $p = 0.001$ ), com exceção de PS e PC (Tab. 4, Fig. 7).

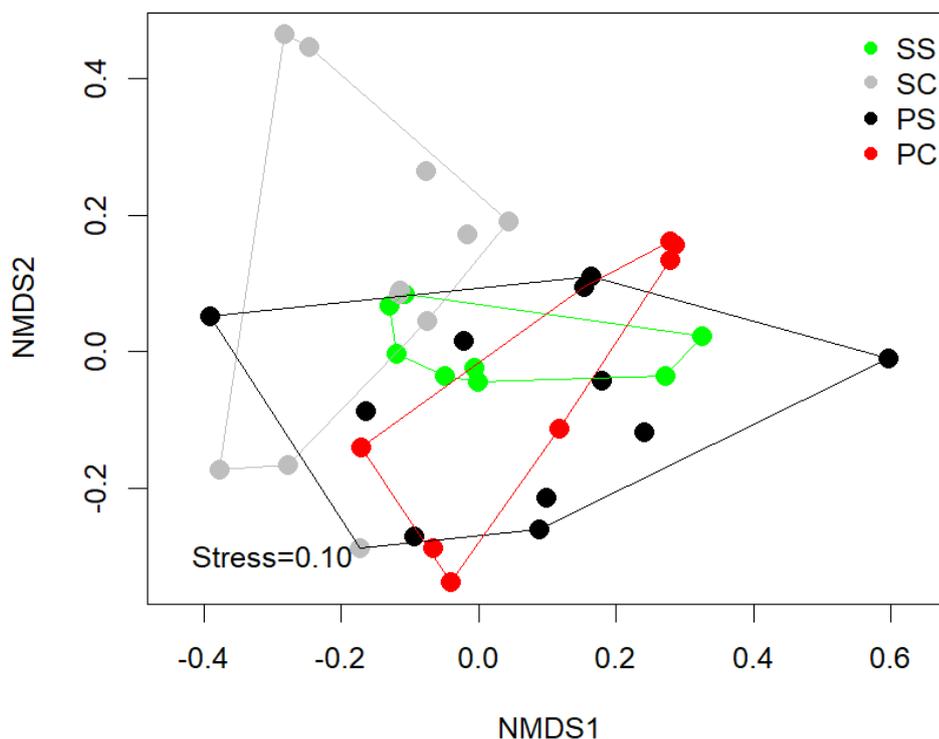


Fig. 7: Resultado da análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) aplicada aos dados de abundância dos gêneros de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

Nascentes	F-Model	$p$
<b>SS-SC</b>	2,14	0,03*
<b>SS-PS</b>	2,56	0,02*
<b>SS-PC</b>	2,97	0,01
<b>SC-PS</b>	2,47	<0,01*
<b>SC-PC</b>	2,80	<0,01*
<b>PS-PC</b>	1,37	0,185

Tab. 4: Teste de comparação de médias da PERMANOVA (pairwise) aplicada aos dados de abundância dos gêneros de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). (\*=resultados significativos,  $p < 0,05$ ).

### 7.2.2 Estrutura funcional

Todas as quatro guildas tróficas, estiveram presentes entre as assembleias de Nematoda das nascentes (Apêndice II). Os sugadores e mastigadores, dominaram em todas as nascentes, exceto em PC, onde os comedores de depósitos foram os mais abundantes atingindo 28,47% dos indivíduos, seguidos pelos mastigadores com 24,8% (Fig. 8). Nas nascentes sem pastagem, SS e SC, os sugadores dominaram, representando mais de 50% dos indivíduos. Já em PS, os mastigadores atingiram valores de abundância relativa de cerca de 60%.

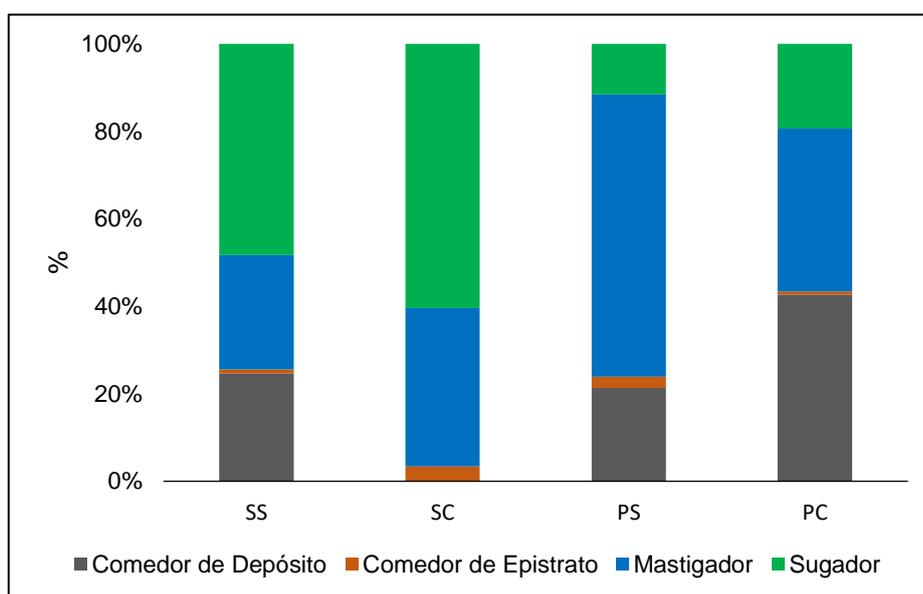


Fig. 8: Abundância relativa (%) dos Grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) nas nascentes do rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

A densidade média dos sugadores variou de 1,44 ind.10cm<sup>-2</sup> ( $\pm 2,96$ ) em PC, a 14,85 ind,10cm<sup>-2</sup> ( $\pm 18,91$ ) em SS. Os menores valores de densidade média dos mastigadores foi registrado em PC - 1,36 ind.10cm<sup>-2</sup> ( $\pm 2,23$ ) e os maiores em SS - 11,32 ind.10cm<sup>-2</sup> ( $\pm 20,11$ ). Os comedores de depósitos foram registrados em maiores densidades em PC (5,51 $\pm$ 8,449 ind.10cm<sup>-2</sup>). Os comedores de epistrato, apesar de

terem sido registrados em todas as nascentes foram registrados em menores densidades com valores médios máximos de  $0,75 \text{ ind.}10\text{cm}^{-2}$  ( $\pm 2,28$ ) (Fig. 9).

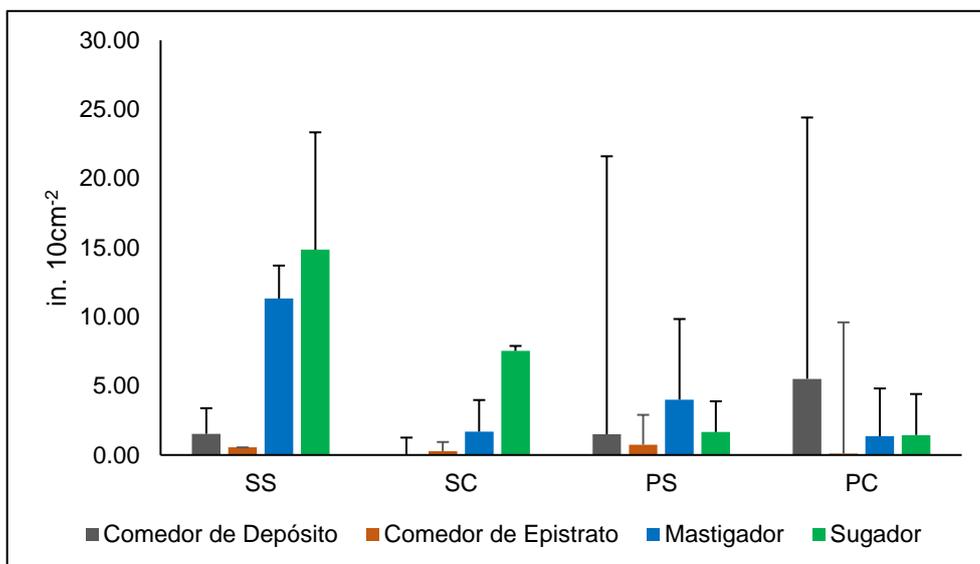


Fig. 9: Densidade média e desvio padrão dos Grupos tróficos (Traunspurger, 1997) das nascentes do rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

Os valores do IDT indicam maior diversidade trófica em SS com valor médio de 1-ITD de  $0,35$  ( $\pm 0,25$ ) e menor em SC (Fig. 10).

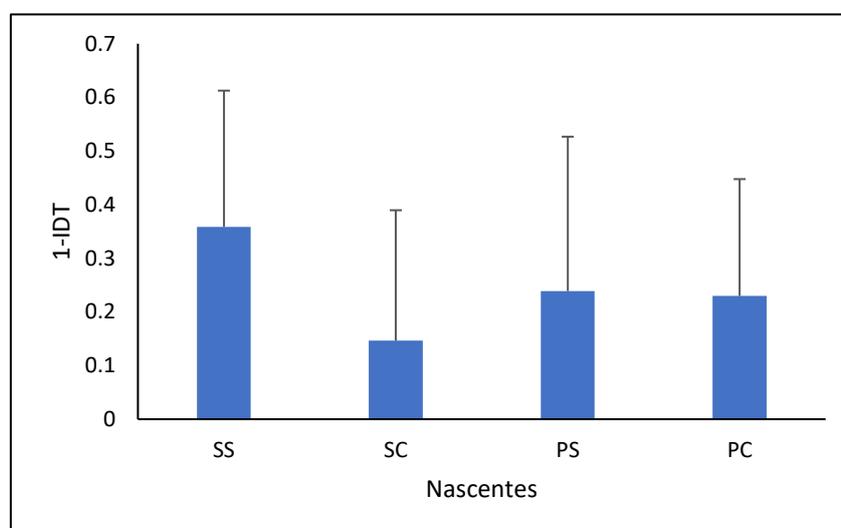


Fig. 10: Índice de diversidade trófica (1-ITD) das assembleias de Nematoda nas nascentes do rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar) (linhas indicam desvio padrão).

Através do resultado da análise de nMDS aplicada a abundância dos grupos tróficos foi possível verificar dissimilaridades entre as nascentes (Fig. 11). Através da PERMANOVA foi possível verificar diferenças significativas entre todas as nascentes (F-Model= 2,78;  $p= 0,002$ ), exceto PS e PC (Tab. 5).

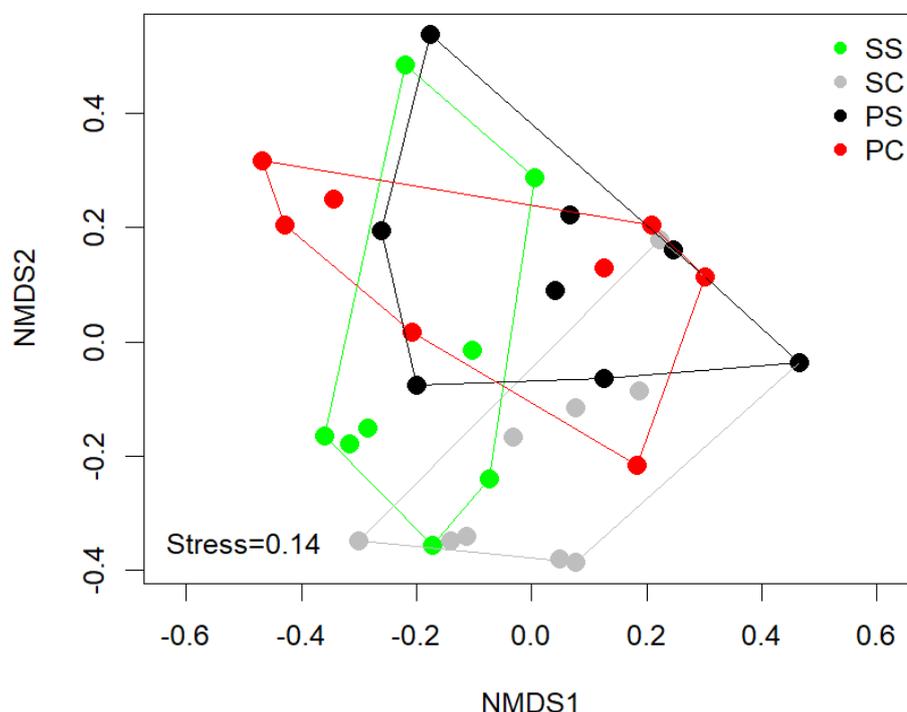


Fig. 11: Resultado da análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), aplicada aos dados de abundância dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) nas nascentes do Rio Piauí, AL (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

Nascentes	F-Model	$p$
SS-SC	2,78	0,03*
SS-PS	3,76	<0.01*
SS-PC	2,91	0,02*
SC-PS	3,08	0,03*
SC-PC	2,83	0,04*
PS-PC	1,34	0,24

Tab. 5: Teste de comparação de medias da PERMANOVA (pairwise) aplicada aos dados de abundância dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) nas nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar). \*=resultados significativos,  $p<0.05$ .

Os valores do índice de maturidade (MI) calculados, variaram entre 0,19 em PC e 3,93 em SS. O maior valor médio foi registrado para SS, 0,60 ( $\pm 1,11$ ) e para as outras nascentes estes valores não ultrapassaram 0,29, sendo menores em PC, 0,19 ( $\pm 0,35$ ). Estas diferenças não foram estatisticamente significativas (Fig. 12).

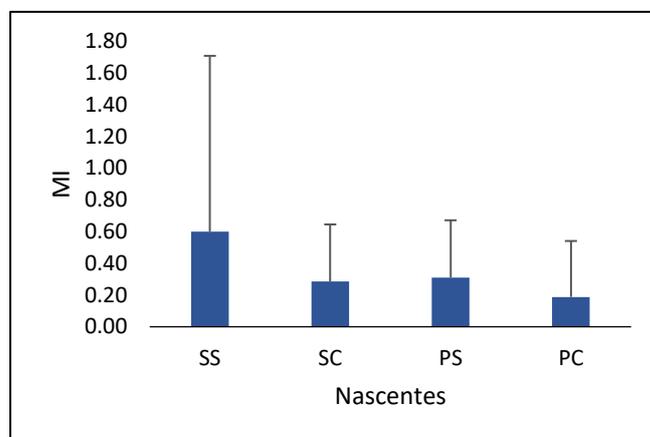


Fig. 12: Índice de Maturidade calculados para as nascentes do Rio Piauí (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

### 7.3 Relações com os Parâmetros Ambientais

O melhor modelo ajustado proposto pela análise de distLM aplicada aos dados de abundância dos gêneros, representado na análise de dbRDA, resultou em um percentual de explicação da variação das assembleias pelas variáveis ambientais medidas de 12,5% (10,9% para o eixo 1 e 1,6% para o eixo 2) e um padrão de separação pelo eixo 1, das amostras de SS e SC das de PS e PC (Fig. 13). Foram encontrados resultados significativos nos testes sequenciais para o teor de matéria orgânica contido nos sedimentos (Pseudo-F=2.46;  $p=0.003$ ) e para a vazão (Pseudo-F=2.41;  $p=0.007$ ). Nos testes marginais foram ainda significativos os parâmetros salinidade (Pseudo-F=1.83;  $p=0.03$ ) e temperatura (Pseudo-F=2.2;  $p=0.005$ ), indicando que as assembleias em SS e SC foram influenciadas por maiores valores de vazão e matéria orgânica e menores valores de temperatura e salinidade.

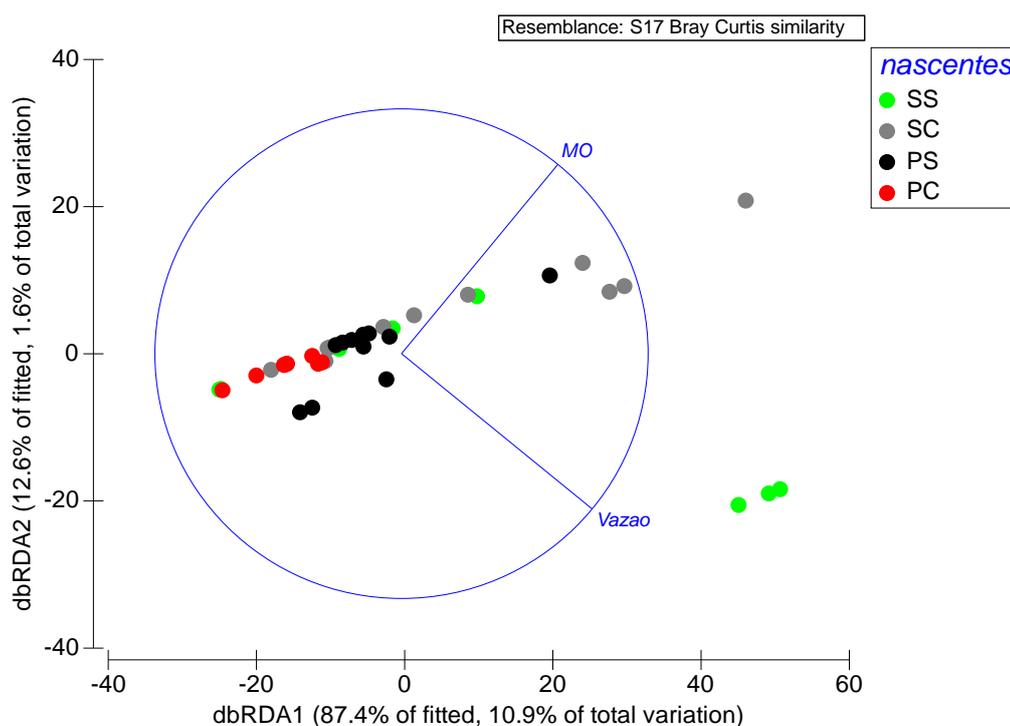


Fig. 13: Análise de redundância baseada em distâncias (dbRDA) da abundância dos gêneros de Nematoda a partir do modelo ajustado proposto pela análise de modelos lineares baseados em distância (DistLM) para as nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar) (MO=teor de matéria orgânica nos sedimentos).

A análise de distLM aplicada aos grupos tróficos e representada pela análise de dbRDA, resultou em um modelo ajustado que explica 12,5% da variabilidade da estrutura trófica das assembleias, sendo 10,9% para o eixo 1 e 1,69% para o eixo 2 (Fig. 14) e um padrão de agrupamento das amostras de SS e SC e PS relacionado a maiores valores de abundância de *Escherichia coli* e do teor de matéria orgânica que apresentaram valores significativos nos testes sequenciais (Pseudo-F=3,58;  $p=0,006$  e Pseudo-F=2,86;  $p=0,018$ , respectivamente).

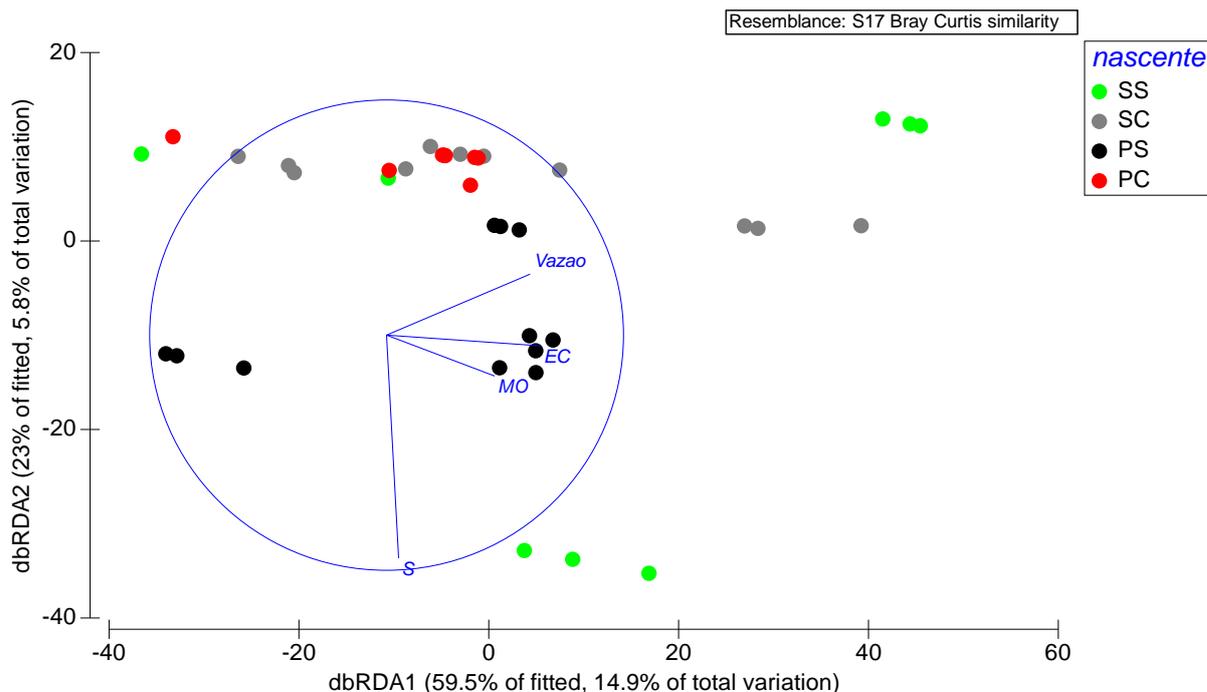


Fig. 14: Análise de redundância baseada em distâncias (dbRDA) da abundância dos grupos tróficos de Nematoda (Traunspurger, 1997) a partir do modelo ajustado proposto pela análise de modelos lineares baseados em distância (DistLM) para as nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar) (MO=teor de matéria orgânica nos sedimentos).

## 8 DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou a estrutura das assembleias de Nematoda em nascentes de um rio localizadas em áreas rurais do nordeste do Brasil, em Alagoas, comparando nascentes em áreas com e sem influência de atividades de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem de gado. Esperava-se que estas atividades impactassem a qualidade das nascentes uma vez que podem aumentar a disponibilidade de nutrientes inorgânicos, matéria orgânica, coliformes totais e metais como o mercúrio, provenientes de fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos utilizados amplamente nos cultivos. Os resultados indicam que estas atividades alteram a qualidade das nascentes, uma vez que as assembleias de Nematoda nas nascentes afastadas de áreas de cultivos de cana-de-açúcar e pastagens, apresentaram o maior número de gêneros, incluindo o maior número de gêneros exclusivos, maiores densidades, maior diversidade trófica e valores de MI maiores, indicando um melhor status ecológico que as nascentes sob influência destas atividades.

Apesar de não haver relação significativa entre os parâmetros ambientais diretamente relacionados com as atividades, como concentrações de nutrientes inorgânicos e abundância de coliformes e a estrutura das assembleias, como seria esperado, o fato da vazão e a matéria orgânica serem os parâmetros explicativos mais importantes, indicam uma condição impactada tanto diretamente quanto indiretamente por estas atividades. A retirada da mata ciliar devido as áreas de pastagens e o pisoteio do gado, levam ao menor volume e vazão de água nas nascentes (Calheiros et al. 2009), e o uso de fertilizantes e adubo na preparação da terra para o plantio de cana-de-açúcar, tendem aumentar o aporte da matéria orgânica (Graham e Haynes, 2006).

Das ordens encontradas nas nascentes, Chromadorida, Dorylaimida, Enoplida, Monhysterida, Mononchida, Plectida e Rhabditida ocorrem numerosamente em ambientes de água doce (Traunspurger, 2014). Dorylaimida foi o mais numeroso com 18 gêneros, e Plectida com sete gêneros, Chromodorida e Monhysterida foram os menos numerosos com dois gêneros, Enoplida com três, Mononchida e Rhabditida com quatro gêneros. Os gêneros encontrados aqui são frequentes em água doce, e habitam em sistemas de águas doces, salobras, solo úmido e musgo (Traunspurger, 2001). Somente *Ironus* e *Mononchus* ocorrentes nesta pesquisa, são exclusivamente de água doce. Alguns gêneros encontrados, tais como *Belondira*, *Lindseyus*, *Paramphidelus* e *Plectus*, são gêneros raros em água doce, sendo típicos de solos úmidos e musgos (Zullini, 2021). Dos 41 gêneros encontrados, apenas 29 gêneros apresentam registro no Brasil (Pinto et al. 2021). Nas nascentes foram registrados os gêneros, *Afrodorylaimus*, *Aquatides*, *Belondira*, *Chrysonema*, *Hofmaenneria*, *Idiodorylaimus*, *Lindseyus*, *Paramphidelus*, *Propanagrolaimus*, *Protorhabditis*, *Thornia* e *Tylenchomorpha*, não encontrados anteriormente no Brasil, ampliando assim a lista de Pinto et al. (2021), que catalogaram 144 gêneros de Nematoda para água doce.

Os gêneros *Ironus* e *Hemicyclophora* estiveram presentes em todas as nascentes, com maior predominância de *Ironus* nas nascentes sem atividades (SS), e em nascentes com pastagem (SP). Esses gêneros geralmente apresentam altas densidades em água doce (Traunspurger, 2000), no entanto, sua presença pode indicar condição de perturbação ambiental, uma vez que foram registrados em alta dominância em ambientes poluídos e com alta produtividade primária (Wu e Liang, 1999; Heininger et al. 2007; Pinto et al. 2021). O gênero *Monhystera*, é um gênero comum em água doce, mas possui ampla distribuição semi-aquática, desde solos a

sistemas marinhos (Eyualem, Andrássy, e Traunspurger, 2006). São comedores de depósitos em sistemas saudáveis, e em sistemas poluídos são substituídos pelas famílias Diplogasteridae e Rhabditidae, que são compostas por gêneros comedores de depósito (Beier e Traunspurger, 2003b). Aqui, foi encontrado apenas um gênero da família Rhabditidae, *Protorhabditis*, nas nascentes com cana-de-a ugar e pastagem (PC), mostrando não ser suficiente para indicar alterações no hábito alimentar dos Nematoda. *Mesodorylaimus*, foi o gênero dominante em nascentes com pastagem e sem cana-de-a ugar (PS). Ocorrem principalmente em solos ou musgo, mas muitas espécies são frequentem sistemas de água doce (Eyualem, Andrássy, e Traunspurger, 2006).

Foi observado uma semelhança na composição das assembleias de Nematoda nas nascentes com pastagens, sem cana-de-a ugar (PS) e com cana-de-a ugar (PC), e troca das guildas tróficas nestas nascentes. Os sugadores dominantes nas nascentes sem pastagens (SS e SC) foram substituídos pelos mastigadores em (PS) e comedores de depósito em (PC).

As nascentes sem cana-de-a ugar e com atividade de pastagem (SP) foram influenciadas pela matéria orgânica conforme o distLM. Nos sedimentos ricos em matéria orgânica existe maior abundância de espécies de Nematoda (Oberndorfer e Lundholm, 2009), porque a composição da meiofauna passa a ser estruturada pela falta do fluxo de água e o pobre suprimento de oxigênio e sua distribuição é influenciada pelos padrões hidrodinâmicos e a estrutura sedimentar, sendo refletida diretamente na abundância e diversidade dos Nematoda (Giere, 2009; Gheskiere 2005).

As nascentes com pastagens, sofrem com a ausência da mata ciliar causando erosão das margens e conseqüentemente baixa produtividade (Frota, 2012). Apesar da erosão também acontecer de forma natural gradualmente, essas atividades aceleram o processo de degradação das nascentes (Nunes et al., 2011). Dando acesso direto a carga poluidora de tais atividades pelos dejetos e urina dos animais, e os produtos tóxicos e fertilizantes utilizados na cana-de-a ugar, além destes poluentes entrarem nas  guas, pelo escoamento superficial da chuva e subterrânea (Merten e Minella, 2002). Além disso, as fezes do gado contribuem para a presença de *E.coli*, conforme pode-se perceber através do resultado do distLM aplicado aos grupos tróficos, que indicou a influência da abundância de *E. coli* nestas nascentes. A matéria orgânica particulada, de restos de plantas e animais, mais bactérias fecais, e

excreções, e os organismos vivos (bactérias, microalgas e outros animais), contribuem na interação entre a biota-habitat (Giere, 2009 para revisão), o que deveria favorecer os Nematoda comedores de depósitos e de epistrato, os quais se alimentam de bactérias. Entretanto estes grupos tróficos apresentaram baixos valores de densidade em todas as nascentes, à exceção dos comedores de depósitos na nascente PC. Sugere-se que apesar do que o distLM indica, os percentuais de explicação da variabilidade da abundância dos grupos tróficos pelos parâmetros ambientais medidos, foram considerados baixos para os eixos e outros fatores não medidos, que podem estar se sobrepondo a abundância da *E. coli* e do teor de matéria orgânica nas nascentes. A presença da vegetação nativa em SS, como também da monocultura da cana-de-açúcar em SC pode ter favorecido a presença dos sugadores. Além disto, os mastigadores, como predadores, podem estar controlando a abundância dos outros grupos tróficos.

Moreno et al (2011) sugerem que valores de MI maiores do que 2,4 indicam alta qualidade ambiental. No presente trabalho, os valores de MI indicam que os Nematoda das nascentes são predominantemente colonizadores, de valores de c-p 1, resultando em valores de MI menores do que 0,5 indicando qualidade ambiental pobre em todas as nascentes. No entanto, algumas réplicas das nascentes sem atividades (SS), apresentaram dominância de gêneros de Nematoda, caracterizados como c-p 4 (e.g. *Mesodorylaimus*) e c-p 5 (e.g. *Actinca*), resultando em valores de MI maiores do que 3, que indicam alta qualidade ambiental.

As variáveis ambientais das águas das nascentes, como coliformes e *E. coli*, concentrações de fósforo e de oxigênio dissolvido, apesar de não apresentarem relações significativas com os padrões encontrados para as assembleias de Nematoda, à exceção de *E. coli* para os grupos tróficos, apresentaram concentrações acima do permitido pelos órgãos reguladores do meio ambiente. Todas as nascentes amostradas apresentaram presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, indicando contaminação por humanos e animais, mesmo nas nascentes sem atividades (SS), a proximidade com o meio urbano pode ser reflexo desse resultado nessas nascentes.

## 9 CONCLUSÃO

As nascentes estudadas estão localizadas em área rural onde as principais atividades humanas são o cultivo da cana-de-açúcar e a criação de gado, entretanto outras atividades agrícolas são desenvolvidas, além da proximidade a pequenas cidades. Todos estes agentes de perturbação humana impactam estas nascentes, uma vez que mesmo as nascentes afastadas de atividades de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem apresentaram indicadores de perturbação e baixa qualidade ambiental, como presença de coliformes e *E. coli* e dominância de Nematoda colonizadores. Apesar disto, as nascentes SS apresentam indicadores de maior qualidade ambiental como maiores abundâncias, riqueza taxonômica e diversidade trófica, sugerindo que as atividades de agropecuária são prejudiciais a qualidade ecológica das nascentes.

As nascentes do rio Piauí sem atividades de pastagens, apresentaram estrutura das assembleias de Nematoda diferentes das outras nascentes, corroborando com a hipótese proposta inicialmente. Assim, sugere-se aumentar o esforço de coleta para investigar melhor os impactos humanos em nascentes de rios.

## 10 REFERÊNCIAS

- ALVES, A. S. Benthic meiofauna as indicator of ecological changes in estuarine ecosystems: **The use of nematodes in ecological quality assessment**. Ecological Indicators 24: 462–475, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X12002786?via%3Di> hub. Acesso em: 15 mar. 2023.
- AQUATESTE COLI. **Substrato para detecção quantitativa e qualitativa de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água**. Laborclin, 172038 Rev. 09 – 05. 2018. Disponível em: <https://www.laborclin.com.br/wp-content/uploads/2023/03/172038.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.
- BEIER, S.; Traunspurger, W. **Seasonal distribution of free-living nematodes in Kra'henbach, a fine-grained submountain carbonate stream in southwestern Germany**. Nematology 5: 113–136. 2003.
- BERT, W. et al. **Nematode communities of small agricultural lakes**. Hydrobiology 583:91–105, 2007. DOI 10.1007/s10750-006-0485-5. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/226685264\\_Nematode\\_communities\\_of\\_small\\_farmland\\_ponds](https://www.researchgate.net/publication/226685264_Nematode_communities_of_small_farmland_ponds). Acesso em: 17 ago. 2023.
- BONGERS, T. The maturity index: **an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition**. Oecologia 83, 14–19. 1990.
- \_\_\_\_\_. Ferris, H. **Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring**. Trends in Ecology & Evolution 14, 224–228. 1999.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 15 jan. 2023.
- BRÜCHNER-HÜTTEMANN, H.; Traunspurger, W. **Seasonal distribution of abundance, biomass and secondary production of free-living nematodes and their community composition in different stream micro-habitats**. Nematology 22: 401-422. 2020.
- CALHEIROS, R. O. et al. Cadernos da Mata Ciliar n. 1: **preservação e recuperação das nascentes, de água e vida**. São Paulo: SMA, 2009.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **MANUAL PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS PARA O LICENCIAMENTO COM AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL**. 2014. Disponível em: <https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/cetesb/documentos/Manual-DD-217-14.pdf>. Acesso em: jun. 2023.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO. Apêndice E: Relação de variáveis por ponto de amostragem da Rede Básica**. 2013.

COLIJN, F.; DIJKEMA, K. S. **Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll a on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea.** Mar. Ecol. Prog. Ser. 4:9-21, 1981.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcdaltrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 14 abr. 2022.

Core Team. R: **A Language and Environment for Statistical Computing.** R\_Foundation for Statistical Computing, Austria, 2022.

COULL, B. C. **Are members of the meiofauna food for higher trophic levels?** Transactions of American Microscopical Society, 109(3):233-246, 1990.

DE GRISSE, A. T. **Redescription ou modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nématodes phytoparasitaires.** Mededelingen Rijks Faculteit Landbouwwetenschappen Gent, 34: 251–369, 1969.

DIAS, M. et al. Manual de Impactos Ambientais: **orientações básicas sobre ambientais de atividades produtivas.** Fortaleza: Banco do Nordeste, 297. 1999.

EYUALEM, A.; Andrásy, I.; Traunspurger, W. Freshwater nematodes: **ecology and taxonomy.** edited by CABI Publishing. 2006.

FOLK, R.L.; WARD, W. C. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters.** J. Sediment. Petrol. 27:3-26, 1957.

FOURNIER, J.; GALLON, R. K.; PARIS, R. **G2Sd: a new R package for the statistical analysis of unconsolidated sediments.** Geomorphologie: relief, processus, environnement, 1:73-78, 2014.

GHESKIERE, T. Nematode Assemblages from European Sandy Beaches: **Diversity, Zonation Patterns and Tourist Impact.** Ph.D. thesis. Ghent University, Belgium. 2005.

GIERE, O. **Meiobenthology. The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments.** 2nd Edition, University of Hamburg. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.

GIERE, O. Meiobenthology: **The microscopic motile fauna of aquatic sediments.** 2ª ed. Springer-Verlag, Berlim. 2009.

GRAHAM, M.H.; Haynes, R.J. 2006. **Organic matter status and size, activity and metabolic diversity of the soil microbial community in the row and inter-row of sugarcane under burning and trash retention.** Soil Biology & Biochemistry, 38:21-31.

GREENBERG, A. E.; Clesceri, L. S.; Eaton, A. D. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18rd ed. American Public Health Association, 1992.

HANSEN, H. H.; et al. **Resilient rivers and connected marine systems: a review of mutual sustainability opportunities**. *Global Sustainability*, 6(2): 1–19, 2023.

HEININGER, P., et al. **Nematode communities in contaminated river sediments**. *Environmental Pollution*. 146:64-76, 2007.

HEINNINGER, P. et al. **Nematode communities in contaminated river sediments**. *Environmental Pollution*. 146:64 – 76, 2007.

HEIP, C. H. R. **The ecology of marine nematodes**. *Oceanography and Marine Biology*, 23:399-489, 1985.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. **Simultaneous Inference in General Parametric Models**. *Biometrical Journal* 50(3): 346—363, 2008.

JENKINS, W.R. **A Rapid Centrifugal-Flotation Technique for Separating Nematodes from Soil**. *Plant Disease Report*, 48: 692. 1964.

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

LORENZEN, C. J. **Determination of chlorophyll and phaeopigments\_spectrophotometric equations**. *Limnology and Oceanography*, 12:343–346.1967.

MAJDI, N.; TRAUNSPURGER, W. **Free-Living Nematodes in the Freshwater Food Web: A Review**. *J Nematol. Mar*; 47(1): 28–44. 2015. PMID: PMC4388577.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. *Porto Alegre*, 3:42002.

MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura**. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, 3 (4):33-38, 2002.

MICHAELA, S.; JEROEN, I. Meiofauna matters: **The roles of meiofauna in benthic ecosystems**. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 502: 12-25. 2018.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA Nº 1.469, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: [https://crfce.org.br/wp-content/uploads/2018/09/Revoga-a-Portaria-n%C2%BA-1469-de-29\\_12\\_2000..pdf](https://crfce.org.br/wp-content/uploads/2018/09/Revoga-a-Portaria-n%C2%BA-1469-de-29_12_2000..pdf). Acesso em: abr. 2022.

NEHER, D. A.; DARBY, B. J. Freshwater Nematodes: Ecology and Taxonomy - Computation and Application of Nematode Community Indices: **General Guidelines**. 211:222, 2006.

NUNES, A. N.; ALMEIDA, A. C.; COELHO, C. O. A. **Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal**. Applied Geography, 31:687-699, 2011.

OBERNDORFER, E. C.; Lundholm, J. T. **Species richness, abundance, rarity and environmental gradients in coastal barren vegetation**. Biodivers Conserv., 18:1523–1553. 2009.

PIEPENBURG, D. Recent research on Arctic benthos: **common notions need to be revised**. 1922: Polar Biol 28: 733–755. 2005. <https://doi.org/10.1007/s00300-005-0013-5>.

PINTO, T. K. et al. Free-living freshwater nematodes from Brazil: **checklist of genera and regional patterns of diversity**. Nematology 3(2): 1 – 14. 2021.

\_\_\_\_\_. Bemvenuti, C. E. **Changes in Nematoda community structure related to sewage discharge**. Brazil. Journal of Coastal Research SI 39. SSN0749-0208. 2004.

RISTAU, K., SPANN, N., TRAUNSPURGER, W. **Species and trait compositions of freshwater nematodes as indicative descriptors of lake eutrophication**. Ecological Indicators, 53: 196–205. 2015.

SCHRATZBERGER, M.; INGELS, J. Meiofauna matters: **The roles of meiofauna in benthic ecosystems**. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 502: 12–25. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.007>.

SHANNON, C. E.; Weaver, W. **The mathematical theory of communications**. 1st edn. University of Illinois Press, Urbana. 1963.

SILVA, T. S. S. et al. **Diagnóstico ambiental de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Piauí, Alagoas**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 13(3):399-403, 2018. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5844>. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/5844>. Acesso em: 19 ago. 2021.

SOETAERT, K. et al. **Size and shape of ocean margin nematodes: morphological diversity and depth-related patterns**. Mar Ecol Prog Ser, 242:179–193. 2002.

SOUZA, P.A. et al. **Metodologias de avaliação de impactos ambientais da APP, Rancho Tutty Falcão Gurupi-TO**. Enciclopédia Biosfera, 13( 24): 2016.

SUGUIO, K. Introdução à Sedimentologia. Edgard Blucher, São Paulo, 318p. 1973.

TRAUNSPURGER, W. **Bathymetric, Seasonal and Vertical Distribution of Feeding-Types of Nematodes in an Oligotrophic Lake**. Vie et Milieu / Life &

Environment, Observatoire Océanologique - Laboratoire Arago, 1-7, 1997. hal-03103468.

TRAUNSPURGER, W. Ecology of freshwater nematodes. In: Schmidt-Rhaesa, A. (Ed.). Handbook of zoology: **Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera**, 2: Nematoda. 2014.

\_\_\_\_\_. **Meiobenthos** – Sedimentbewertung anhand der Nematoden. In: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (ed) Kleinseen in Bayern –Ökologische Bewertung von Freiwasser, Sediment, Ufer und Einzugsgebiet, Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, München, Heft 1/01, pp. 124–150. 2001.

\_\_\_\_\_. MAJDI, N. Ecology of Freshwater Nematodes: **Species Composition and Distribution of Free-living Nematodes in Lakes and Streams**, Cap 3, 58 – 108. 2021. DOI: 10.1079/9781789243635.0003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/353498446\\_Species\\_composition\\_and\\_distribution\\_of\\_free-living\\_nematodes\\_in\\_lakes\\_and\\_streams](https://www.researchgate.net/publication/353498446_Species_composition_and_distribution_of_free-living_nematodes_in_lakes_and_streams). Acesso em: 20 jun. 2023.

USEPA. **Guidelines for Ecological Risk Assessment**. 1998. Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/guidelines-ecological-risk-assessment>. Acesso em: jun. 2023.

VENZEL, S. M., et al. **Revitalização de nascentes**. Natureza online, Instituto Federal do Espírito Santo, 14(2):1-6, 2016.

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392. <https://doi.org/10.1086/622910>.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological Analyses. second ed. Springer Verlag**, 338 p, 1990.

ZEPILLI, D. et al. **Is the meiofauna a good indicator for climate change and anthropogenic impacts?** *Mar Biodiv* 45: 505–535. 2015. <https://doi.org/10.1007/s12526-015-0359-z>.

ZULLINI, A. NEMATODI D'ACQUA DOLCE: **Manuale di identificazione al genere e metodi di raccolta**. *Rivista del Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale*,35(2): 254. 2021. ISSN 2611-5182.

## 11 ESPECTRO DE TAMANHO DAS ASSEMBLEIAS DE NEMATODA DE ÁGUA DOCE EM NASCENTES SUJEITAS AO IMPACTO DE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS

### Resumo

Diferentes impactos ocorrem frequentemente nas nascentes, as quais estão, em grande parte, localizadas em áreas de exploração humana, como zonas rurais. Os Nematoda de vida livre são excelentes bioindicadores de distúrbios ambientais e seu tamanho corpóreo é um traço biológico que pode responder às características abióticas e biológicas dos ecossistemas, capaz de diagnosticar diferentes tipos de impacto. Aqui, investigamos a distribuição de tamanho das assembleias de Nematoda e verificamos as relações com as variáveis ambientais e biológicas em nascentes próximas de atividade de pastagem bovina e cultivo de cana-de-açúcar. Testando as hipóteses de que: I) a razão Comprimento total/Largura máxima do corpo (C/L) responde as alterações em características físico-químicas e biológicas do ambiente, diferindo entre nascentes com e sem influência de atividades de agropecuária. Foram coletados Nematoda em 16 nascentes com e sem influência de atividades de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem bovina, além de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água e dos sedimentos. Todos Nematoda tiveram seus comprimento total (C) e largura máxima do corpo (L) medidos para cálculo da razão C/L. Os resultados encontrados indicam que os Nematoda das nascentes apresentaram maiores valores de comprimento e largura do que a média encontrada em outros ambientes de água doce, apresentando distribuição de tamanho bimodal, resultando em dois morfotipos, porém em classes de tamanho diferentes do que o já registrado para ambientes marinhos e estuarinos. Foram identificadas alterações na morfometria das assembleias de Nematoda relacionadas a assimetria dos sedimentos e a vazão de água. Sugere-se condições de impacto por atividades de pastagem e cultivo de cana-de-açúcar através da variação nos valores de C/L, entre nascentes com e sem influência das atividades agropecuárias, concluindo-se que a razão C/L é uma boa métrica na detecção de perturbações humanas em ambientes de água doce.

**Palavras-chave:** perturbações humanas; morfometria; cana-de-açúcar; pastagem.

## 12 Introdução

Os ecossistemas de água doce são considerados os mais ameaçados em todo o mundo (Nogueira et al. 2010). A degradação crescente das bacias hidrográficas devido a questões como o aumento populacional, o crescimento do consumo e a rápida globalização, é um problema global que vem impactando diversos serviços ecossistêmicos, incluindo serviços de provisão como o fornecimento de água de qualidade (Abell et al. 2008, Tong et al. 2023). Apesar das águas doces abrigarem uma grande parte da diversidade do planeta, apresentarem altas taxas de endemismo, fornecerem serviços ecossistêmicos imprescindíveis e estarem sob grande ameaça,

os esforços de conservação de sistemas de água doce são considerados escassos, especialmente em termos de escala local (Abell et al. 2008, Nogueira et al. 2010). A ausência de estudos em menor escala nas bacias hidrográficas impossibilita ações locais, prejudicando esforços de conservação (Nogueira et al 2010).

O estudo dos traços biológicos é considerado uma ferramenta promissora para entender os impactos das perturbações humanas nos ecossistemas de água doce (Ristau et al. 2015). Entender como os traços biológicos destes organismos respondem a perturbações ambientais, naturais ou provocadas pelo homem, é um dos principais objetivos ecológicos da atualidade, que permite prever alterações causadas por impactos locais e mudanças globais, além de dar suporte a ações de manejo e estratégias de conservação (Laliberté e Legendre 2010, Villegger et al. 2017). O tamanho do corpo, é um traço biológico de grande significância ecológica uma vez que pode estar relacionado a diferentes processos como relações tróficas, tolerância ao estresse químico, taxas metabólicas e vulnerabilidade à predação, além de influenciar padrões de distribuição e biogeografia dos organismos (Schratzberger et al. 2007; Armenteros e Ruiz-Abierno, 2015). Além disto, é um traço fundamental que regula outros traços e conseqüentemente está envolvido no funcionamento do ecossistema de forma geral (Woodward et al. 2005).

Alguns trabalhos a respeito do espectro de tamanho das assembleias de Nematoda são conhecidos para habitats marinhos e estuarinos (Soetaert et al. 2002, 2009; Vanaverbeke, Soetaert e Vincx 2004; Tita et al. 1999; Udalov, Azovsky & Mokievsky, 2005; Losi et al. 2013, (Materatski et al. 2018). Apesar destas pesquisas terem demonstrado o potencial dos atributos morfométricos dos Nematoda como indicadores de condições ecológicas e perturbações ambientais, estudos com este enfoque ainda são baseados em métricas taxonômicas tradicionais e pouco se sabe sobre os atributos morfofuncionais dos Nematoda em resposta aos parâmetros ambientais (Sroczynska et al. 2021). Os Nematoda de vida livre participam de processos ecológicos, tróficos e sedimentares, estimulando a ciclagem de nutrientes, regulando processos microbianos e mantendo a saúde dos ecossistemas aquáticos (Montanara et al. 2022). Entretanto, o conhecimento dos Nematoda de água doce é restrito a poucas regiões do planeta, apresentando lacunas de dimensões continentais (Montanara et., al 2022). Além destas lacunas, apesar do uso das características das assembleias de Nematoda como indicadora de perturbações ambientais nos ecossistemas de água doce ser um enfoque que vem sendo utilizado desde a década

de 70, não há consenso a respeito de uma métrica que possa ser amplamente utilizada (Ristau et al. 2015).

Alguns autores investigaram relações entre o comprimento total (C) e o diâmetro máximo do corpo (L) dos Nematoda marinhos, considerando que esta relação pode distinguir diferentes morfotipos (Ratzimbasafy et al. 1994, Tita et al. 1999, Soetaert et al. 2002, Vanaverbeke et al. 2002). Estes autores detectaram a predominância de dois morfotipos nas assembleias estudadas: robustos, que são pequenos e largos com valores para a razão  $C/L < 15$ , e delgados, compridos e finos com  $C/L > 15$  (Soetaert et al. 2002). A expressão da forma dos Nematoda pode estar relacionada a aspectos evolutivos, como também refletir adaptações ao ambiente sedimentar, onde os morfotipos respondem as características dos sedimentos e as guildas tróficas (Ratzimbasafy et al. 1994, Tita et al. 1999), e são capazes de refletir gradientes e alterações ambientais (Soetaert et al. 2002, Vanaverbeke et al. 2002).

Alguns trabalhos com enfoque funcional foram realizados para Nematoda de água doce utilizando multi-traços, incluindo o tamanho do corpo (Ristau et al. 2015, Franzo e Del Negro, 2019). No entanto, até o momento, o estudo dos aspectos morfológicos dos Nematoda em sistemas de água doce e o uso desta característica como indicador para detecção de perturbações ambientais não são conhecidos (Ristau et al. 2015).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o espectro de tamanho dos Nematoda de água doce, com foco na razão comprimento total/diâmetro máximo do corpo (C/L), testando a hipótese de que: a razão Comprimento total/Largura máxima do corpo (C/L) responde as alterações em características físico-químicas e biológicas do ambiente, diferindo entre nascentes com e sem influência de atividades de agropecuária

## **13 Materiais e Métodos**

### **13.1 Área de estudo e coleta de dados**

Esse trabalho foi realizado em nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí (Fig. 15), localizada na região sul do estado de Alagoas. O Rio Piauí apresenta uso do solo predominantemente referente ao plantio de cana-de-açúcar (28,46%), solo exposto (26,34%) e pastagem em área úmida (18,85%), além de atividades em menor escala

como plantio de coco (4,10%), e poucas áreas de remanescente de mata atlântica (3,80%) (Silva et al. 2018).

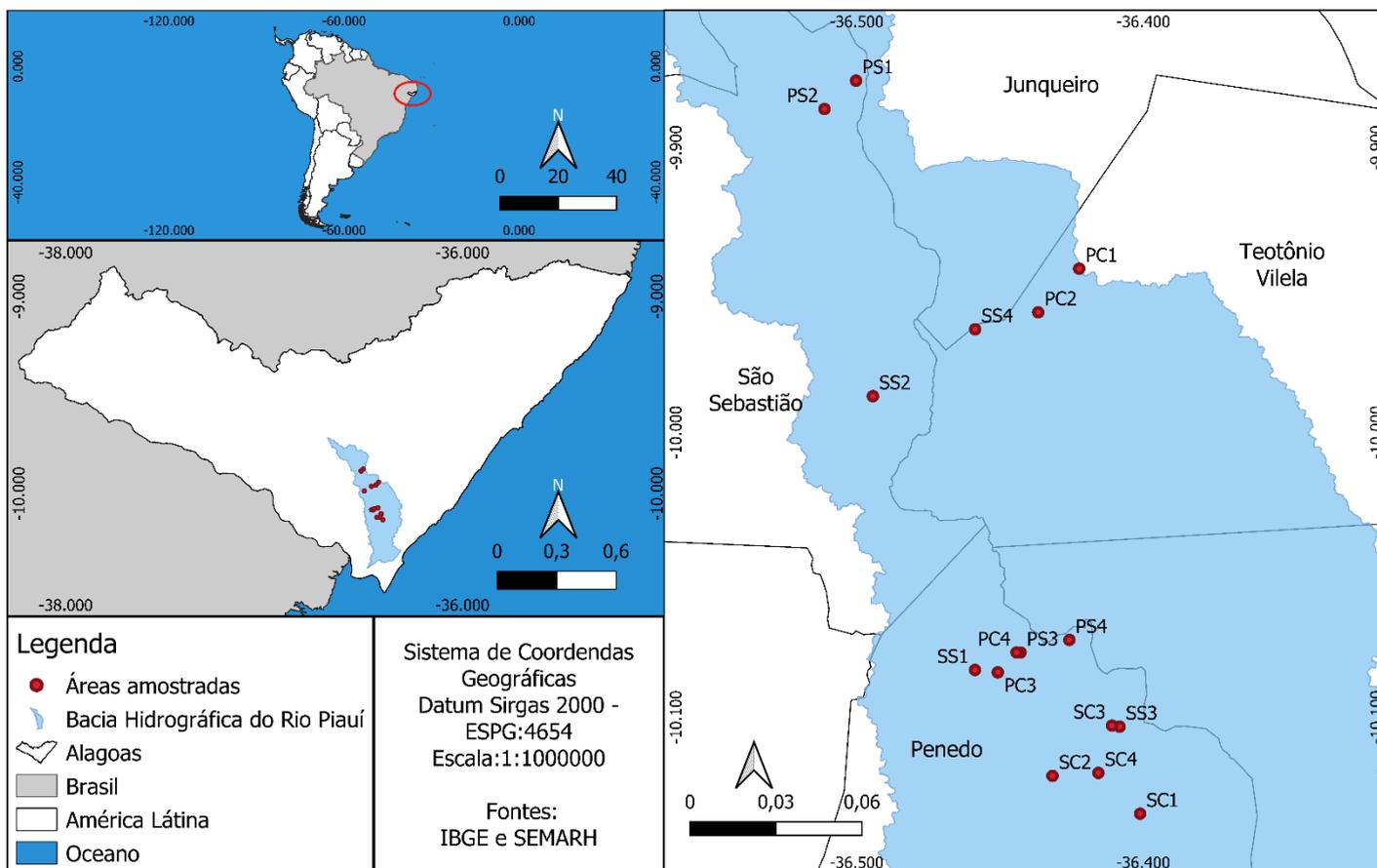


Fig. 15: Área de estudo evidenciando as nascentes estudadas na Bacia Hidrográfica Rio Piauí, Alagoas, Brasil. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= com pastagem e com cana-de-açúcar). Fonte: Autor.

Foram investigadas nascentes sem influência de atividades de cultivo de cana-de-açúcar e nem de pastagem de gado (SS), nascentes sob influência de cultivo de cana-de-açúcar e sem influência de pastagens (SC), nascentes sem influência de cultivo de cana-de-açúcar e sob influência de pastagens (PS) e nascentes em locais sob influência destas duas atividades (PC). Estes quatro tipos de nascentes foram coletados em quadruplicata, totalizando 16 nascentes investigadas.

Em cada nascente foram coletadas amostras de sedimento para estudo dos Nematoda, granulometria dos sedimentos e cálculo do teor de matéria orgânica e de concentrações de mercúrio. Foram também coletadas amostras de água para cálculo da concentração de nutrientes inorgânicos: amônia, nitrato, nitrito e fosfato, número mais provável de coliformes totais e *Escherichia coli*. Todas estas amostras foram

realizadas em triplicata. Foram ainda mensurados parâmetros físico-químicos da água utilizando uma sonda multiparâmetros, tais como pH, concentração de oxigênio dissolvido e condutividade.

Para detalhes do delineamento amostral e todo o procedimento de coleta de dados e amostras em campo e processamento em laboratório, ver o Capítulo 1 desta dissertação.

### **13.2 Nematoda**

As amostras foram lavadas em água corrente utilizando um jogo de 2 peneiras sendo a superior de malha de 500  $\mu\text{m}$  para separar o excesso de material vegetal do sedimento, e a inferior de 24  $\mu\text{m}$ . Devido a grande quantidade de sedimento retido na peneira inferior, foi utilizado ainda o método de flotação utilizando Sacarose (Jenkins, 1964) para maximizar a extração dos Nematoda. O processo de flotação foi repetido por até cinco vezes em amostras com muita quantidade de sedimentos.

O sobrenadante foi vertido em peneira de 24  $\mu\text{m}$  e o material retido foi levado a placa de Dolffus sob estereomicroscópio para contagem e retirada de todos os Nematoda. Os espécimes foram diafanizados (De Grisse, 1969) e montados em lâminas permanentes em glicerina. Utilizando microscópio óptico Olympus Cx31 e tubo de desenho, os espécimes foram classificados quanto ao estágio ontogenético em juvenil, macho, e fêmea, e medidos em relação ao seu comprimento total (C) e diâmetro máximo do corpo (L) com o auxílio de um curvímetro, para cálculo da razão C/L.

A frequência de ocorrência de classes de valores de C/L foi calculada separadamente para juvenis e adultos, utilizando a regra da raiz quadrada (Portella et al. 2015), onde  $k=\sqrt{n}$  e  $a=L_s-L_i/k$ , onde  $k$ =número de classes,  $n$ =número total de observações,  $a$ =amplitude de classes,  $L_s$ =maior valor observado e  $L_i$ =menor valor observado.

### **13.3 Análise de dados**

Com o objetivo de comparar os valores da razão C/L dos adultos entre as diferentes nascentes, uma análise de modelos lineares generalizados (GLM) foi aplicada a estes dados, utilizando uma distribuição gaussiana, tendo nascentes como fator preditivo. Em caso de diferenças significativas, o teste de Tukey para

comparação de médias foi aplicado. Estas análises foram aplicadas através do pacote *multcomp* (Hothorn et al. 2008) do ambiente R utilizando as funções *glm* e *glht*.

Para verificar a influência dos parâmetros ambientais medidos na razão C/L, em relação as diferentes nascentes, foi aplicada uma análise de Modelo linear baseado em Distâncias (DistLM) aos dados de frequência de ocorrência das classes de C/L, a partir de uma matriz de similaridade de distâncias euclidianas utilizando o procedimento *stepwise* e critério de seleção AICc. Uma análise de redundância baseada em distâncias (dbRDA) foi aplicada ao melhor modelo proposto pela DistLM para apresentação gráfica dos resultados. Todas estas análises foram aplicadas utilizando o pacote Primer 6+Permanova.

## 14 RESULTADOS

### 14.1 Parâmetros Ambientais

As nascentes apresentaram salinidades menores que 1. A água das nascentes apresentou valores de abundância de Coliformes Totais que variaram entre 8,46 ( $\pm 0,0$ ) e 8,50 ( $\pm 0,14$ ) NMP/100 mL e *E.Coli* de 8,01 ( $\pm 1,70$ ) a 5,60 ( $\pm 3,64$ ) NMP/100mL. O Nitrogênio Amoniacal variou de 1,08 ( $\pm 0,44$ ) a 1,43 ( $\pm 1,44$ mg/L), o Nitrato 5,13 ( $\pm 5,95$ ) e Nitrito de 1,24 ( $\pm 1,95$ ) mg/L, e para o Fósforo de 1,51 ( $\pm 1,70$ ) a 5,92 mg/L. O OD ocorreu com baixa variação de 6,02 ( $\pm 1.42$ ) a 7,38 mg/L, e o pH de 5,81 a 6,20. e as temperaturas entre 26 e 30°C. SS foi a única nascente com alta vazão de água ( $0.51 \pm 0.62$ ) L/s (Tab. 6).

Os sedimentos das nascentes SS, SC e PS apresentaram classificação de areias médias, pobremente selecionadas, simétricas e mesocúrticas, sem nenhuma tendência dos grãos, e o oposto para PC, onde os sedimentos apresentaram classificação de areia fina, pobremente selecionada com assimetria para o lado dos finos (Tab. 6). O mercúrio ocorreu entre 0,01 e 0,02 mg/Kg, e o teor de matéria orgânica de 0,92 ( $\pm 0,32$ ) a 4,29 ( $\pm 4,67$ ), a clorofila-a variou de 53,16 e 321,87 ( $\pm 374,46$ ) g/cm<sup>2</sup> (Tab. 7).

Nascente	SS	SC	PS	PC
<b>Coli totais NMP/100mL</b>	8,50 $\pm$ 0,00	8,50 $\pm$ 0,00	8,46 $\pm$ 0,14	8,50 $\pm$ 0,00
<b><i>E. Coli</i> NMP/100mL</b>	8,01 $\pm$ 1,70	6,23 $\pm$ 3,31	5,60 $\pm$ 3,64	6,11 $\pm$ 3,56

<b>Nitrogênio Amoniacal mg/L</b>	1,10±0,64	1,24±0,81	1,08±0,44	1,43±1,44
<b>Nitrato mg/L</b>	5,13±5,95	2,90±3,49	3,68±6,38	4,86±3,10
<b>Nitrito mg/L</b>	1,24±1,95	0,11±0,29	0,02±0,05	0,01±0,02
<b>Fósforo mg/L</b>	1,51±1,70	2,14±3,71	2,55±2,46	5,92±15,23
<b>OD mg/L</b>	6,02±1,42	7,31±2,38	6,48±1,92	7,16±2,10
<b>pH</b>	6,20±0,41	6,12±0,64	5,81±0,41	5,92±0,92
<b>Salinidade</b>	0,12±0,08	0,04±0,01	0,13±0,05	0,03±0,01
<b>T °C</b>	28,15±1,80	30,68±4,11	27,50±0,63	30,85±2,10
<b>Vazão (L/s)</b>	0,51±0,62	0,06±0,10	0,07±0,10	0,01±0,02

Tab. 6: Médias ( $\pm$ desvio padrão) das variáveis ambientais analisadas das águas das nascentes do Rio Piauí, AL, (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar),

<b>Nascente</b>	<b>SS</b>	<b>SC</b>	<b>PS</b>	<b>PC</b>
<b>Mercúrio mg/kg</b>	0,02±0,01	0,02±0,02	0,02±0,01	0,01±0,02
<b>Clorofila g/cm<sup>2</sup></b>	321,87±374,46	53,16±172,56	128,45±297,74	189,06±337,44
<b>MO g</b>	1,02±0,98	4,29±4,67	1,73±1,04	0,92±0,32
<b>Grão mm</b>	0,26±0,19	0,31±0,33	0,54±0,63	0,23±0,06
<b>Seleção</b>	2,55±0,56	2,59±0,62	2,86±0,26	2,59±0,41
<b>Assimetria</b>	-0,04±0,25	0,03±0,23	0,08±0,11	-0,03±0,05
<b>Curtose</b>	1,01±0,20	0,93±0,24	0,92±0,17	1,01±0,22

Tab. 7: Médias ( $\pm$ desvio padrão) das variáveis ambientais analisadas dos sedimentos das nascentes do Rio Piauí, AL. (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

## 14.2 Assembleias de Nematoda

No total, 515 espécimes tiveram os seus comprimentos totais do corpo (C) e larguras máximas medidos (L). As assembleias de Nematoda das nascentes foram dominadas por juvenis, chegando a 64 e 58% dos indivíduos nas nascentes sem pastagem, SC e SS, respectivamente. Apenas em PC a proporção de adultos foi maior, chegando a 63% dos indivíduos nas amostras (Fig. 16A). Dentre os adultos, os machos foram muito raros, sendo registrados apenas nas nascentes sem pastagem com valor máximo de 10% dos adultos em SS (Fig. 16B). Fêmeas grávidas dominaram SS com valores de abundância relativa de 80% dos adultos nas amostras.

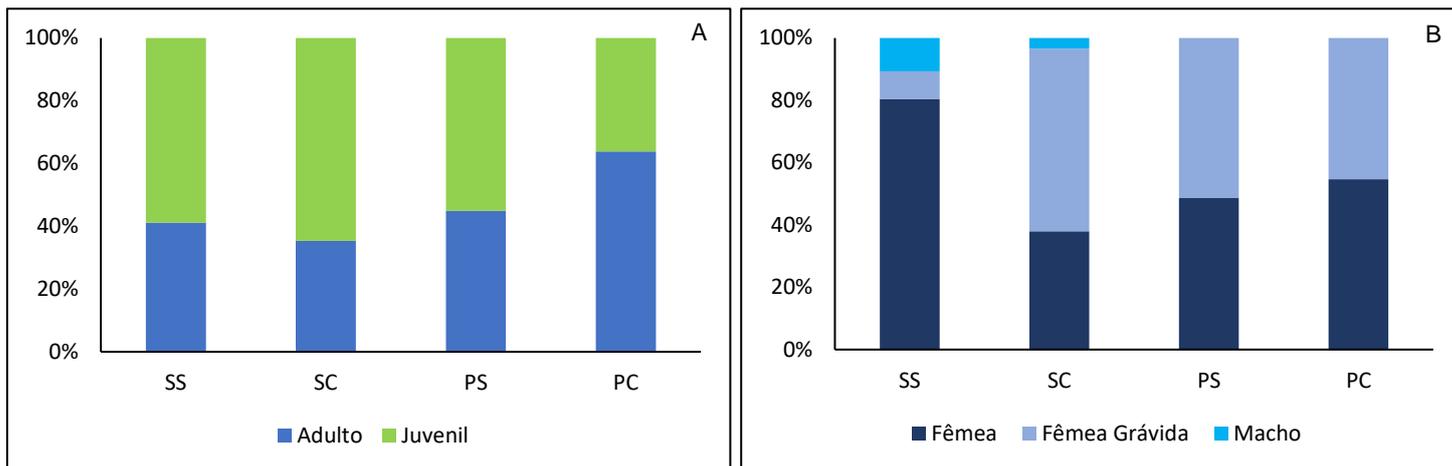


Fig. 16: Proporção (%) de adultos e juvenis (A) e dentre os adultos, de fêmeas, fêmeas grávidas e machos (B) das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).

Os valores de C dos adultos variaram de 20,28 mm a 554,76 mm ( $124,84 \pm 66,12$ ) e os valores de L de 0,67 mm a 25,47 mm ( $3,71 \pm 2,54$ ). As fêmeas apresentaram valores de C entre 38,86, e 554,76 mm ( $133,70 \pm 4,08$ ), e de L de 0,67 a 15,21 mm ( $67,19 \pm 2,66$ ). Para as fêmeas grávidas os valores de C variaram entre 60,30 e 313,56 ( $125,37 \pm 4,09$ ) e de L, entre 0,67 e 8,04 mm ( $52,68 \pm 1,86$ ). Os machos apresentaram valores de C entre 20,28 e 160,8 mm ( $122,06 \pm 3,43$ ) e de L entre 1,34 a 8,04 mm ( $40,44 \pm 2,38$ ). Para os juvenis os valores de C variaram de 21,44 a 400,80mm ( $120,30 \pm 3,44$ ) e de L, de 0,67 a 16,70mm ( $67,19 \pm 2,66$ ) (Fig. 17).

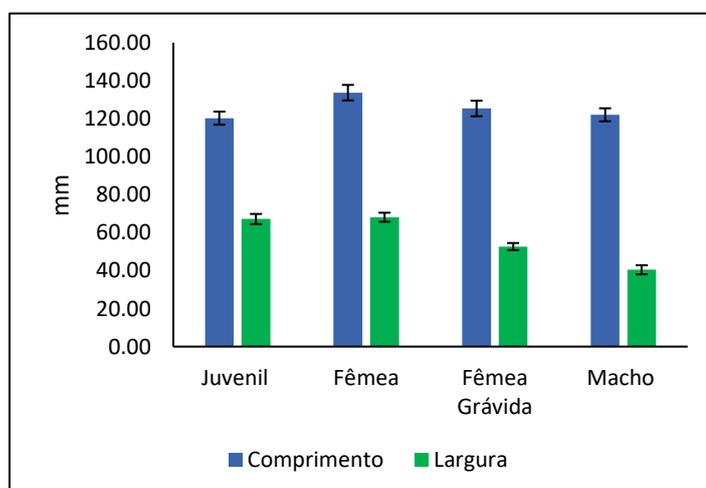


Fig. 17: Valores médio do Comprimento Total e Largura Máxima do Corpo s de juvenis, fêmeas, fêmeas grávidas e machos das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas.

O valor médio da razão C/L para os adultos foi maior em SS, 47,40 ( $\pm 32,83$ ), variando de 31,62 ( $\pm 17,35$ ) a 40,56 ( $\pm 32,81$ ) nas outras nascentes (Fig. 18), diferindo significativamente entre SS e SC ( $p < 0,01$ ) e SS e PS ( $p = 0,01$ ).

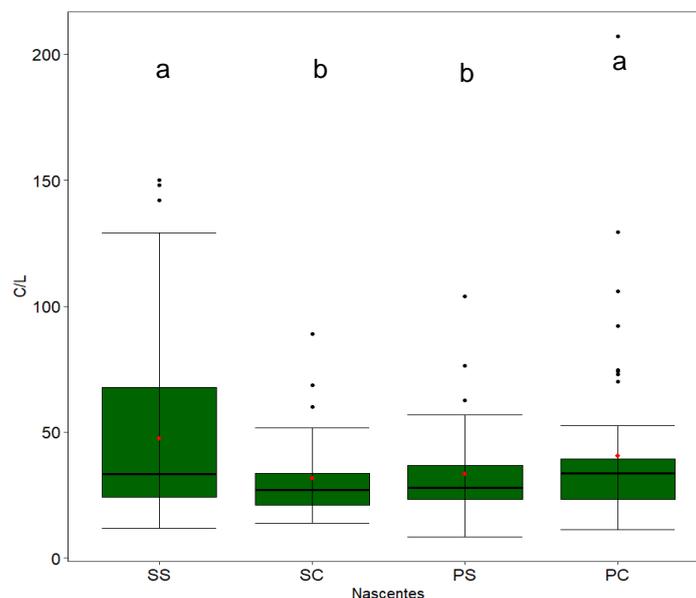


Fig. 18: Razão Comprimento/Largura (C/L) de adultos das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas (SS= Sem cana-de-açúcar e sem pastagem, SC= Sem cana-de-açúcar, com pastagem, PS= Com pastagem, sem cana-de-açúcar e PC= Pastagem e cana-de-açúcar).(Pontos vermelhos=médias, linhas horizontais pretas=mediana, caixas=1º e 3º quartis, bigodes=mínimos e máximos, pontos pretos=outliers)(letras diferentes indicam diferenças significativas,  $p < 0,05$ ).

A distribuição das classes de C/L dos Nematoda de todas as nascentes indica uma distribuição bimodal, com maior abundância nas menores classes, e uma frequência de ocorrência de 29 e 39% nas classes de 8,00-25,23 e 25,24-43,07, respectivamente. A partir daí, a frequência de ocorrência diminuiu gradativamente (Fig. 19).

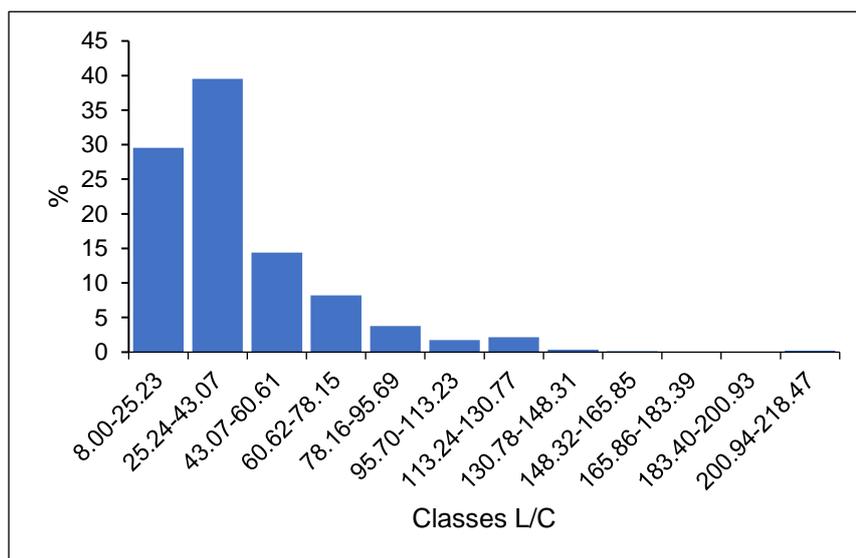


Fig. 19: Distribuição de frequência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos do total das assembleias de Nematoda nas nascentes do Rio Piauí, Alagoas.

A distribuição de tamanho de C/L dos adultos em cada uma das nascentes separadamente apresentou os maiores valores nestas mesmas duas primeiras classes de tamanho 8,00-25,23 e 25,24-43,07. Em SS a frequência de ocorrência dos Nematoda nas duas primeiras classes chegou a valores de 28 e 22% de frequência de ocorrência, com registros nas 8 primeiras classes (Fig. 20A). Em SC a frequência de ocorrência de Nematoda com C/L nas duas primeiras classes foi de 48 e 34%, e registros nas 5 primeiras classes (Fig. 20B). Em PS estes valores foram de 35 e 44%, e registros de indivíduos nas 5 primeiras classes (Fig. 20C). Em PC os valores foram de 30 e 50% para as duas primeiras classes respectivamente, 8 registros nas primeiras classes e um indivíduo com C/L no intervalo de 200,94-218,47 (Fig. 20D).

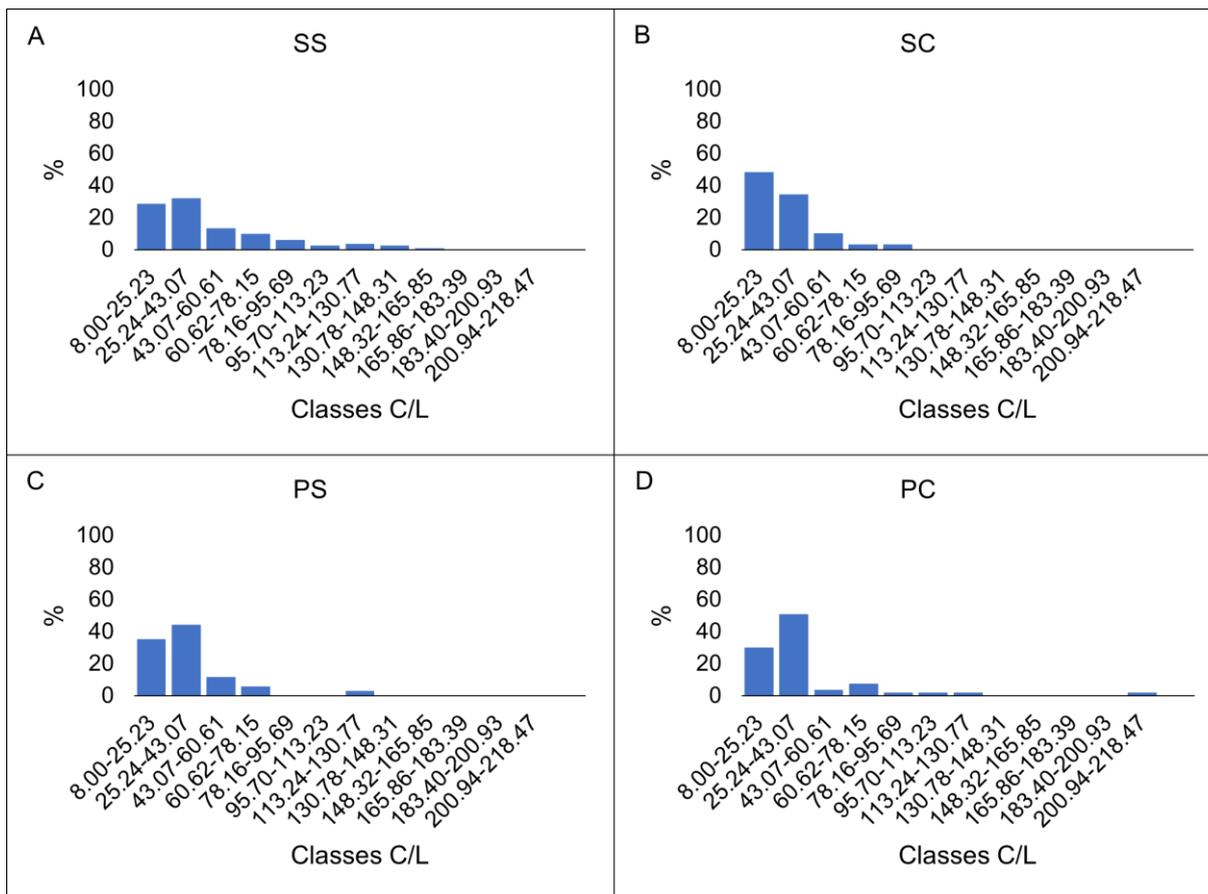


Fig. 20: Distribuição de frequência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos das assembleias de Nematoda em cada uma das nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Piauí, Alagoas.

O melhor modelo proposto pela análise de DistLM resultou em um percentual de explicação da frequência de C/L, pelos parâmetros ambientais medidos de 42,1% levando em consideração os dois primeiros eixos da análise de dbRDA (Fig. 21). O eixo 1 que explicou 40,6% da variação, separa as nascentes em dois grupos em função principalmente da menor assimetria, e menor grau de selecionamento dos grãos em SS, e maior assimetria nas demais nascentes SC, PS e PC. O eixo 2, que explica 1,5% da variação separou as nascentes por maiores valores de vazão em SS. Resultado significativo nos testes sequenciais foram encontrados apenas para vazão (Tab. 8), indicando que esse parâmetro influenciou a distribuição de C/L das assembleias de Nematoda, onde maiores valores de vazão resultaram em maiores valores de C/L nesta nascente.

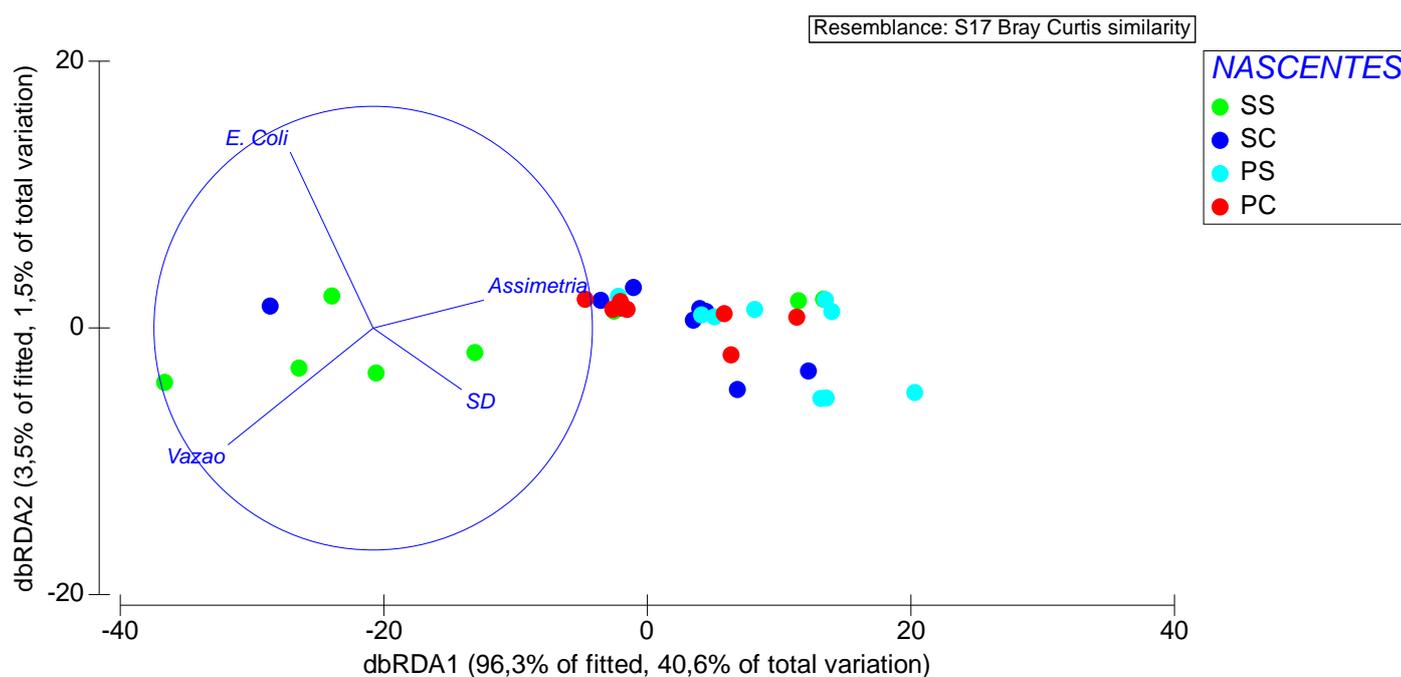


Fig. 21: Análise de Redundância Baseada em Distâncias (dbRDA) à partir dos resultados do Modelo Linear Baseado em Distâncias (distLM) aplicada aos dados de frequência de ocorrência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos das assembleias de Nematoda nas nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Piauí, Alagoas.

Testes sequenciais		
Variável	Pseudo-F	P
Assimetria	29.509	0.078
Vazão	60.903	0.014*

Tab. 8: Análise de Redundância Baseada em Distâncias (dbRDA) a partir dos resultados do Modelo Linear Baseado em Distâncias (distLM) aplicada aos dados de frequência de ocorrência da razão Comprimento/Largura (C/L) dos indivíduos adultos das assembleias de Nematoda nas nascentes da Bacia Hidrográfica do rio Piauí, Alagoas. \*=diferenças dignificativas  $p < 0.05$ .

## 15 DISCUSSÃO

As assembleias estiveram formadas predominante por espécimes juvenis, seguido por adultos, frequentemente fêmeas e machos raros. A alta ocorrência de juvenis é comum em água doce (Abebe et al, 2001), como também de fêmeas (Michiels e Traunspurger, 2005). A ausência de espécimes machos em ambientes de água doce pode ser explicada pelo modo de reprodução predominante nas assembleias de Nematoda destes ecossistemas, a partenogênese (Schierenber e Sommer, 2014). Abebe e colaboradores (2001) ainda reforçam que este modo de

reprodução pode indicar instabilidade no ambiente. Através da partenogênese transfere-se toda a energia para produzir a progênie, isso acontece quando há necessidade de colonizar um novo local.

De modo geral, os Nematoda de água doce apresentam menores tamanhos do que em ambientes marinhos e estuarinos (Kirchner et al. 1980), com comprimentos em torno de 500 a 3000  $\mu\text{m}$  e raramente maiores que 3000  $\mu\text{m}$  (Traunspurger, 2014), com exceção do mar profundo, onde alguns autores sugerem que quando em ambientes marinhos rasos, os Nematoda tendem a possuir faixas de tamanhos maiores que as espécies de ambientes profundos, e que isso se explica pela baixa disponibilidade de alimento (Udalov et al. 2005). A morfologia e a distribuição de tamanho dos espécimes no presente estudo, é relativamente maior que o proposto por Traunspurger (2014), inclusive com registro de juvenis com um comprimento total maior do que o máximo proposto pelo autor. Os valores registrados aqui são também maiores do que os encontrados por outros autores, tais como Quang e colaboradores (2017) que registraram Nematoda com comprimentos entre 0,07 e 3,47  $\text{mm}$  e larguras entre 0,06 e 0,13  $\text{mm}$  em águas doces do Vietnã.

As nascentes sem atividades (SS) apresentaram Nematoda dominantes na classe de tamanho de 25 até 43, assim como nas nascentes com pastagens (PS e PC). Já nas nascentes sem pastagem e com cana-de-açúcar (SC), as assembleias de Nematoda, estiveram com maior dominância de Nematoda na classe de tamanho de 8 até 25, isso pode ser resultado do maior teor de matéria orgânica encontrado, devido a atividade de cana-de-açúcar. Miota e colaboradores (2002), também encontraram maiores pesos corpóreos em sedimentos ricos em matéria orgânica que os locais controles em uma área agrícola, ainda em seu estudo reportam demais estudos que fomentam a dominância de tamanhos maiores em ambientes orgânicos. Sandulli e Giudici (1989), em um experimento em laboratório, com o enriquecimento da matéria orgânica, observaram que os Nematoda de corpos pequenos, possuem dificuldade de se locomover em um ambiente mais poluído, morrendo nesses locais, assim, em ambientes impactados com alta disponibilidade de matéria orgânica, permanecem os organismos maiores, finos e longos, que conseguem se deslocar livremente.

Conforme demonstrado, os espécimes das nascentes, possuem crescimento desproporcional do comprimento e largura. A distribuição de tamanho dos espécimes das nascentes apresenta uma configuração bimodal, com maiores abundâncias concentradas em duas classes diferentes 8,00-25,23 e 25,24-43,07. Para ambientes

marinhos, os Nematoda também apresentam uma distribuição bimodal, porém em classes de tamanhos diferentes, resultando em dois morfotipos, robustos, com razão C/L até 15, e delgados com razão maior do que 15 (Tital et al, 1999).

Alguns autores propõem 3 morfotipos em relação a razão C/L, sendo robustos aqueles com C/L <18, alongados com C/L entre 18 e 72 e filiformes >72 (Schratzberger et al. 2007). No presente trabalho, sugerimos que a distribuição de tamanho das assembleias de Nematoda das nascentes estudadas resulta em 2 morfotipos dominantes, porém em intervalos diferentes do proposto para água marinha e estuarina, sendo um com valor de C/L até 25 para indivíduos robustos e outro com valores maiores que 25 para indivíduos delgados, rejeitando assim a primeira hipótese proposta.

Foi mostrado que a razão C/L é influenciada pela assimetria dos grãos em SC, PS e PC, o que mostra uma oscilação da distribuição das relações comprimento-largura, comportando espécimes com diferentes tamanhos. Alguns autores consideram que o tamanho do corpo dos Nematoda é fortemente influenciado pela granulometria dos sedimentos (Soetaert e Heip, 1989). E em (SS), os tamanhos dos Nematoda, foram influenciados pela vazão da água, o que favoreceu maiores abundâncias das assembleias e uma distribuição homogênea dos tamanhos corporais. As variáveis ambientais exercem grande influência na composição e na estruturação dos compartimentos meiofaunísticos (Armenteros et al, 2009). Sugerimos que a assimetria e a vazão da água influenciaram a morfometria dos Nematoda nas nascentes, aceitando nossa segunda hipótese proposta. Os resultados mostraram condições de impacto ambiental nas nascentes estudadas através da variação dos valores de C/L neste ambiente, em especial impactos relacionados as atividades de pastagem e cultivo de cana-de-açúcar, aceitando a terceira hipótese aqui proposta, foi observado que as nascentes sem atividades (SS) possuíram uma ampla distribuição de tamanho, com mais classes de tamanhos dos Nematoda, e os maiores valores de C/L, sendo as nascentes mais preservadas com a presença de mata ciliar, enquanto as nascentes com pastagens e cana-de-açúcar, apresentaram assembleias de Nematoda de poucas classes de tamanhos com ausência de indivíduos em algumas classes e menores valores de C/L.

Apesar das variáveis de coliformes, *Escherichia coli*, fósforo, oxigênio dissolvido, não terem sido significativos nos resultados do distLM, tais variáveis, apresentaram concentrações acima do permitido pelos órgãos reguladores do meio

ambiente (Conama nº 357/2005, Cetesb Apêndice E/2013). Mostrando baixa condição da qualidade ecológica nas nascentes, e estas concentrações foram maiores principalmente nas nascentes com atividades. Os coliformes e *E. coli*, estiveram presente em todas as nascentes, indicando contaminação fecal por animais e humanos. Muitas nascentes são utilizadas na irrigação, e para o consumo humano, o que aumenta as chances de contaminação dos alimentos e dos humanos. A presença de coliformes e *E. coli* nas nascentes sem atividades, pode ser resultado da ocupação urbana ao entorno das nascentes, mesmo apresentando um bom status de conservação, interfere na qualidade da água, e cria um alerta para o monitoramento adequado para a integridade das nascentes.

## 16 CONCLUSÃO

A baixa densidade das amostras das nascentes estudadas pode ser um fator de interferência para o estudo da estrutura de tamanho das assembleias devido à baixa representatividade do espectro de tamanho. Em algumas nascentes foram coletados menos de 5 indivíduos. Sugere-se a utilização de um corer de maior diâmetro do que o utilizado no presente trabalho, devido à elevada proporção de serapilheira presente nos sedimentos das nascentes, para que seja possível coletar um maior número de indivíduos.

Apesar disto, consideramos que os resultados encontrados nesta pesquisa, indicam a eficiência na utilização dos tamanhos corpóreos de Nematoda, em especial a razão C/L, como métrica para a avaliação de qualidade ecológica de ambientes de água doce, uma vez que foi possível verificar diferenças entre nascentes controle e nascentes sob influência das atividades de agropecuária.

A distribuição de valores de C/L se apresentou claramente bimodal, indicando dois morfotipos, assim como para assembleias de Nematoda de ambientes marinhos, entretanto em classes de valores diferentes. Sugere-se a realização de mais estudos que verifiquem o espectro de tamanho das assembleias de tamanho, com um maior número de indivíduos e em diferentes tipos de sistemas de água doce para confirmar os padrões encontrados aqui.

## 17 REFERÊNCIAS

- ABEBE, E. et al. **Nematode communities of Lake Tana and other inland water bodies of Ethiopia**. *Hydrobiologia* 462: 41–73, 2001.  
<https://doi.org/10.1023/A:1013176117586>. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/226847361\\_Nematode\\_communities\\_of\\_Lake\\_Tana\\_and\\_other\\_inland\\_water\\_bodies\\_of\\_Ethiopia](https://www.researchgate.net/publication/226847361_Nematode_communities_of_Lake_Tana_and_other_inland_water_bodies_of_Ethiopia). Acesso em: 12 fev. 2023.
- ABELL, R. et al. Freshwater ecoregions of the World: **a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation**. *Bioscience* 58: 403–414, 2008.
- ARMENTEROS, M.; RUIZ-ABIERNOS, A. **Body size distribution of free-living marine nematodes from a Caribbean coral reef** *Nematology*, 17:1153-1164, 2015.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO. Apêndice E: Relação de variáveis por ponto de amostragem da Rede Básica**. 2013.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Disponível em:  
[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 13 abr. 2022.
- DE GRISSE, A. T. **Redescription ou modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nématodes phytoparasitaires**. *Mededelingen Rijks Faculteit Landbouwwetenschappen Gent*, 34: 251–369, 1969.
- DIAS, M. et al. Manual de Impactos Ambientais: **orientações básicas sobre ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, p. 297, 1999.
- KIRCHNER, T.B.; ANDERSON, R.V.; INGHAM, R.E. **Natural Selection and the Distribution of Nematode Sizes**. *Ecology*, 61(2): 232-237, 1980.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. **A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits**. *Ecology*, 91: 299-305. 2010.  
<https://doi.org/10.1890/08-2244.1>. Disponível em:  
<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/08-2244.1>. Acesso em: 14 fev. 2023.
- LOSI, V. et al. **Nematode biomass and allometric attributes as indicators of environmental quality in a Mediterranean harbour (Ligurian Sea, Italy)**. *Ecological Indicators*, 30: 80–89, 2013.
- MATERATSKI, P. et al. **Spatial and temporal variation of fungal endophytic richness and diversity associated to the phyllosphere of olive cultivars**. *Fungal Biol. Jan*;123(1):66-76, 2019. Doi: 10.1016/j.funbio.2018.11.004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878614618303684>. Acesso em: 13 jun. 2023.

MICHIELS, I. C.; TRAUNSPURGER, W. **Benthic community patterns and the composition of feeding types and reproductive modes in freshwater nematodes**. *Nematology*, Vol. 7(1): 21-36, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA Nº 1.469, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: [https://crfce.org.br/wp-content/uploads/2018/09/Revoga-a-Portaria-n%C2%BA-1469-de-29\\_12\\_2000.pdf](https://crfce.org.br/wp-content/uploads/2018/09/Revoga-a-Portaria-n%C2%BA-1469-de-29_12_2000.pdf). Acesso em: 13 abr. 2022.

NOGUEIRA, C. et al. **Restricted-range fishes and the conservation of Brazilian freshwaters**. *Plos ONE*, San Francisco, 5(6): e11390, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0011390>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0011390>. Acesso em 13 abr. 2023.

QUANG, N.X.; YEN, N.T.M.; THAI, T.T.; CHAU, N.N.; HIEP, N.D.; SMOL, N.; LINS, L.; VANREUSEL, A. **Nematode morphometry and biomass in the Saigon River harbours in relation to antifouling contaminants**. *Nematology* 00: 1-16, 2017.

PORTELLA, C. F.; NASCIMENTO, I.R.; ALVES, A.F.; SCHEIDT, G.N. *Estatística básica para os cursos de ciências exatas e tecnológicas*. Palmas: Universidade Federal do Tocantins / EDUFT, 168 p. 2015.

RIDALL, A.; INGELS, J. **Suitability of Free-Living Marine Nematodes as Bioindicators: Status and Future Considerations**. *Frontiers in Marine Science*, 8:685327, 2021.

RISTAU, K., SPANN, N., TRAUNSPURGER, W. **Species and trait compositions of freshwater nematodes as indicative descriptors of lake eutrophication**. *Ecological Indicators*, 53, 196–205. 2015.

SANDULLI, R.; GIUDICI, M. N. **Effects of Organic Enrichment on Meiofauna: a Laboratory Study**. *Marine Pollution Bulletin*, 20(5):223-227, 1989. 0025~326X/89.

SCHRATZBERGER, M. et al. **Functional diversity of nematode communities in the southwestern North Sea**. *Marine Environmental Research*, 63: 368-389, 2007.

SILVA, T. S. S. et al. **Diagnóstico ambiental de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Piauí, Alagoas**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 13(3):399-403, 2018. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5844>. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/5844>. Acesso em: 19 ago. 2021.

SOETAERT, K. et al. **Size and shape of ocean margin nematodes: morphological diversity and depth-related patterns**. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* Mar Ecol Prog Ser. 242: 179–193, 2002.

\_\_\_\_\_. HEIP, C. **The size structure of nematode assemblages along a Mediterranean deep-sea transect.** Deep Sea Res. 36: 93–102, 1989.

SROCZYNSKA, K. et al. **How nematode morphometric attributes integrate with taxonomy-based measures along an estuarine gradient.** Ecological Indicators. 124: 107384, 2021.

STEAD, T.K.; SCHMID-ARAYA, J.M.; HILDREW, A.G. **Secondary production of a stream metazoan community: does the meiofauna make a difference?.** Limnology and Oceanography, 50: 398-403, 2005.

TITA, G.; VINCX, M.; DESROSIERS, G. **Size spectra, body width and morphotypes of intertidal nematodes: an ecological interpretation.** J.Mar. Biol. Ass. U.K., 79: 1007-1015. 1999.

TRAUNSPURGER, W. Ecology of freshwater nematodes. In: Schmidt-Rhaesa, A. (Ed.). Handbook of zoology: **Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera**, 2: Nematoda. 2014.

UDALOV, A. et al. Depth-related pattern in nematode size: **What does the depth itself really mean?** Prog. Oceanogr. 67: 1–23. 2005.

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

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

VANAVERBEKE, J.; SOETAERT, K.; VINCX, M. **Changes in morphometric characteristics of nematode communities during a spring phytoplankton bloom deposition** Mar. Ecol.: Prog. Ser., 273: 139-146. 2004.

VILLÉGER, S. et al. Functional ecology of fish: **current approaches and future challenges.** Aquat Sci 79: 783–801, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00027-017-0546-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-017-0546-z>. Acesso: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-017-0546-z>. Acesso em: 13 fev. 2023.

WOODWARD, G. et al. **Body size in ecological networks.** Trends in Ecology and Evolution, 20(7): 402-409, 2005.

## 17.1 APÊNDICES

### 17.2 Item I

Tab. 9: Classificação Taxonômica das assembleias de Nematoda das nascentes do Rio Piauí, Alagoas, Brasil.

ORDEM	FAMÍLIA	GÊNERO	
<b>Chromadorida</b>	Cyatholaimidae	<i>Achromadora</i>	Cobb, 1913
	Microlaimidae	<i>Microlaimus</i>	de Man, 1880
	Actinolaimidae	<i>Actinca</i>	Andrássy, 1964
	Nygolaimidae	<i>Aquatides</i>	Heyns, 1968
	Belondiridae	<i>Belondira</i>	Thorne, 1939
	Crateronematidae	<i>Chrysonema</i>	Thorne, 1929
		<i>Crocodyrlaimus</i>	Andrássy, 1988
	Dorylaimidae	<i>Afrodorylaimus</i>	Andrássy, 1973
		<i>Dorylaimidae 1</i>	
		<i>Drepanodorylaimus</i>	Jairajpuri, 1966
<b>Dorylaimida</b>		<i>Eudorylaimus</i>	Andrássy, 1959
		<i>Ischiodorylaimus</i>	Andrássy, 1969
		<i>Idiodorylaimus</i>	Andrássy, 1969
		<i>Laimydorus</i>	Siddiqi, 1969
		<i>Mesodorylaimus</i>	Andrássy, 1959
	Nordiidae	<i>Enchodelus</i>	Thorne, 1939
	Qudsianematidae	<i>Hemicycliophora</i>	de Man, 1921
	Swangeriidae	<i>Lindseyus</i>	Ferris & Ferris, 1973
		<i>Oxydirus</i>	Thorne, 1939
	Thorniidae	<i>Thornia</i>	Meyl, 1954
	Ironidae	<i>Ironus</i>	Bastian, 1865
<b>Enoplida</b>	Oncholaimidae	<i>Oncholaimus</i>	Dujardin, 1845
	Amphidelidae	<i>Paramphidelus</i>	Andrássy, 1977
<b>Monhysterida</b>	Sphaerolaimidae	<i>Hofmaenneria</i>	Schneider, 1940
	Monhysteridae	<i>Monhystera</i>	Bastian, 1865
	Mononchidae	<i>Cobbonchus</i>	Andrássy, 1958
		<i>Mononchulus</i>	Cobb, 1918
<b>Mononchida</b>		<i>Mononchus</i>	Bastian, 1865
	Anatonchidae	<i>Iotonchus</i>	Cobb, 1916

	Aphanolaimidae	<i>Aphanolaimus</i>	de Man, 1880
		<i>Anonchus</i>	Cobb, 1913
		<i>Aphanonchus</i>	Coomans & Raski, 1991
		<i>Paraphanolaimus</i>	Micoletzky, 1923
<b>Plectida</b>	Chronogastridae	<i>Chronogaster</i>	Cobb, 1913
	Plectidae	<i>Plectus</i>	Bastian, 1865
	Rhabdolaimidae	<i>Rhabdolaimus</i>	de Man, 1880
	Panagrolaimidae	<i>Panagrolaimus</i>	Fuchs, 1930
		<i>Propanagrolaimus</i>	Andrássy, 2005
<b>Rhabditida</b>	Rhabditidae	<i>Protorhabditis</i>	Osche, 1952
	Tylenchidae	<i>Psilenchus</i>	de Man, 1921
	Infraordem	<i>Tylenchomorpha</i>	Filipjev, 1934
	Tylenchomorpha		

## 17.3 Item II

Tab. 10: Guildas tróficas das assembleias de Nematoda das nascentes do Rio Piauí, Alagoas, Brasil.

TIPO DE ALIMENTAÇÃO	MORFOLOGIA	DIETA PRINCIPAL	GÊNEROS REPRESENTANTES
<b>Comedor de depósito (deglutidores)</b>	Dente pequeno ausente e na cavidade vestibular	Bactéria e eucariontes unicelulares	<i>Aphanolaimus</i> , <i>Chronogaster</i> , <i>Monhystera</i> , <i>Panagrolaimus</i> , <i>Paramphidelus</i> , <i>Paraphanolaimus</i> , <i>Plectus</i> , <i>Protorhabditis</i>
<b>Comedor de epistrito (alimentadores de rasgar e engolir)</b>	Dentes pequenos presente na cavidade bucal	Bactérias, unicelulares, eucariontes, diatomáceas e outras algas	<i>Propanagrolaimus</i> , <i>Rhabdolaimus</i> , <i>Microaimus</i>
<b>Mastigador</b>	Cavidade bucal volumosa e esclerótica com um ou mais dentes e denticúlos	Eucariotas unicelulares e predação sobre protozoários, nematódeos, rotíferos, tardigrades	<i>Achromadora</i> , <i>Anonchus</i> , <i>Aphanonchus</i> , <i>Cobbonchus</i> , <i>Hofmaenneria</i> , <i>Iotonchus</i> <i>Ironus</i> , <i>Mononchulus</i> , <i>Mononchus</i> , <i>Oncholaimus</i>
<b>Sugador</b>	Presença de Estilete	Omnívoros (algas, plantas, fungos e animais), células epidérmicas e pêlos radiculares	<i>Actinca</i> , <i>Afrodorylaimus</i> , <i>Aquatides</i> , <i>Belondira</i> , <i>Chrysonema</i> , <i>Crocodylaimus</i> , <i>Dorylaimidae 1</i> , <i>Drepanodorylaimus</i> , <i>Enchodelus</i> <i>Eudorylaimus</i> , <i>Ischiodorylaimus</i> , <i>Laimydorus</i> , <i>Lindseyus</i> , <i>Mesodorylaimus</i> , <i>Oxydirus</i> , <i>Thornia</i> , <i>Tylenchus0</i>