

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

ATSLER LUANA LEHUN

**Nematoides como indicadores de alterações ambientais em um rio com
diferentes níveis de impacto antropogênico**

Maringá
2020

ATSLER LUANA LEHUN

Nematoides como indicadores de alterações ambientais em um rio com diferentes níveis de impacto antropogênico

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

Orientador: Dr. Ricardo Massato Takemoto

Maringá
2020

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

L524n Lehun, Atsler Luana, 1995-
Nematoides como indicadores de alterações ambientais em um rio com diferentes níveis de impacto antropogênico / Atsler Luana Lehun. -- Maringá, 2020.
26 f. : il. (algumas color.).
Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2020.
Orientador: Dr. Ricardo Massato Takemoto.
1. Peixes de água doce - Parasitas - Ecotoxicologia - Iguaçu, Rio, Bacia - Paraná (Estado). 2. Ictioparasitologia de água doce - Iguaçu, Rio, Bacia - Paraná (Estado). 3. Ecotoxicologia aquática - Bioindicadores. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -597.17857098162

ATSLER LUANA LEHUN

Nematoides como indicadores de alterações ambientais em um rio com diferentes níveis de impacto antropogênico

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

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Ricardo Massato Takemoto
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Liliane Stedile de Matos
Universidade Estadual de Mato Grosso (UNEMAT)

Prof. Dr. Rodrigo Junio da Graça
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 20 de fevereiro de 2020.

Local de defesa: Auditório, Nupélia, Bloco H-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho a minha tia Joana Pimentel Lehun (*in memoriam*), que não pôde estar ao meu lado neste momento tão importante, mas que sempre torceu muito por mim.
Saudade eterna.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo suporte e carinho fornecido. Agradeço especialmente aos meus pais pelo amor incondicional, por estarem ao meu lado e sempre me apoiando nas minhas escolhas.

À CAPES pela bolsa concedida e pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA) e ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia) da Universidade Estadual de Maringá pelo suporte e estrutura.

À equipe da secretaria do PEA, Elizabete Custódio da Silva e Jocemara Celestino dos Santos.

À Biblioteca Setorial do Nupélia, Salete e João.

Ao laboratório de Limnologia Básica, agradeço ao Ranulfo por realizar as análises de água.

A minha amiga e companheira de laboratório Gisele. Agradeço por ter me recebido em sua vida, me acolheu de uma forma tão carinhosa, que somente palavras não conseguem descrever o quão especial você é. Agradeço pela companhia, almoços, cafés e pelo aconselhamento no meu mestrado. Hoje estou aqui porque você fez parte de tudo isso. Lhe admiro pela mulher que você é para sua família e como se dedicou incondicionalmente ao seu doutorado, você é uma pesquisadora sensacional. Amo você.

Ao João Vitor pelo apoio incondicional, pela companhia e atenção que me dedica sempre. Você faz meus dias serem melhores e mais alegres.

Ao meu amigo João Otávio, agradeço pela parceria, conselhos e pela pessoa especial que você se tornou em minha vida.

Aos queridos amigos e companheiros de laboratório (Mari, Rodrigo, Danilo, João Otávio, Toshio, Cida, Gabi, Ju, Sabine, Edu, Gui, Flávia e Lucas), agradeço pela amizade e por tornarem o ambiente do laboratório acolhedor.

Aos queridos amigos dos Campos Gerais (Jonathan, Fe, Meri, Pati, Ramiro e Cláudia) e aos queridos amigos que a pós me deu (Rianne, Laura, Junior, Tati, Carol, Nate, Eliezer, Leidi, Lou, Yasmin, Edi, Mel, Hugo e Prof. Cláudio). Obrigada pelos momentos felizes.

À minha amiga Denise, que mesmo estando longe, compartilhamos a rotina do mestrado. Agradeço por sua amizade e por sempre ouvir meus desabafos e alegrias. Amo você.

Ao Jonathan por me ajudar nas análises estatísticas.

E por fim, agradeço especialmente ao meu orientador, professor Dr. Ricardo Massato Takemoto, pela oportunidade e por todos os ensinamentos. Obrigada pelo incentivo e por ser um exemplo de profissional.

Nematoides como indicadores de alterações ambientais em um rio com diferentes níveis de impacto antropogênico

RESUMO

Alterações na biodiversidade de comunidades parasitárias são utilizadas como indicadoras da saúde de sistemas ecológicos, pois refletem impactos ambientais mediante suas respostas às alterações no *habitat*. Investigou-se o potencial uso de nematoides de *Geophagus brasiliensis* como indicadores de alterações ambientais mediante o registro de sua presença e ausência. Foram determinados três pontos amostrais no rio Iguaçu com diferentes graus de impacto ambiental. Entre os 69 espécimes de *G. brasiliensis* analisados, 32 (46,3%) estavam parasitados por pelo menos um parasita. Um total de 56 espécimes de endoparasitas pertencentes a Nematoda foram coletados. A abundância de espécies de nematoides foi significativamente maior em peixes coletados no ponto 3 (Kruskal-Wallis $_{2;69} = 8,62$; $p = 0,01$) e a composição das espécies entre os pontos foram significativamente diferentes ($F = 6,95$, $p = 0,002$). Não houve diferença significativa no fator de condição relativo (Kn) de *G. brasiliensis* entre os pontos ($F_{2;66} = 2,54$; $p = 0,08$) e na correlação entre o Kn e a abundância de nematoides ($r_s = 0,1$; $p = 0,4$). A menor abundância foi verificada no ponto 1 (criticamente degradado), devido a esse ambiente apresentar alterações nos fatores abióticos e na estrutura biológica, quando comparado com os pontos 2 e 3 (moderadamente degradados). Os resultados obtidos indicam que a comunidade parasitária de *G. brasiliensis* é caracterizada por baixa diversidade em locais poluídos, portanto a ausência de certas espécies de parasitas e a ocorrência de espécies de nematoides demonstraram uma variação em resposta ao gradiente de poluição.

Palavras-chave: Ecotoxicologia. Água doce. Parasitas. Peixes.

Nematodes as indicators of environmental changes in a river with different levels of anthropogenic impact

ABSTRACT

Changes in the biodiversity of parasites communities can be used as indicators of the healthy ecosystem as they reflect environmental impacts through their responses to changes in habitat. Thus, the aim of the study was to investigate the potential use of parasites from *Geophagus brasiliensis* as bioindicators of environmental changes. Three sample points were determined of rio Iguaçu with different degrees of environmental impact. Among 69 specimens analyzed of *G. brasiliensis*, 32 (46.3%) were parasitized by at least one parasite. A total of 56 specimens of endoparasites belonging to the phylum Nematoda were collected. The abundance of nematode species was significantly higher in fishes collected in point 3 (Kruskal-Wallis_{2;69} = 8.62; p = 0.01) and species composition between points were significantly different (F = 6.95, p = 0.002). There was no significant difference in relative condition factor (Kn) of *G. brasiliensis* between the points (F_{2;66} = 2.54; p = 0.08) there was no correlation in Kn and abundance of nematodes (rs = 0.1; p = 0.4). The lower abundance of nematodes was observed in point 1 (critically degraded), due to this environment showing changes in abiotic factors, represented in the relatively high values of conductivity and phosphorus when compared with points 2 and 3 (moderately degraded). The results obtained in the present study indicate that the parasitic community of *G. brasiliensis* is characterized by low diversity in polluted locations, thus the absence of certain species of parasites and the occurrence of nematode species demonstrated a variation in response to the pollution gradient.

Keywords: Ecotoxicology. Freshwater. Parasites. Fish.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.

Disponível em:
<http://www.scielo.br/revistas/aabc/iinstruc.htm>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 Caracterização do hospedeiro	9
2.2 Área de estudo	10
2.3 Coleta, necropsia dos hospedeiros e fixação dos parasitas	12
2.4 Análise de dados	12
3 RESULTADOS	13
4 DISCUSSÃO	18
<u>REFERÊNCIAS</u>	21

1 INTRODUÇÃO

A poluição dos ecossistemas aquáticos é considerada um problema sério e crescente (Dalzochio et al. 2016). A urbanização, industrialização, o uso desordenado de fertilizantes, agrotóxicos e o carreamento de substâncias alóctones para os rios, são ações antrópicas que contribuem com o aumento da poluição e degradação da qualidade da água nos ecossistemas aquáticos (Silva-Souza et al. 2006). Em sistemas naturais afetados por estas interferências, os impactos ocasionados exibem intensidade diretamente proporcional ao grau de diversidade do ambiente e à vulnerabilidade das espécies envolvidas (Bastos e Abilhoa 2004; Alimba e Bakare 2016).

Os organismos aquáticos estão frequentemente expostos à uma variedade de estressores ambientais naturais e artificiais, como variações e/ou alterações dos parâmetros físicos e químicos, mudanças na dieta e disponibilidade de habitat (Adams e Greeley 2000). A poluição, bem como, o estresse sofrido pelo ambiente aquático é refletido diretamente nos organismos, populações, comunidades e sobre a estrutura da cadeia alimentar (Tundisi e Tundisi 2008). Nesse sentido, o uso de parasitas de peixes como bioindicadores de alterações ou perturbações ambientais permite avaliar o efeito dos estressores sobre os hospedeiros e ecossistemas aquáticos (Marcogliese 2005; Madi e Ueta 2009; Sures et al. 2017).

Muitos estudos demonstram a estreita relação entre o parasitismo e as condições ecológicas em um determinado ambiente, pois refletem impactos ambientais mediante suas respostas às alterações no hábitat, como mudança na prevalência e intensidade, e sua ocorrência ou abundância pode descrever a situação do ambiente (Vidal-Martínez et al. 2010; Madi e Ueta 2012; Vidal-Martínez e Wunderlich 2017; Negreiros et al. 2018). Alguns grupos de parasitas são mais sensíveis às perturbações ambientais do que às espécies hospedeiras e, portanto, são indicadores eficientes para vários contaminantes e mudanças tróficas (Marcogliese 2005).

As respostas dos hospedeiros e comunidades parasitárias variam de acordo com o tipo e a intensidade do estressor, o ciclo de vida do parasita e o tempo de exposição, mas no geral, a poluição e o estresse estão frequentemente associados a uma redução na riqueza de espécies de parasitas (Marcogliese 2004; Falkenberg et al. 2019). O ciclo de vida do parasita pode incluir o hospedeiro definitivo e vários hospedeiros intermediários, e para o parasita sobreviver, todos os hospedeiros devem coocorrer em uma estrutura de comunidade estável (Marcogliese e Cone 1997).

Mudanças nas condições ambientais que afetam qualquer um dos hospedeiros, direta ou indiretamente, terão um efeito significativo na prevalência e intensidade de infecção e na diversidade de parasitas presentes nos peixes (MacKenzie 1999; Marcogliese e Cone 1997), assim, essa diversidade de endoparasitas pode diminuir, porque os estágios de vida livre podem ser diretamente afetados ou certos hospedeiros intermediários podem ser reduzidos, dificultando a transmissão do parasita (MacKenzie 1999).

Na fauna endoparasitária de *Geophagus brasiliensis* (Quoy e Gaimard 1824) são registrados digenéticos, nematoides e acantocéfalos (Fernandes e Kohn 2001; Azevedo et al. 2006; Bellay et al. 2008; Carvalho et al. 2010; Bellay et al. 2012). Tendo os parasitas como indicadores da biologia do hospedeiro, de contaminantes ambientais e estrutura de cadeia alimentar, a comunidade parasitária de peixes pode ser um bom demonstrativo de estresse ambiental (Chubb 1980, 1982; Overstreet 1997), assim, bons indicadores podem ser excepcionalmente sensíveis às modificações ambientais, e as alterações significativas no número de indivíduos nas populações podem ser utilizadas como um alerta de mudanças nas condições ambientais (Mackenzie et al. 1995).

A presença ou ausência destes parasitas, bem como a diversidade de suas comunidades, permite obter informações relevantes sobre fatores ambientais e a saúde dos ecossistemas aquáticos (Sures e Streit 2001). Assim, o objetivo do estudo foi investigar o potencial uso de parasitas de *G. brasiliensis* como indicadores de alterações ambientais em um gradiente de poluição no rio Iguçu.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do hospedeiro

Geophagus brasiliensis (Quoy e Gaimard 1824) (Figura 1) conhecido popularmente como acará ou cará, pertence à Cichlidae e possui ampla distribuição geográfica, ocorrendo em bacias costeiras do leste e sudeste do Brasil e do Uruguai e bacia do alto rio Paraná, com registro de sua ocorrência na bacia do rio Iguçu (Baumgartner et al. 2006; Buckup e Teixeira 2007). Os indivíduos podem alcançar um comprimento padrão máximo de 92,0 mm e sua alimentação é predominantemente de insetos, vegetais, peixes e outros invertebrados (Hahn et al. 1997).



Figura 1 - Exemplar de *Geophagus brasiliensis*, comprimento total: 10,2 cm. Fonte: o autor.

2.2 Área de estudo

A bacia do rio Iguaçu está localizada em sua maior parte na porção sul do estado do Paraná, Brasil, mas também ao norte de Santa Catarina e na Argentina. Sua bacia abrange uma superfície de aproximadamente 72000 km². Com direção geral leste-oeste, percorre 1.060 km desde suas nascentes na vertente ocidental da Serra do Mar, até a foz, no rio Paraná, sendo considerado o maior rio do estado do Paraná (Paiva 1982; Baumgartner et al. 2012).

Devido às suas características geomorfológicas e morfodinâmicas e às relações com sua hidrografia, o cenário da bacia hidrográfica do Iguaçu é considerado como de elevada importância ecológica. Está localizada em uma região de relevo acidentado, que forma diversos rios e cachoeiras, influenciando enormemente a distribuição geográfica de espécies. As cataratas do Iguaçu atuam como uma importante barreira geográfica proporcionando um elevado grau de endemismo de sua ictiofauna (Zawadzki et al. 1999; Baumgartner et al. 2012). Porém devido à influência de vários fatores antrópicos, como a construção de usinas hidrelétricas, poluição e atividade de aquicultura, o risco de extinção destas espécies de peixes tem aumentado significativamente (Daga e Gubiani 2012). Atualmente, o rio Iguaçu é descrito como o segundo rio mais poluído do Brasil, e esta classificação se deve à enorme carga de poluentes que são liberados na origem do rio, consequência da atividade antrópica na Região Metropolitana de Curitiba (IBGE, 2010).

Foram determinados três pontos amostrais ao longo do rio Iguaçu (Figura 2). O primeiro ponto está localizado no alto Iguaçu (25°36'17.1"S 49°30'35.9"W), onde se situa a região metropolitana de Curitiba e Araucária. O ponto é caracterizado pela grande concentração populacional, atividades industriais, comerciais e de serviços, e que foi avaliado pelo órgão ambiental local como criticamente degradado a poluído (Superintendência de Desenvolvimento e

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 1997; Carneiro et al. 2014; IAP 2017). Apesar da condição impactada relatada pelo Instituto Ambiental do Paraná (2017), a água é fornecida para abastecimento para a população da cidade de Curitiba e sua região metropolitana.

O segundo ponto se situa na região do médio Iguaçu ($26^{\circ}15'02.1''S$ $51^{\circ}06'13.4''W$), localizado no segundo planalto, considerado como o trecho entre Porto Amazonas e União da Vitória (Maack 1981). Nesta região predomina a agropecuária, com maior destaque para as culturas de soja e trigo, e é categorizado como moderadamente degradado (Superintendência de Desenvolvimento e Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 1997; IAP 2017).

A partir de União da Vitória inicia-se o baixo Iguaçu, no terceiro planalto, destacando o terceiro ponto amostral ($26^{\circ}02'51.9''S$ $51^{\circ}36'04.1''W$). É caracterizado pelo início da cascata de reservatórios presentes no rio Iguaçu e uso da água para abastecimento público das cidades. É categorizado como moderadamente degradado (Baumgartner et al. 2012; IAP 2017).

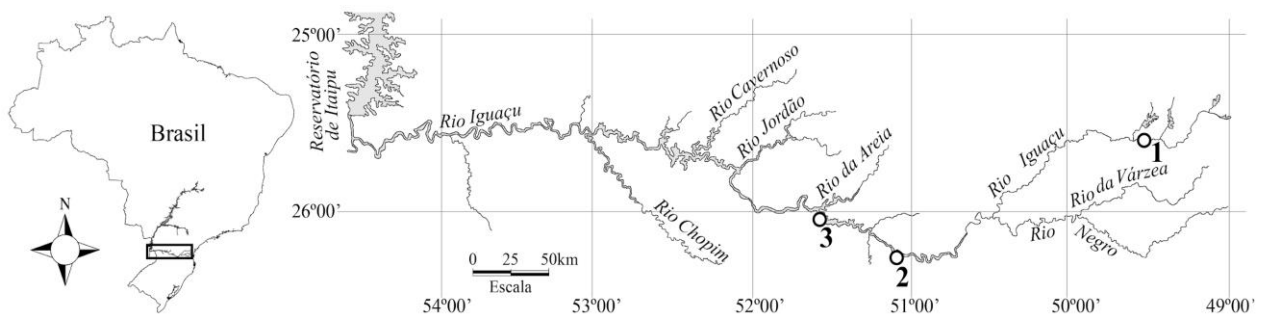


Figura 2 - Mapa da localização do rio Iguaçu e dos três pontos de coleta.
Fonte: Jaime Luiz Lopes Pereira – Nupelia/UEM.

Espécimes de *G. brasiliensis* foram coletados em janeiro de 2019, utilizando redes de malha 4 e 5 cm expostas durante 24 horas em cada ponto de coleta (com revistas a cada 8 horas). No momento da coleta, foram aferidas as variáveis limnológicas da água: pH, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido. Também foram coletadas amostras de água e posteriormente feita a quantificação de fósforo total no laboratório de Limnologia Básica da Universidade Estadual de Maringá. As coletas foram autorizadas por meio do protocolo (SISBIO/64382-4) e pelo comitê de ética (CEUA N° 2887071118).

2.3 Coleta, necropsia dos hospedeiros e fixação dos parasitas

Todos os peixes coletados foram anestesiados com óleo de cravo e feita a biometria (comprimento padrão, total e peso). Posteriormente, foram necropsiados sob um microscópio estereoscópico e foi analisado o aparelho digestivo. Os procedimentos de necropsia dos hospedeiros e de coleta, conservação e preparação dos parasitas foram realizados conforme Eiras et al. (2006), onde os nematódeos coletados foram fixados em solução de A.F.A. (álcool, formol e ácido acético) e submetidos à diafanização pelo Lactofenol de Amann. A identificação foi baseada no trabalho de Moravec (1998), Vicente e Pinto (1999) e Thatcher (2006).

2.4 Análise de dados

A prevalência (número de hospedeiros infectados com um ou mais indivíduos de uma espécie de parasita dividido pelo número de hospedeiros examinados multiplicado por 100), intensidade média (é o número total de parasitas de uma determinada espécie encontrada em uma amostra dividida pelo número de hospedeiros infectados com esse parasita) e abundância média (número total de indivíduos de uma espécie de parasita em uma amostra de uma espécie de hospedeiro dividido pelo número total de hospedeiros examinados) de infecção dos parasitas foram obtidas de acordo com Bush et al. (1997). Cinco descritores com base na estrutura das infracomunidades foram calculados: (1) abundância, (2) riqueza, (3) diversidade, a qual representa a média da diversidade das infracomunidades em cada peixe, e calculada pelo índice de Brillouin, (4) a equitabilidade, a qual representa a média da equitabilidade de espécies em cada peixe, e (5) a dominância de Simpson.

A análise não-paramétrica de variância (Kruskal-Wallis) foi realizada para testar diferenças significativas na abundância de nematoides entre os pontos amostrais.

A (dis)similaridade na composição das espécies de nematoides foi visualizada entre os pontos de coleta por uma Análise de Coordenada Principal (PCoA) (Legendre & Legendre 1998), utilizando uma matriz de presença/ausência e o índice de Jaccard. Uma Análise de Variância Permutacional Multivariada (PERMANOVA) foi realizada para avaliar mudanças na composição de espécies de nematoides entre os pontos amostrais (Anderson 2005). Um total de 999

permutações foram realizadas para avaliar a significância. Utilizamos a PERMANOVA pareada para avaliar diferenças significativas entre pontos.

Os valores de comprimento padrão (Ls) e de peso (Wt) de cada hospedeiro foram ajustados à curva da relação Wt/Ls ($Wt = a.Lt^b$) e foram estimados os valores dos coeficientes de regressão a e b. Foram utilizados os valores de a e b nas estimativas dos valores esperados de peso (We), por meio da equação: $We = a.Lt^b$. Deste modo, foi calculado o fator de condição relativo (Kn) que corresponde ao quociente entre peso observado e peso esperado para determinado comprimento ($Kn = Wt/We$) (Le Cren 1951).

Para avaliar as diferenças entre o fator de condição relativo dos peixes entre os pontos, foi realizado uma análise de variância (ANOVA), sendo os pressupostos de normalidade, homogeneidade e homocedasticidade alcançados.

O coeficiente de correlação por postos de Spearman “rs”, foi utilizado para determinar possíveis correlações entre o fator de condição relativo (Kn) e a abundância de infecção por nematoides para o hospedeiro (Zar, 2010).

As análises estatísticas foram realizadas no programa Statistica 7.1 (Statsoft Inc. 2005) e no software R 3.2.4 (R Development Core Team 2018), usando os pacotes vegan (Oksanen et al. 2016) e permute (Simpson 2018) para a PCoA e de acordo com a função "ADONIS "do pacote vegan (Oksanen et al. 2016) para PERMANOVA. O nível de significância estatístico adotado foi $p \leq 0,05$.

3 RESULTADOS

Os valores para os parâmetros da qualidade da água medidos em campo e em laboratório são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Média e desvio padrão das variáveis abióticas e concentração de fósforo em amostras de água do rio Iguaçu, Paraná.

Ponto	TA	pH	OD	C	P-total
Ponto 1	29,4±1,2	8,5±0,2	13,08±0,4	154,1±6,1	283,5
Ponto 2	27,3±1,1	7,84±0,03	15,5±0,7	65,6±6,1	96,5
Ponto 3	27,1±1	7,4±0,2	14,46±0,1	58±4	78,8

*TA - Temperatura da água (°C); pH; OD - Oxigênio dissolvido (mg/L^{-1}); C - Condutividade ($\mu S/cm^{-1}$); P-total – Fósforo total ($\mu g/L$). Ponto 1: criticamente degradado a poluído; Ponto 2: moderadamente degradado; e Ponto 3: moderadamente degradado.

Foram coletados 69 espécimes de *G. brasiliensis* no rio Iguaçu: 20 no ponto 1, 24 no ponto 2 e 25 no ponto 3. O comprimento total médio dos peixes foi de $12,5 \pm 3,35$ cm (8,2–33,1 cm) e o peso médio foi de $41,37 \pm 38,95$ g (11,5–301,3 g). Entre os peixes examinados, 32 (46,3%) estavam parasitados por pelo menos uma espécie parasita, sendo um total de 56 espécimes de endoparasitas pertencentes ao filo Nematoda. Os peixes do ponto 3 apresentaram maior prevalência de infecção (tabela 2). As espécies de parasitas, locais de infecção e respectivos índices parasitológicos são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Espécies de parasitas e sítio de infecção, ponto de coleta e seus índices parasitológicos (Prevalência (%); Intensidade média \pm desvio padrão; Abundância média \pm desvio padrão) encontrados no hospedeiro *G. brasiliensis* no rio Iguaçu, Paraná.

Parasitas	Prevalência (%)			Intensidade média (\pm DP)			Abundância média (\pm DP)		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
<i>Contracaecum</i> larva tipo 2 Mesentério	15	-	-	1	-	-	0,15 \pm 0,37	-	-
<i>Procamallanus</i> (<i>Procamallanus</i>) <i>peraccuratus</i> Intestino	10	40	68	1	2,3 \pm 1,4	1,64 \pm 1,11	0,1	0,92 \pm 1,33	1,12 \pm 1,2
<i>Procamallanus</i> sp. 1 Intestino	-	4	-	-	1	-	-	0,04	-
<i>Procamallanus</i> sp. 2 Intestino	-	-	4	-	-	1	-	-	0,04
<i>Procamallanus</i> (<i>Spirocamallanus</i>) sp. Intestino	-	-	4	-	-	1	-	-	0,04

* Ponto 1: criticamente degradado a poluído; Ponto 2: moderadamente degradado; e Ponto 3: moderadamente degradado.

Os valores dos descritores das infracomunidades apresentaram valores similares para os pontos 2 e 3 (Tabela 3). A abundância e a riqueza de espécies de nematoides foi ligeiramente maior em peixes coletados no ponto 3. O ponto 1 apresentou os maiores valores para os índices (diversidade e equitabilidade), mas a sua abundância e riqueza foi menor em comparação com os pontos 2 e 3.

Tabela 3: Atributos das infracomunidades de parasitas de *G. brasiliensis*.

Descritores	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Abundancia total (N)	4	22	30
Riqueza total (S)	2	2	4
Diversidade	0,34	0,14	0,22
Equitabilidade	0,81	0,26	0,26
Dominância de Simpson	0,62	0,91	0,87
Espécie dominante	<i>Contraecum</i> larva tipo 2	<i>Procamallanus (Procamallanus)</i> <i>peraccuratus</i>	<i>Procamallanus (Procamallanus)</i> <i>peraccuratus</i>

* Ponto 1: criticamente degradado a poluído; Ponto 2: moderadamente degradado; e Ponto 3: moderadamente degradado.

Ao comparar a abundância das espécies de nematoides, foi verificada diferença significativa entre os pontos amostrais (Kruskal-Wallis $_{2;69} = 8,62$; $p = 0,01$) (Figura 3), verificando nos pontos 2 e 3 abundancia média maior quando comparado com o ponto 1.

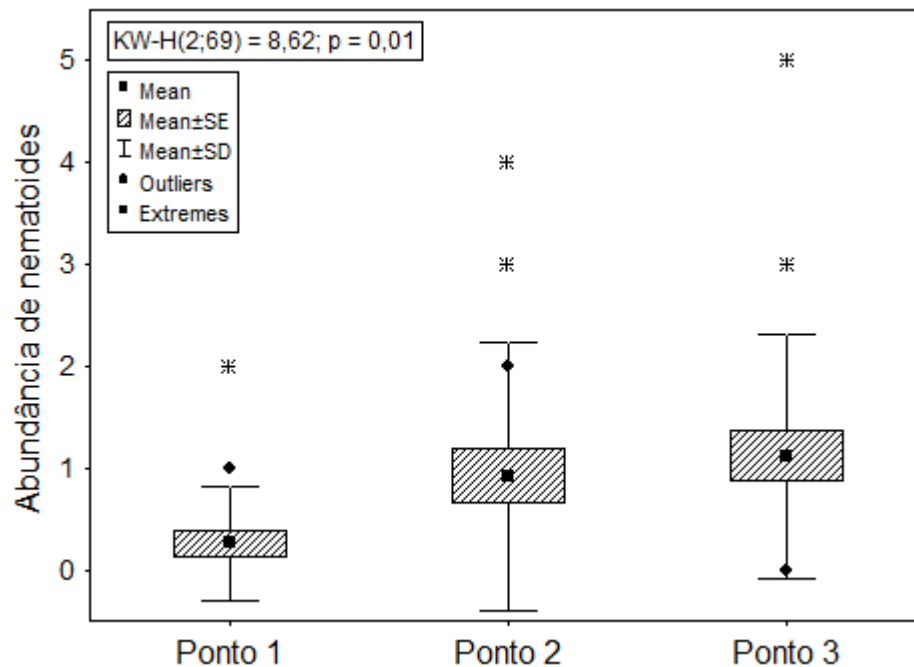


Figura 3 - Valores médios da abundância de nematoides em *G. brasiliensis* encontrados entre os pontos amostrais do rio Iguaçu, Paraná. Ponto 1: criticamente degradado a poluído; Ponto 2: moderadamente degradado; e Ponto 3: moderadamente degradado.

O resultado da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) ordenou a variabilidade da composição de espécies de nematoides entre os pontos amostrais (Figura 4) e a composição das espécies entre os pontos foram significativamente diferentes ($F = 6,95$, $p = 0,002$). A PERMANOVA pareada mostrou composição distintas entre as espécies de nematoides entre ponto 1 e os pontos 2 e 3 (Tabela 4).

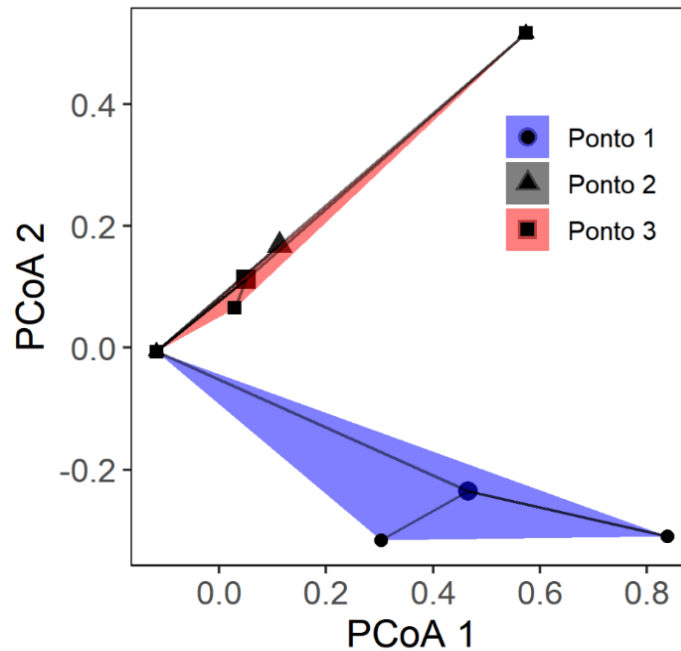


Figura 4 - Análise de Coordenadas Principais (PCoA), mostrando a variabilidade na composição de espécies de nematoides em *G. brasiliensis* entre os pontos amostrais do rio Iguaçu, Paraná. Alguns pontos estão sobrepostos, pois os valores dos scores são os mesmos.

Tabela 4: PERMANOVA pareada para comparação da composição de nematoides entre os pontos amostrais. Em **negrito**: valor significativo ($p < 0,05$).

	Pseudo-F	P
Ponto 1 vs Ponto 2	8,74	0,01
Ponto 1 vs Ponto 3	14,23	0,005
Ponto 2 vs Ponto 3	0,60	1,0

Para o fator de condição relativo dos hospedeiros, foi verificado que os valores de Kn não diferiram entre os pontos amostrais ($F_{2,66} = 2,54$; $p = 0,08$), mas quando analisados isoladamente, o ponto 2 e o ponto 3 possuem média maior quando comparado com o ponto 1 (Figura 5).

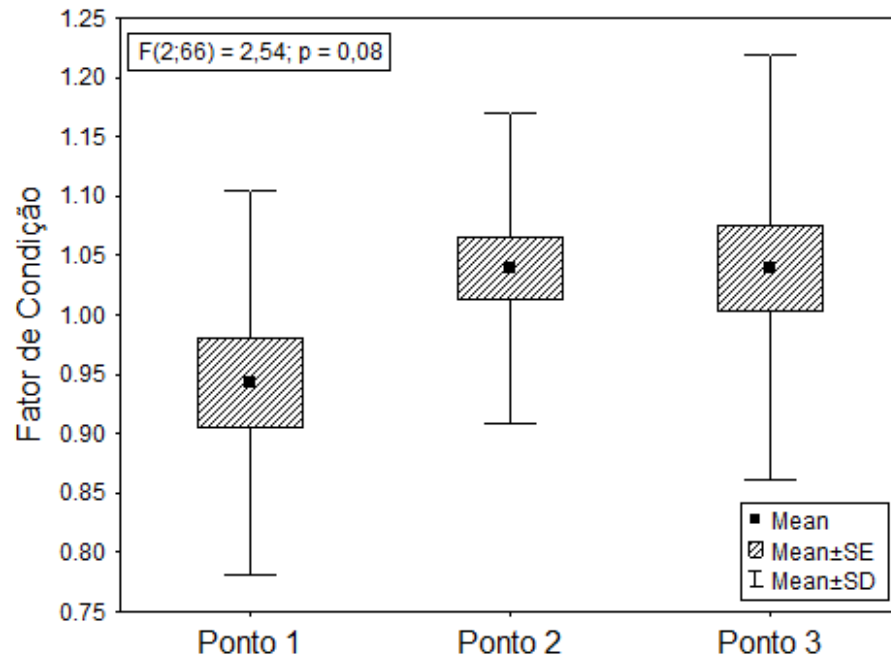


Figura 5 – Valores médios do fator de condição relativo (Kn) de *G. brasiliensis* entre os pontos amostrais no rio Iguaçu. Ponto 1: criticamente degradado a poluído; Ponto 2: moderadamente degradado; e Ponto 3: moderadamente degradado.

Para verificar a relação entre o fator de condição relativo (Kn) e a abundância de infestação por nematoides para os hospedeiros, os resultados demonstraram que não houve correlação significativa ($r_s = 0,102$; $p = 0,402$) (Figura 6).

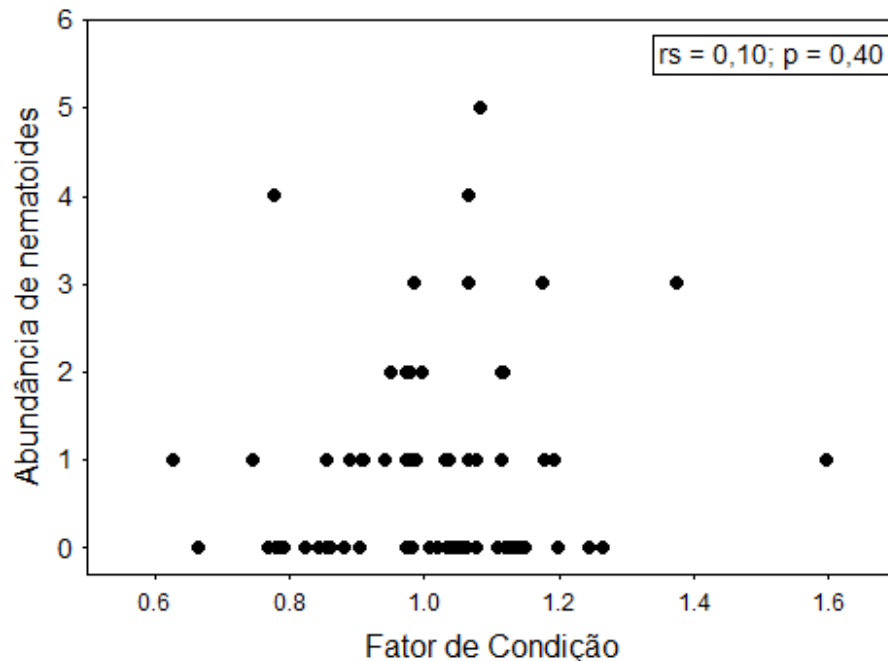


Figura 6 - Correlação entre o fator de condição relativo (Kn) e a abundância de nematoides em *G. brasiliensis*.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que a comunidade parasitária de *G. brasiliensis* é caracterizada pela baixa diversidade em locais poluídos, assim a ausência de determinadas espécies de parasitas e a ocorrência de espécies de nematoides demonstraram uma variação em resposta ao gradiente de poluição. A menor abundância de nematoides foi verificada no ponto 1, devido a esse ambiente apresentar alterações nos fatores abióticos, representado nos valores relativamente altos de condutividade elétrica e de fósforo quando comparado com os pontos 2 e 3. Esses resultados indicam que a alteração dos parâmetros da qualidade da água pode estar relacionada ao grande aporte de resíduos orgânicos e esgotos domésticos e industriais que são lançados nessa região (Carneiro et al. 2014; Mizukawa et al. 2017), acarretando mudança na abundância parasitária.

A condutividade elétrica é um indicador indireto de poluição, pois apresenta uma estreita relação com o teor de sais dissolvidos presentes na coluna d'água que geralmente está associado ao aporte de matéria orgânica e, portanto, é um parâmetro de qualidade da água bem estabelecido (Thompson et al. 2010; Chalupová et al. 2012). Assim, rios que apresentam contaminação por efluentes industriais e domésticos apresentam maiores valores de condutividade elétrica, o que foi demonstrado nesse estudo para o ponto 1. Entretanto, os ambientes que apresentam baixa quantidade de partículas em suspensão geralmente apresentam baixos valores de condutividade elétrica, como observado nos pontos 2 e 3.

Os ecossistemas de água doce recebem o fósforo lixiviado da terra e descargas antrópicas (Smil 2000; Vitousek et al. 2010), como consequência, altos níveis de fosfatos estão ligados ao processo de eutrofização (Esteves 2011). A eutrofização foi identificada como um fator que influencia a composição geral das espécies de parasitas em peixes residentes nas águas afetadas (Valtonen et al. 1997; Zagar et al. 2012) e pode aumentar ou diminuir as propriedades da infecção, dependendo do parasita e da história de vida do táxon, isto é, presença, ausência e densidades de hospedeiros intermediários ou definitivos e sensibilidade dos hospedeiros e parasitas às mudanças ambientais (Sures 2004).

Ambientes que apresentam alterações devido a poluição, como demonstrado por meio dos resultados das concentrações de fósforo e nos maiores níveis de condutividade elétrica, pode-se observar alteração na estrutura da comunidade e abundância de espécies em resposta às condições ambientais e poluentes. Existem várias maneiras pelas quais as mudanças ambientais afetam os

parasitas. A poluição pode aumentar o parasitismo, pois os contaminantes podem atuar como imunossupressores do sistema imune dos hospedeiros, ou pode ser fatal para certas espécies, principalmente com parasitas de ciclos de vidas complexos, levando a uma diminuição no parasitismo (Lafferty e Kuris 2005). Geralmente, as infecções por ectoparasitas tendem a aumentar, enquanto infecções por helmintos endoparasitários tendem a diminuir com o aumento dos níveis de poluição (Lafferty 1997; Sures 2005).

Os baixos valores de diversidade encontrados neste estudo podem ser explicados pelo número limitado de espécies e a dominância da larva *Contracaecum* sp. no ponto 1 e do adulto *Procamallanus* (*Procamallanus*) *peraccuratus* nos pontos 2 e 3. De fato, a dominância dessas espécies pode ser a maneira mais apropriada de inferir os possíveis efeitos do estresse antropogênico, pois eles apresentaram maiores potenciais infecciosos (em termos de prevalência), mas também evidenciaram, que em termos de estrutura populacional, podem mudar de acordo com o ambiente.

Devido a larva *Contracaecum* sp. ser a espécie prevalente no ponto 1 e utilizar o peixe como hospedeiro intermediário, indica que as condições ambientais são de alguma forma adequadas para completar seu ciclo de vida através de copépodes planctônicos e aves piscívoras (Szalai e Dick 1990). No entanto, o fato de que foi observada uma baixa abundância sugere que níveis de poluição ou estresse antropogênico que ocorrem nesse local poderiam ter produzido impactos negativos em seus hospedeiros intermediários, reduzindo assim o potencial infeccioso do nematoda (Fajer-Ávila et al. 2006).

A diversidade de espécies nas comunidades parasitárias é resultado, entre outros fatores, de interações entre a história evolutiva e a ecologia dos hospedeiros e também está associada à diversidade de hospedeiros intermediários e definitivos (Von Zuben 1997). Assim, a ausência de espécies de nematoides adultos no ponto 1 pode ser explicada pela ausência de possíveis hospedeiros intermediários, indicando que o ambiente afeta diretamente no ciclo de vida desses parasitas. Landsberg et al. (1998) demonstrou que nematoides que tipicamente utilizam crustáceos como hospedeiros intermediários são diretamente afetados por contaminantes, pois esses crustáceos são particularmente sensíveis a esses compostos. Nachev e Sures (2009), Chapman et al. (2015) e Blonar et al. (2016), considerando toda a comunidade parasitária, relataram maior diversidade em locais de amostragem menos poluídos, enquanto a composição da fauna e a abundância de alguns parasitas mostraram uma clara relação com o gradiente de poluição.

À primeira vista, as condições ambientais são primariamente importantes para a sobrevivência e o bem-estar do hospedeiro, porém as condições ambientais do hospedeiro também são extremamente importantes para a sobrevivência dos parasitas, embora seus efeitos possam diferir dependendo do ciclo de vida (Sures 2008). A presença de estágios larvais no ponto 1 que parasitam *G. brasiliensis* é uma indicação de que o peixe ocupa uma posição intermediária na teia trófica e deve ser consumido por um hospedeiro definitivo (outro peixe, aves ou mamíferos piscívoros) (Lacerda et al. 2018). Essa abundância de nematoides pode estar relacionada com a onivoria do hospedeiro, o que permite a ingestão de vários organismos que são hospedeiros intermediários de parasitas, facilitando a infecção dos peixes (Santos e Brasil-Sato 2006).

Os menores valores de fator de condição foram verificados para os hospedeiros coletados no ponto 1, apesar de não ter sido verificado diferença significativa entre os pontos. Alterações nos valores de fator de condição podem ocorrer devido a qualidade ou o estado do ambiente em que o peixe está inserido e o parasitismo sobre os hospedeiros (Ranzani-Paiva et al. 2000). Apesar de não ter sido verificada correlação entre o Kn e a abundância de parasitas, os pontos 2 e 3 com os maiores valores no fator de condição, apresentaram maior prevalência de infecção. Lizama et al. (2006) demonstraram em seu trabalho que, peixes parasitados apresentaram maiores valores para o fator de condição que peixes não parasitados, identificando que os indivíduos maiores que apresentaram também valores mais elevados para o Kn toleraram níveis mais altos de parasitismo.

Os parasitas são essenciais para a biodiversidade e produção de ecossistemas, portanto, um sistema saudável é rico em espécies de parasitas (Hudson et al. 2006). A poluição induz uma mudança na estrutura da comunidade em direção ao domínio por espécies tolerantes (Holt e Miller 2011; Parmar et al. 2016), assim, a riqueza diminui como resultado do desaparecimento de táxons à medida que o nível de poluição aumenta, assim, a abundância de espécies sensíveis é reduzida, enquanto a abundância de espécies tolerantes não é afetada ou aumenta (Lafferty 1997; Sures 2005; Adewole et al. 2019).

A ausência de parasitas relatados para o hospedeiro no rio Iguaçu, demonstra que ambiente pode alterar a diversidade. Deste modo, a poluição, bem como, o estresse sofrido pelo ambiente aquático é refletido nos organismos e o uso de parasitas de peixes como bioindicadores podem ser utilizados para avaliar o efeito dos estressores ambientais, porque refletem a presença de diferentes espécies, demonstrando ser uma ferramenta importante para identificar o impacto causado pelas mudanças no ambiente.

REFERÊNCIAS

- ADAMS SM AND GREELEY MS. 2000. Ecotoxicological indicators of water quality: using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. *Water Air Soil Pollut* 123: 103-115.
- ADEWOLE SO, ODEYEMI DF, FATUNWASE OP, CHRISTOPHER VN, OMOYENI TE AND DADA AO. 2019. Parasites as bioindicator for health status and environmental quality of freshwater fish species in Ekiti State, Nigeria. *J of Biomed Eng and Med Imag* 6: 01-07.
- ALIMBA CG AND BAKARE AA. 2016. In vivo micronucleus test in the assessment of cytogenotoxicity of landfill leachates in three animal models from various ecological habitats. *Ecotoxicol* 25: 310-319.
- ANDERSON MJ. 2005. PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance. Department of Statistics, University of Auckland.
- BASTOS LP AND ABILHOA V. 2004. A utilização do índice de integridade biótica para avaliação da qualidade de água: um estudo de caso para riachos urbanos da bacia hidrográfica do rio Belém, Curitiba, Paraná. *Rev Est Biol* 26: 33-44.
- BAUMGARTNER G, PAVANELLI CS, BAUMGARTNER D, BIFI AG, DEBONA T, FRANA VA. 2012. Peixes do baixo rio Iguazu, Maringá: Eduem, 225 p.
- BAUMGARTNER D, BAUMGARTNER G, PAVANELLI CS, DA SILVA PRL, FRANA VA, DE OLIVEIRA LC, MICHELON MR. 2006. Fish Salto Osório Reservoir Iguazu river basin, Paraná State, Brazil. *Check List* 2: 1-4.
- BELLAY S, TAKEMOTO RM, YAMADA FH AND PAVANELLI GC. 2008. A new species of *Sciadicleithrum* (Monogenea: Ancyrocephalinae), gill parasite of *Geophagus brasiliensis* (Quoy and Gaimard) (Teleostei: Cichlidae) from reservoirs in the State of Paraná, Brazil. *Zootaxa* 1700: 63-68.
- BELLAY S, UEDA BH, TAKEMOTO RM, LIZAMA MDLAP AND PAVANELLI GC. 2012. Fauna parasitária de *Geophagus brasiliensis* (Perciformes: Cichlidae) em reservatórios do estado do Paraná, Brasil. *Rev Bras Biocienc* 10: 74.
- BLANAR CA, HEWITT M, MCMASTER M, KIRK J, WANG Z, NORWOOD W AND MARCOGLIESE DJ. 2016. Parasite community similarity in Athabasca River trout-perch (*Percopsis omiscomaycus*) varies with local-scale land use and sediment hydrocarbons, but not distance or linear gradients. *Parasitol Res* 115: 3853-3866.
- BUCKUP PA AND TEIXEIRA JMS. 2007. Família Cichlidae. In: BUCKUP PA, MENEZES NA AND GHAZZI MSA. (Ed.). *Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil*, Rio de Janeiro: Museu Nacional, p. 139-148.

- BUSH AO, LAFFERTY KD, LOTZ JM AND SHOSTAK AW. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *The J of Parasitol* 83: 575-583.
- CARNEIRO C, ANDREOLI CV, DA NOBREGA CUNHA CDL AND GOBBI EF. 2014. *Reservoir eutrophication: Preventive management*, IWA Publishing, 480 p.
- CARVALHO AR, TAVARES LER AND LUQUE JL. 2010. Variação sazonal dos metazoários parasitos de *Geophagus brasiliensis* (Perciformes: Cichlidae) no rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Sci Biol Sci* 32:159-167.
- CHALUPOVÁ D, HAVLÍKOVÁ P AND JANSKÝ B. 2012. Water quality of selected fluvial lakes in the context of the Elbe River pollution and anthropogenic activities in the floodplain. *Environ Monit Assess* 184: 6283-6295.
- CHAPMAN JM, MARCOGLIESE DJ, SUSKI CD AND COOKE SJ. 2015. Variation in parasite communities and health indices of juvenile *Lepomis gibbosus* across a gradient of watershed land-use and habitat quality. *Ecol Indic* 57: 564-572.
- DAGA VS AND GUBIANI ÉA. 2012. Variations in the endemic fish assemblage of a global freshwater ecoregion: associations with introduced species in cascading reservoirs. *Acta Oecol* 41: 95-105.
- DALZUCHIO T, RODRIGUES GZP, PETRY IE, GEHLEN G AND DA SILVA LB. 2016. The use of biomarkers to assess the health of aquatic ecosystems in Brazil: a review. *Int Aqua Res* 8: 283-298.
- EIRAS J DA C, TAKEMOTO RM AND PAVANELLI GC. 2006. *Métodos de estudo e técnicas laboratoriais em parasitologia de peixes*, 2nd ed., Maringá: Eduem, 199 p.
- ESTEVES F DE A. 2011. *Fundamentos de Limnologia*, 3rd ed., Rio de Janeiro: Interciência, 790 p.
- FAJER-ÁVILA EJ, GARCÍA-VÁSQUEZ A, PLASCENCIA-GONZÁLEZ H, RÍOS-SICAIROS J, GARCÍA-DE LA PARRA LM AND BETANCOURT-LOZANO M. 2006. Copepods and larvae of nematodes parasiting the white mullet *Mugil curema* (Valenciennes, 1836): Indicators of anthropogenic impacts in tropical coastal lagoons?. *Environ Monit Assess* 122: 221-237.
- FALKENBERG JM, GOLZIO JES, PESSANHA A, PATRÍCIO J, VENDEL AL AND LACERDA AC. (2019). Gill parasites of fish and their relation to host and environmental factors in two estuaries in northeastern Brazil. *Aquat Ecol* 53: 109-118.
- FERNANDES BMM AND KOHN A. 2001. On some trematodes parasites of fishes from Paraná river. *Braz J Biol* 61: 461-466.
- HAHN NS, FUGI R, ALMEIDA VLL, RUSSO MR AND LOUREIRO VE. 1997. Dieta e atividade alimentar de peixes do reservatório de Segredo. In: AGOSTINHO AA AND GOMES LC. (ed.). *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá: Eduem, 141-162.

HOLT EA AND MILLER SW. 2011. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. *Nat Educ Knowl* 3: 8.

HUDSON PJ, DOBSON AP AND LAFFERTY KD. 2006. Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites?. *Trends Ecol Evol* 21: 381-385.

IAP (2017) Instituto Ambiental do Paraná. Qualidade das Águas – Reservatórios do Estado do Paraná de 2017. 219p. Ed. Fundamento, Brasil. (in Portuguese). Available in: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Qualidade_das_aguas/Relatoriofinal.pdf

IBGE. 2010. IBGE | Censo 2010. Available in: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>

LACERDA ACF, ROUMBEDAKIS K, JUNIOR JB, NUÑER APO, PETRUCIO MM AND MARTINS ML. 2018. Fish parasites as indicators of organic pollution in southern Brazil. *J Helminthol* 92: 322-331.

LAFFERTY KD. 1997. Environmental parasitology: what can parasites tell us about human impacts on the environment?. *Parasitol Today* 13: 251-255.

LAFFERTY KD AND KURIS AM. 2005. Parasitism and environmental disturbances. In: THOMAS RF, THOMAS F, GUÉGAN JF, RENAUD F, RENAUD RF, GUEGAN JF AND GAN J. F. O. G. (Eds.). *Parasitism and ecosystems*, Oxford University Press on Demand, p. 113-123.

LANDSBERG JH, BLAKESLEY BA, REESE RO, MCRAE G AND FORSTCHEN PR. 1998. Parasites of fish as indicators of environmental stress. *Environ Monit Assess* 51: 211-232.

LE CREN ED. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonadal weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *J Anim Ecol* 20: 201-219

LEGENDRE P AND LEGENDRE L. 1998. *Numerical ecology*. Amsterdam: Elsevier Science.

LIZAMA MAP, FERNANDES ES, TAKEMOTO RM AND PAVANELLI GC. 2010. Nematóides parasitas do bagre e peixe-cachorro da bacia do rio Pitangui: podem fazer mal ao homem?. In: GEALH AM, MELO MS AND MORO RS. *Pitangui, rio de contrastes, seus lugares, seus peixes, sua gente*, Ponta Grossa: UEPG, p. 199.

LIZAMA MAP, TAKEMOTO RM AND PAVANELLI GC. 2006. Parasitism influence on the hepato, splenosomatic and weight/length relation and relative condition factor of *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (Prochilodontidae) of the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Rev Bras Parasitol* V 15: 116-122.

MAACK R. 1981. *Geografia física do Estado do Paraná*, J. Olympio, 442 p.

MACKENZIE K, WILLIAMS HH, WILLIAMS B, MCVICAR AH AND SIDDALL R. (1995). Parasites as indicators of water quality and the potential use of helminth transmission in marine pollution studies. *Adv Parasit* 35: 85-144.

- MACKENZIE K. 1999. Parasites as pollution indicators in marine ecosystems: a proposed early warning system. *Mar Pollut Bull* 38: 955-959.
- MADI RR AND UETA MT. 2009. O papel de Ancyrocephalinae (Monogenea: Dactylogyridae), parasita de *Geophagus brasiliensis* (Pisces: Cichlidae), como indicador ambiental. *Rev Bras Parasitol* V 18: 38-41.
- MADI RR AND UETA MT. 2012. Parasitas de peixes como indicadores ambientais. In: SILVA-SOUZA AT, LIZAMA MAP AND TAKEMOTO RM. (Eds.). *Patologia e Sanidade de Organismos Aquáticos*, Maringá: Massoni, p. 33-58.
- MARCOGLIESE DJ AND CONE DK. 1997. Parasite communities as indicators of ecosystem stress. *Parassitologia* 39: 227-232.
- MARCOGLIESE DJ. 2004. Parasites: small players with crucial roles in the ecological theater. *EcoHealth* 1:151-164.
- MARCOGLIESE DJ. 2005. Parasites of the superorganism: are they indicators of ecosystem health?. *Int J Parasitol* 35: 705-716.
- MIZUKAWA A, MOLINS-DELGADO D, DE AZEVEDO JCR, FERNANDES CVS, DÍAZ-CRUZ S AND BARCELÓ D. 2017. Sediments as a sink for UV filters and benzotriazoles: the case study of Upper Iguaçú watershed, Curitiba (Brazil). *Environ Sci Pollut Res* 24: 18284-18294.
- MORAVEC F. 1998. Nematodes of freshwater fishes of the Neotropical Region, Czech Republic: Academia, Praha, 464 p.
- NACHEV M AND SURES B. 2009. The endohelminth fauna of barbel (*Barbus barbus*) correlates with water quality of the Danube River in Bulgaria. *Parasitol* 136: 545-552.
- NEGREIROS LP, PEREIRA FB, TAVARES-DIAS M AND TAVARES LE. 2018. Community structure of metazoan parasites from *Pimelodus blochii* in two rivers of the Western Brazilian Amazon: same seasonal traits, but different anthropogenic impacts. *Parasitol Res* 117: 3791-3798.
- OKSANEN J, BLANCHET FG, KINDT R, LEGENDRE P, O'HARA RB, SIMPSON GL, STEVENS MHH AND WAGNER H. 2016. Vegan: Community Ecology Package. R Package, Version 2. pp. 3-4, <http://cran.r-project.org/web/packages/vegan>. Acesso em 10 de dezembro de 2019.
- OVERSTREET RM. 1997. Parasitological data as monitors of environmental health. *Parassitologia* 39: 169-175.
- PAIVA MP. 1982. Grandes represas do Brasil. In: *Grandes represas do Brasil*. Editerra. 292 p.
- PARMAR TK, RAWTANI D AND AGRAWAL YK. 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Front Life Sci* 9:110-118.

R Development Core Team. (2018). R: a language and environment for statistical computing [online]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

RANZANI-PAIVA MJT, SILVA-SOUZA AT, PAVANELLI GC AND TAKEMOTO RM. Hematological characteristics and relative condition factor (Kn) associated with parasitism in *Schizodon borelli* (Osteichthyes, Anostomidae) and *Prochilodus lineatus* (Osteichthyes, Prochilodontidae) from Paraná River, Porto Rico, Paraná, Brazil. Acta Sci Biol Sci 22: 515-521, 2000.

SANTOS MD AND BRASIL-SATO MC. 2006. Parasitic community of *Fransciscodoras marmoratus* (Reinhardt, 1874)(Pisces: Siluriformes, Doradidae) from the upper São Francisco river, Brazil. Braz J Biol 66: 931-938.

SILVA-SOUZA AT, SHIBATTA OA, MATSUMURA-TUNDISI T, TUNDISI JG AND DUPAS FA. 2006. Parasitas de peixes como indicadores de estresse ambiental e eutrofização. In: TUNDISI JG, MATSUMURA-TUNDISI T AND SIDAGIS GALLI C. (Ed.). Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle. São Carlos: IIE. p. 373-386.

SIMPSON GL. 2018. Permute: functions for generating restricted permutations of data. R Package 0.9-4. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

SMIL V. 2000. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. Annu Rev Energ Env 25: 53-88.

STATSOFT INC. 2005. Statistica for Windows (data analysis software system), version 7.1. Statsoft, Tulsa, Oklahoma (USA).

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. 1997. Qualidade das águas interiores do Estado do Paraná. 1987-1995, Curitiba: SUDERHSA, 257 p.

SURES B. 2004. Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. Trends Parasitol 20: 170-177.

SURES B. 2005. Effects of pollution on parasites, and use of parasites in pollution monitoring. Mar Parasitol 421-425.

SURES B. 2008. Environmental Parasitology. Interactions between parasites and pollutants in the aquatic environment. Parasite 15: 434-438.

SURES B, NACHEV M, SELBACH C AND MARCOGLIESE DJ. 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. Parasit Vector 10: 65.

SURES B AND STREIT B. 2001. Eel parasite diversity and intermediate host abundance in the River Rhine, Germany. Parasitol 123: 185-191.

- SZALAI AJ AND DICK TA. 1990. *Proteocephalus ambloplitis* and *Contracaecum* sp. from largemouth bass (*Micropterus salmoides*) stocked into Boundary Reservoir, Saskatchewan. The J Parasitol 76: 598-601.
- THATCHER VE. 2006. Amazon fish parasites. Vol. 1. Pensoft Publishers.
- THOMPSON MY, BRANDES D AND KNEY AD. 2010. Using electronic conductivity and hardness data for rapid assessment of stream water quality. In: World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change. p. 3356-3365.
- TUNDISI JG AND TUNDISI MT. 2008. Limnologia, São Paulo: Oficina de Textos, 631p.
- VALTONEN ET, HOLMES JC AND KOSKIVAARA M. (1997). Eutrophication, pollution and fragmentation: effects on parasite communities in roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*) in four lakes in central Finland. Can J Fish Aquat Sci 54: 572-585.
- VICENTE JJ AND PINTO RM. 1999. Nematóides do Brasil. Nematóides de peixes. Atualização: 1985-1998. Rev Bras Zool 16: 561-610.
- VIDAL-MARTÍNEZ VM, PECH D, SURES B, PURUCKER T AND POULIN R. 2010. Can parasites really reveal environmental impact?. Trends Parasitol 26: 44-51.
- VIDAL-MARTÍNEZ VM AND WUNDERLICH AC. 2017. Parasites as bioindicators of environmental degradation in Latin America: a meta-analysis. J Helminthol 91: 165-173.
- VITOUSEK PM, PORDER S, HOULTON BZ AND CHADWICK OA. 2010. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen–phosphorus interactions. Ecol Applic 20: 5-15.
- VON ZUBEN CJ. 1997. Implicações da agregação espacial de parasitas para a dinâmica populacional na interação hospedeiro-parasita. Rev Saúde Pú 31: 523-530.
- ZAR JH. 2010. Biostatistical analysis, New Jersey: Prentice Hall, 944 p.
- ZARGAR UR, CHISHTI MZ, YOUSUF AR AND FAYAZ A. 2012. Infection level of monogenean gill parasite, *Diplozoon kashmirensis* (Monogenea, Polyopisthocotylea) in the Crucian Carp, *Carassius carassius* from lake ecosystems of an altered water quality: What factors do have an impact on the *Diplozoon* infection?. Vet Parasitol 189: 218-226.
- ZAWADZKI CH, RENESTO E AND BINI LM. 1999. Genetic and morphometric analysis of three species of the genus *Hypostomus* Lacépède, 1803 (Osteichthyes: Loricariidae) from the Iguazu basin (Brazil). Rev Suisse Zool 106: 91-105.