



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANA CECÍLIA HOFFMANN

**DIVERSIDADE E BIOGEOGRAFIA DE PEIXES DE
CABECEIRAS DE RIACHOS DE MATA ATLÂNTICA DA
REGIÃO SUL DO BRASIL**

Londrina
2016

ANA CECÍLIA HOFFMANN

**DIVERSIDADE E BIOGEOGRAFIA DE PEIXES DE
CABECEIRAS DE RIACHOS DE MATA ATLÂNTICA DA
REGIÃO SUL DO BRASIL**

Tese apresentada a Universidade Estadual de Londrina para obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Akio Shibatta

Londrina
2016

Hoffmann, Ana Cecília

Diversidade e Biogeografia de peixes de cabeceiras de riachos de Mata Atlântica da região Sul do Brasil / Ana Cecília Hoffmann – 2016.

121p.: il., mapa.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Londrina

1. Ictiofauna 2. Endemismo 3. Cabeceiras 4. Bacias Hidrográficas 5. Paraná
6. rio Tibagi I. Hoffmann, A.C.

ANA CECÍLIA HOFFMANN

**DIVERSIDADE E BIOGEOGRAFIA DE PEIXES DE
CABECEIRAS DE RIACHOS DE MATA ATLÂNTICA DA
REGIÃO SUL DO BRASIL**

Tese apresentada a Universidade Estadual de Londrina para obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Oscar Akio Shibatta
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. José Luís Olivan Birindelli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Fernando Camargo Jerep
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Lenice de Souza Shibatta
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Thais Pires Miranda
Instituto de Biociências – Universidade de São
Paulo – USP

Londrina, 01 de junho de 2016.

DEDICATÓRIA

As minhas filhas ...

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas pelas instalações cedidas e pela oportunidade de desenvolvimento desta tese.

Ao Prof. Dr. Oscar Akio Shibatta, meu orientador, meus sinceros agradecimentos pelo suporte profissional e por todo conhecimento a mim concedido.

Aos professores José Luis Oliven Birindelli, Fernando Camargo Jerep, Lenice de Souza Shibatta e Thais Pires Miranda pela solicitude e prontidão em aceitar o convite para participar da banca examinadora. Também aos professores Bruno Ambrozio Galindo, Lúcia Giulliano Caetano e Silvia Helena Sofia por aceitar fazer parte desta banca.

Aos professores Sirlei Benemann, Fernando Camargo Jerep e José Luis Oliven Birindelli pelas contribuições na banca de qualificação.

Aos colegas do MZUEL, pela ajuda em campo e pelas experiências divididas.

Aos meus queridos colegas de trabalho da Universidade Estadual do Norte do Paraná que não mediram esforços para me ajudar junto à Universidade para que este trabalho fosse realizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Àos meus pais e irmãs, que sempre me apoiaram de todas as formas possíveis me dando suporte para a realização deste trabalho.

Por fim, ao meu esposo e filha, que sempre estiveram ao meu lado, compreenderam a minha ausência, que são e sempre serão minhas prioridades em tudo o que eu faço.

RESUMO

A tese apresenta um estudo biogeográfico realizado em bacias hidrográficas adjacentes na região de Mata Atlântica no estado do Paraná, através de coletas de peixes em cabeceiras de riachos. O primeiro capítulo foi escrito sob a hipótese de que as cabeceiras de riachos são regiões de alto endemismo, onde o objetivo geral foi identificar áreas de endemismo nas bacias Ribeira de Iguape, Iguaçu e Paranapanema. Para este objetivo foram realizadas a Análise de Parcimônia de Endemismo (PAE) e a Análise de Endemicidade (AE) através do software NDM/VNDM. As bacias do rio Paranapanema (Alto Paraná), Iguaçu e Ribeira de Iguape são áreas de endemismo nas duas análises. Além disso, as regiões de cabeceiras de riachos são pequenas áreas identificadas pela AE que se mostraram importantes áreas de endemismo com exclusividade em sua composição ictiofaunística dentro do quadro amostral. Algumas cabeceiras de riachos do rio Tibagi compartilham espécies com o Iguaçu e o Ribeira de Iguape devido a eventos mais recentes de captura de cabeceiras. Estes resultados demonstram a importância de associar mais de uma metodologia na determinação de áreas de endemismo quando temos que eleger áreas de endemismo menores como prioritárias diante das dificuldades associadas à conservação. No segundo capítulo, intitulado “*Fish fauna from tributaries throughout the Tibagi River basin, upper Paraná basin, Brazil*”, que foi publicado na revista *Check List the journal of biodiversity data*, foram identificadas 47 espécies de peixes nas cabeceiras ao longo de toda a bacia do rio Tibagi. A região do baixo Tibagi foi a que apresentou maior riqueza de espécies comparada com as porções do médio e alto Tibagi além do maior número de espécies exclusivas.

Palavras-chave: ictiofauna; endemismo; cabeceiras; bacias hidrográficas; Paraná; rio Tibagi.

ABSTRACT

The dissertation presents a biogeographic study performed in adjacent hydrographic basins, using fishes captured in headwater stream areas. The first chapter was written under the assumption that the headwater streams are areas of high endemism, where the general objective was to identify areas of endemism in the basins of Ribeira de Iguape, Iguapu and Paranapanema. For this purpose, a Parsimony analysis of endemism (PAE) and Endemicity analysis (EA) was performed through the software NDM/VNDM. The basins of Paranapanema River (upper Parana), Iguapu and Ribeira do Iguape are endemism areas in both analyses; however, the analyses differed in the number of areas of endemism, and by the size of identified areas. Besides, the headwater stream regions correspond to small areas identified by EA, that showed to be important areas of endemism with exclusivity for its ichthyofaunistic composition into the sampling frame, probably due to ecology isolation of species. Some headwater streams of the Tibagi river shared species with the Iguacu and hte Ribeira do Iguape due to recent events of headwater capture. These results show the importance of associating more than one methodology to determine areas of endemism, especially for determining areas of priority to conservation. In the second chapter, entitled "*Fish fauna from tributaries throughout the Tibagi River basin, upper Paraná basin, Brazil*" which was published in the journal *Check List the journal of biodiversity date* have identified 47 species of fish in the headwaters throughout the Tibagi river basin. The low Tibagi region showed the highest species richness compared to the portions of the middle and high Tibagi well as the largest number of unique species.

Key-words: fish fauna; endemism; headwater; hydrographic basins; Paraná; Tibagi river.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	08
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
OBJETIVOS	19
HIPÓTESE	20
CAPÍTULO I – ARTIGO CIENTÍFICO: “Diversidade e biogeografia de peixes de cabeceiras de riachos de Mata Atlântica da região Sul do Brasil”	21
CAPÍTULO II – ARTIGO CIENTÍFICO: “Fish fauna from tributaries throughout the Tibagi River basin, upper Paraná basin, Brazil”	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
Apêndice 1 – Lista de <i>vouchers</i> dos espécimes examinados no presente estudo com número de indivíduos por bacia	77
Apêndice 2 – Tabelas (I a VII) com a listagem de espécies por ponto amostral	83
Apêndice 3 – Parecer do Comitê de Ética da Universidade Estadual de Londrina	118

INTRODUÇÃO GERAL

O endemismo é uma das mais significativas características da distribuição biogeográfica (Rosen, 1988), pois é uma consequência de fatores históricos e ecológicos. A principal e mais comum explicação para a distribuição dos organismos é dada pelos eventos históricos que justificam como o táxon se torna confinado em seus limites atuais, onde estão envolvidos eventos de vicariância causados por tectonismo (Morrone, 2009). Já os fatores ecológicos explicam o atual limite de táxons endêmicos através de fatores abióticos e bióticos, os quais são comumente considerados (Morrone, 2009).

O termo endemismo foi cunhado pela primeira vez em 1820, pelo botânico francês Augustin Pyramus de Candolle que publicou um trabalho intitulado “Geografia de Plantas”, no qual discutiu a distribuição das plantas e sua relação com o ambiente, introduzindo o conceito de endemismo e espécies disjuntas (Gillung, 2011). De Candolle também introduziu o conceito de área de endemismo quando em seu livro sobre distribuição de Asteraceae ele escreveu: “These regions were not established a priori; I have only recognized as such those areas that are naturally defined and in which I have seen several endemic species” (Crisci et al., 2003).

As áreas de endemismo são importantes em biogeografia por duas razões: 1) são unidades de análises biogeográficas que são fundamentais para hipóteses sobre a história de sua biota (Morrone & Crisci, 1995); 2) estas áreas incluem muitas espécies endêmicas e deveriam ser áreas prioritárias nos esforços conservacionistas (Fjeldsâ, 1993).

Apesar da sua importância indiscutível, os termos “endêmico” e “áreas de endemismo” têm sido utilizados com vários significados diferentes (Anderson, 1994), envolvendo vários problemas que vão desde sua definição até a identificação de áreas de endemismo (Andersson, 1996; Harold & Mooi, 1994; Morrone, 1994; Linder, 2001; Hausdorf, 2002; Szumik et al., 2002; Szumik & Goloboff, 2004).

Em biogeografia, o termo área de endemismo, em sua maioria, é utilizado para se referir a um padrão particular de distribuição em áreas relativamente pequenas que têm um número significativo de espécies que não ocorrem em nenhum outro lugar (Nelson & Platnick, 1981), e é delimitada pela congruência na distribuição de pelo menos dois táxons (Platnick, 1991). Dado que o alcance de distribuição de um táxon é

determinado por fatores históricos, tão bem como fatores ecológicos, pode ser assumido que táxons que mostram alcances geográficos similares podem ter sido afetados pelos mesmos fatores de forma similar (Szumik et al., 2002). Devido a isso, o reconhecimento desses padrões tem sido fundamental para a biogeografia. Conseqüentemente, esta definição conceitual, tão bem quanto a metodologia escolhida, desempenham um papel essencial nas análises biogeográficas (Linder, 2001), já que tradicionalmente as áreas de endemismo são consideradas unidades básicas nas análises de Biogeografia Histórica (Crisci et al., 2003; Nihei, 2008; Carvalho, 2010).

A base do reconhecimento de áreas de endemismo é a distribuição congruente de táxons endêmicos (Morrone, 1994; Szumik et al., 2002), mas esta congruência é difícil de ser reconhecida devido a padrões básicos biogeográficos que podem ser obscurecidos por muitos fatores tais como dispersão, extinção, etc (Domínguez et al., 2006). O maior problema metodológico encontrado então é saber qual o nível de congruência espacial, isto é, qual o grau de sobreposição entre as áreas de distribuição das espécies que pode ser aceito para a delimitação da área de endemismo (Carvalho, 2010). Embora ninguém espere congruência exata nos limites de distribuição de duas ou mais espécies, em qualquer escala possível de mapeamento, uma extensa simpatria deve existir em nível relevante (Platnick, 1991; Morrone, 1994).

Em geral, os métodos atuais para o reconhecimento de áreas de endemismo podem ser classificados com base: (1) nos padrões das espécies e grupos de espécies com distribuições sobrepostas, ou (2) padrões geográficos de grupos, ou seja, de unidades de área com a composição de espécies semelhantes. Estas abordagens avaliam aspectos intimamente relacionados, mas dados biogeográficos diferentes.

Alguns dos métodos utilizados para determinar as áreas de endemismo são a Análise de Parcimônia de Endemicidade (Rosen, 1988), a panbiogeografia ou método dos traços (Morrone, 1999), Elementos Bióticos (Hausdorf & Hennig, 2003), UPGMA (Linder, 2001), a Análise de Endemicidade (através do software VNDN/NDM; Szumik et al., 2002; Szumik & Goloboff, 2004), a Análise de Clados Aninhados (Deo & DeSalle, 2006) e o Método de Análise de Rede (Santos et al., 2008). Este último identifica áreas de grande simpatria e os autores consideram serem candidatas a áreas de endemismo.

A Análise de Parcimônia de Endemismo (PAE) foi o primeiro método proposto para identificar formalmente áreas de endemismo (Morrone, 1994) e este método tem

sido escolhido entre os métodos hierárquicos, e segundo Carvalho (2010) vem sendo amplamente utilizado nos últimos anos.

Para a PAE os dados consistem em uma matriz binária em que a presença de uma dada espécie de uma unidade de área é codificada por 1 e a sua ausência por 0 (Casagrande & de Grosso, 2013). Análoga a uma análise filogenética, a PAE agrupa de maneira hierárquica unidades de área (análoga ao táxon) com base em suas espécies compartilhadas (análogas aos caracteres) de acordo com o critério de máxima parcimônia, tentando minimizar ambos os "eventos de dispersão" (paralelismos) e "extinções" (reversões secundárias) de espécies dentro de uma determinada área (Casagrande & de Grosso, 2013). As áreas de endemismo são definidas a partir da árvore mais parcimoniosa (ou consenso estrito) como grupos de unidades de área apoiados por duas ou mais "espécies sinapomórficas" (isto é, espécies endêmicas) (Casagrande & de Grosso, 2013). Portanto, a PAE é especialmente rigorosa quando penaliza a ausência de uma espécie dentro de uma área, o que a torna mais propensa em falhar na detecção de um número relativamente grande de áreas de endemismo (Casagrande & de Grosso, 2013).

A PAE (Rosen, 1988; Morrone, 1994) é justificada pelo fato que, se o mesmo evento histórico separou táxons de uma biota ancestral, da mesma forma, a presença de táxons compartilhados poderia refletir o quanto as áreas estiveram historicamente conectadas a outras áreas (Bates et al., 1998). No entanto, esta é uma das maiores críticas ao método, onde o compartilhamento de espécies propõe uma história comum que mostraria as relações históricas entre as áreas e endemismo (Carvalho, 2010). Morrone (2005) aponta que a PAE é uma ferramenta empregada para a identificação de áreas de endemismo e na detecção de homologias biogeográficas primárias da relação das áreas endêmicas, mas que devem ser testadas por métodos de biogeografia cladística.

A Análise de Endemicidade (AE), que tem sido usada por estudos mais recentes, foi proposta por Szumik et al. (2002) e Szumik & Goloboff (2004) que formalizaram um método para identificar áreas de endemismo que leva em conta o conceito geral de áreas de endemismo de Platnick (1991). Nesta análise as espécies são pontuadas de acordo com o quão bem sua distribuição corresponde a uma determinada área (conjuntos de células de grade) e as áreas com maior pontuação são salvas (Szumik & Goloboff, 2004). Por se utilizar de métodos numéricos através de grade de células para

procurar a congruência das distribuições esta análise reduz a subjetividade de quão simpátricas estas distribuições devem ser (Da Silva, 2011).

O método consiste na análise de uma grade de células ou quadrículas definidas, onde um grupo de quadrículas terá um valor de endemidade calculado de acordo com o ajuste das localidades das espécies endêmicas localizadas nesta área (Carvalho, 2010). O maior valor será indicado para as espécies que ocorrem em todas as quadrículas identificadas na área de endemismo, diminuindo o valor para as espécies que sucedem em um número menor de quadrículas e terminando com aquelas espécies que ocorrem também fora da área endêmica proposta (Carvalho, 2010). Neste contexto esta análise identifica como área de endemismo um conjunto de táxons que existe em uma área e em nenhuma outra área dentro de uma escala de estudo.

Nos resultados de estudos que compararam estas duas metodologias (Arias et al., 2010; Casagrande & de Grosse, 2013), baseados em áreas e espécies hipotéticas e reais, ficou evidenciado que a PAE é capaz de recuperar áreas definidas por espécies perfeitamente simpátricas, mas seu desempenho diminui à medida que a incongruência entre as distribuições de espécies aumenta. Já a AE é bastante sensível a certos aspectos dos dados, tais como lacunas espaciais de informação. Esses estudos evidenciam ainda que as vantagens de AE em relação a outros métodos estão relacionadas à consideração da informação espacial durante a identificação de áreas, bem como na utilização da definição clássica de área de endemismo de Platnick (1991) como a base para a análise, onde a congruência da distribuição não exige acordo completo sobre os limites em todas as escalas possíveis de mapeamento, mas é um pré-requisito a ocorrência de simpatria relativamente extensa.

Segundo Casagrande & de Grosse (2013) a flexibilidade no reconhecimento de áreas indicadas pela AE está relacionada com o fato de, em contraste com os outros métodos como a PAE, a AE utiliza tanto o número de espécies e a sobreposição entre as suas distribuições como critérios de otimização de pesquisa de áreas de endemismo. As mesmas autoras ainda relatam que o principal problema com a AE é a identificação frequente de áreas duplicadas que têm apenas pequenas diferenças na estrutura espacial e/ou na sua composição de espécies, mas que este problema pode ser resolvido através da construção de áreas de consenso que se fundem áreas semelhantes para simplificar a análise dos resultados.

Segundo Carvalho (2010) as duas análises não se diferem significativamente entre as áreas encontradas, mas diferem-se principalmente no número delas e no número de espécies endêmicas encontradas.

Na América do Sul, grandes áreas de endemismo são reconhecidas apesar da enorme diversidade taxonômica e de habitat, oriunda de uma complexa história geológica (Carvalho, 2010).

Dado que a presença de espécies confinadas a pequenas regiões é extraordinariamente alta em ecossistemas de água doce (Abell, 2008) e como em outros ecossistemas tropicais, a maioria das espécies de peixes na América do Sul têm distribuições geográficas restritas (Albert & Reis, 2011), os peixes são ótimos elementos bióticos para estudos biogeográficos. Na América do Sul mais de metade das espécies de peixes de água doce (54,6%) estão restritas a uma única ecorregião, e 90% são conhecidas de cinco ecorregiões ou menos (Albert & Reis, 2011). As distribuições das espécies de peixes apresentam um registro singular dos eventos biogeográficos do passado devido ao tipo de limitações impostas nos processos de dispersão que eles enfrentaram em seu habitat (Weitzman & Weitzman, 1982). Além disso, os peixes possuem distribuições geográficas comparativamente muito menores do que os outros grupos de vertebrados devido às barreiras físicas que dividem os rios, o que permite a identificação de áreas de endemismo em uma resolução espacial muito mais fina (Tedesco et al., 2005).

O primeiro autor a realizar uma ampla análise de padrões biogeográficos em peixes sul-americanos foi Eigenmann em 1909, que dividiu a América do Sul em três regiões “ictiogeográficas” (Ribeiro et al., 2010). Na segunda metade do século XX, os biogeógrafos passaram a focar as grandes bacias hidrográficas sul-americanas como unidades de endemismo quando surgiram várias tentativas de identificar e definir regiões faunísticas dentro da América do Sul (Buckup, 1999). Géry, em 1969, dividiu a América do Sul em oito regiões biogeográficas (Buckup, 1999). Em 1975, Ringuelet identificou vinte áreas de endemismo para os peixes da América do Sul, sendo que a maioria delas eram subdivisões das áreas apresentadas pelos dois autores que o antecederam (Ribeiro et al., 2010).

Em 1982, Weitzman & Weitzman publicaram um dos primeiros estudos baseados em vicariância como o principal mecanismo de diferenciação ictiofaunística (Buckup, 1999). Em 1988, Menezes identificou várias regiões de endemismo em

riachos brasileiros e Weitzman, no mesmo ano, sugeriu que a captura de cabeceiras, e principalmente a vicariância e dispersão resultantes das variações do nível do mar, seriam os principais mecanismos de isolamento geográfico associados à diversificação de peixes das bacias da costa do Atlântico. Os padrões biogeográficos da ictiofauna de água doce da América do Sul foram resumidos em 1998 por Vari & Malabarba, em 2006, por Ribeiro que utilizou a ordem Characiformes por Hubert & Renno, em 2011 por Albert & Reis, e em 2012 por Goldani.

Lundberg et al. (1998) e Ribeiro (2006) destacaram que o estabelecimento das grandes bacias atuais da região Neotropical (Amazonas, Orinoco e Paraná) ocorreu durante os últimos 10 Ma, e reforçaram o papel da dinâmica Andina e dos paleoarcos na formação de bacias hidrográficas modernas por eventos vicariantes de captura de cabeceiras.

A Bacia do Paraná está localizada no nordeste da Bacia do Prata, que se estende por uma área de mais de 1.400.000 km² no sul do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, constituindo 48,7% da superfície total da Bacia do Prata (Albert & Reis, 2011). A porção alta do rio Paraná é a região mais investigada em se tratando de peixes de água doce brasileiros (Agostinho et al., 2007), mas ainda está longe de ser bem conhecida (Langeani et al., 2007; Galves et al., 2009). O Alto Paraná bem como as bacias adjacentes do Ribeira de Iguape e Iguaçu são consideradas ecoregiões para a fauna de peixes de água doce devido ao baixo compartilhamento de sua composição ictiofaunística (Abell, 2008).

Considerando que a fauna de peixes de riachos ainda representa uma lacuna do conhecimento (Buckup, 1999) e que as porções de cabeceiras possuem um elevado endemismo devido a baixa capacidade de dispersão das espécies residentes nessas regiões (Castro, 1999), estudos regionais se tornam de extrema importância para determinar pequenas áreas de endemismo localizadas dentro de grandes áreas endêmicas das bacias hidrográficas, para serem priorizadas diante das dificuldades atuais dos esforços conservacionistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abell, R., M. L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, B. Coad, N. Mandrak, S. C. Balderas, W. Bussing, L. Melanie, J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, J. Robertson, E. Armijo, J. V Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H. L. López, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. S. Pérez, R. Abell, M. L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrak, S. C. Balderas, W. Bussing, M. L. J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J. V Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, H. L. López, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. S. Pérez, & P. Petry, 2008. *Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation*. .
- Agostinho, A. A.; Júlio Junior, H. F.; Gomes, L. C.; Bini, L. M.; Agostinho, C. S. 1997. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. In: Vazzoler, A. E. A. M.; Agostinho, A. A.; Hahn, N. S. (Ed.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: EDUEM. p. 179-208.
- Albert, J. L. & Reis, R. E. 2011. *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. University Californis Press.
- Anderson, S. 1994. Area and endemism. *Quarterly Review of Biology*, 69, 451–471.
- Andersson, L. 1996. An ontological dilemma: Epistemology and methodology of historical biogeography. *J. Biogeog.* 23:269–277.
- Arias J S, Casagrande M D, Diaz Gómez J M. 2010. A comparison of NDM and PAE using real data. *Cladistics*; 26, 204.
- Bates, J. M., S. J. Hackett, & J. Cracraft, 1998. Area-relationships in the Neotropical lowlands: an hypothesis based on raw distribution of passerine birds. *J. Biogeography*. , 783–793.
- Buckup, P. A. 1999. Sistemática e biogeografia de peixes de riachos. In: Caramaschi, E. P.; Mazzoni, R.; Peres-Neto, P. R. *Ecologia de Peixes de Riachos*. Rio de Janeiro:

UFRJ, 91-138 (Série Oecologia Brasiliensis, 6).

Carvalho, C. J. B. 2010. Áreas de Endemismo. In: Carvalho, C. J. B. Biogeografia da América do Sul: Padrões e Processos - São Paulo: Editora Roca.

Casagrande, D., & M. De Grosso, 2013. Areas of Endemism: Methodological and Applied Biogeographic Contributions from South America. Current Progress in Biological Research 3–18, http://cdn.intechopen.com/pdfs/43401/InTech-Areas_of_endemism_methodological_and_applied_biogeographic_contributions_from_south_america.pdf.

Castro, R. M. C. 1999. Evolução da ictiofauna de riachos Sulamericanos: padrões gerais e possíveis processos casuais, p. 139-155. In: Caramaschi, E.P.; Mazzoni, R.; Peres-Neto, P. R. (Eds). Ecologia de peixes de riachos. Série Oecologia Brasiliensis, vol. VI. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.

Crisci, J. V., L. Katinas, & O. Posadas. 2003. Historical biogeography: an introduction. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Da Silva, M. B. 2011. Áreas de Endemismo: as espécies vivem em qualquer lugar, onde podem ou onde historicamente evoluíram? Revista da Biologia. Vol. Esp. Biogeografia: 12-17.

Deo, A. J., & R. DeSalle, 2006. Nested areas of endemism analysis. Journal of Biogeography 33: 1511–1526.

Domínguez, M., S. Roig-Juñent, J. J. Tassin, F. C. Ocampo, & G. E. Flores, 2006. Areas of endemism of the Patagonian steppe: An approach based on insect distributional patterns using endemism analysis. Journal of Biogeography 33: 1527– 1537.

Fjeldså, J. 1993. The avifauna of the Polylepis woodlands of the Andean highlands: the efficiency of basing conservation priorities on patterns of endemism. Bird Conservation International, 3, 37–55.

Galves, W, Shibatta, O. A. & Jerep, F. C. 2009. Estudos sobre a diversidade de peixes do alto rio Paraná: uma revisão histórica. Semina: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 30, n. 2, p. 141-154.

Gillung, J.P. 2011. Biogeografia: a história de vida na Terra. Revista da Biologia. Vol. Esp. Biogeografia: 1-5.

Goldani, A. 2012. Biogeografia Histórica da região Neotropical: Análise de Parcimônia de Endemismo com dados distribucionais de peixes. Revista eletrônica de Biologia. 5 (3): 12-41.

Harold, A. S., & R. D. Mooi. 1994. Areas of endemism: Definition and recognition criteria. Syst. Biol. 43:261-266.

Hausdorf, B., 2002. Units in Biogeography. Systematic Biology 51: 648–652, <http://sysbio.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1080/10635150290102320>.

Hausdorf, B., & C. Hennig, 2003. Biotic element analysis in biogeography. Systematic biology 52: 717–723.

Hubert, N. & J. F. Renno. 2006. Historical biogeography of South American freshwater fishes. Journal of Biogeography. 33: 1414-1436.

Langeani, F., 2007. Diversidade da ictiofauna do Alto Rio Paraná : composição atual e perspectivas futuras. Biota Neotropica 7: 181–197.

Linder, H. P., 2001. On areas of endemism, with an example from the African Restionaceae. Systematic biology 50: 892–912.

Lundberg, J. G., L. G. Marshall, J. Guerrero, B. Horton, M. C. S. L. Malabarba, & F. Wesselingh, 1998. The stage for neotropical fish diversification a history of tropical south american rivers. Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes. , 603.

Morrone, J. J. 1994. On the identification of areas of endemism. System. Biol., Washington, v. 43, p. 438-441.

Morrone, J. J. 1999. The species of Entiminae (Coleoptera: Curculionidae) ranged in America south of the United States. Anales del Instituto de Biología de la UNAM, serie Zoología 70: 99–168.

Morrone, J.J. 2005. Cladistic biogeography: identity and place. Journal of Biogeography, 32, 1281–1284.

- Morrone, J.J. (2009) *Evolutionary Biogeography: an integrative approach with case studies*. New York: Columbia University Press.
- Morrone, J. J., 2014. Parsimony analysis of endemism (PAE) revisited. *Journal of Biogeography* 41: 842–854.
- Morrone, J.J. & Crisci, J.V. 1995. Historical biogeography: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26, 373–401.
- Nelson, G., & N. Platnick. 1981. *Systematics and biogeography: Cladistics and vicariance*. Columbia Univ. Press, New York.
- Nihei, S. S., 2008. Dynamic endemism and “general” biogeographic patterns. *Biogeografia* 2–6.
- Platnick, N. I. 1991. On areas of endemism. *Aust. Syst. Bot.* 4:xi-xii.
- Ribeiro, A. C., 2006. Tectonic history and the biogeography of the freshwater fishes from the coastal drainages of eastern Brazil: An example of faunal evolution associated with a divergent continental margin. *Neotropical Ichthyology* 4: 225–246.
- Ribeiro, A. C., de Lima, F. C. T. & Menezes, N. A. 2010. *Biogeografia dos Peixes de Água Doce da América do Sul*. In: Carvalho, C. J. B. *Biogeografia da América do Sul: Padrões e Processos* - São Paulo: Editora Roca.
- Rosen, B. R. 1988. From fossils to earth history: applied historical biogeography. In: Myers, A. A., & Gillers, P. S. (eds.). *Analytical Biogeography: An integrated approach to the study of animal and plant distribution*. Chapman & Hall, London. p. 437-481.
- Szumik, C. a, F. Cuezco, P. a Goloboff, & A. E. Chalup, 2002. An Optimality Criterion to Determine Areas of Endemism. *Systematic Biology* 51: 806–816, <http://sysbio.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1080/10635150290102483>.
- Szumik, C., & P. Goloboff, 2004. Areas of endemism: an improved optimality criterion. *Systematic biology* 53: 968–977.
- Tedesco, P. A.; Oberdorff, T.; Lasso, C. A.; Zapata, M.; Hugueny, B. 2005. Evidence of history in explaining diversity patterns in tropical riverine fish. *J. Biogeogr.* 32:

1899–1907.

Vari, R. P.; Malabarba, L. R. Neotropical Ichthyology: an overview. 1998. In: Malabarba, L. R.; Reis, R. P. (Ed.). *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. Porto Alegre: EDPUCRS. p. 1-11.

Weitzman, S. H., & M. J. Weitzman. 1982. Biogeography and evolutionary diversification in Neotropical freshwater fishes, with comments on the Refugia theory. In *Biological Diversification in the Tropics*, edited by G. T. Prance, 403–422. New York: Columbia University Press.

OBJETIVOS

a) Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi reconhecer áreas de endemismo para peixes de cabeceiras de riachos na região de Mata Atlântica do estado do Paraná, Brasil.

b) Objetivos específicos

- levantar as espécies de peixes que ocorrem em cabeceiras de riachos das bacias dos rios Paranapanema, Ribeira de Iguape e Iguazu nas fronteiras de seus divisores de águas;

- identificar os padrões de distribuição das espécies endêmicas e/ou restritas às bacias hidrográficas na área amostral;

- identificar e delimitar as áreas de endemismo da região através de duas metodologias diferentes;

HIPÓTESE

Existem cabeceiras de riachos que podem ser áreas de endemismo locais na região de Mata Atlântica no estado do Paraná quando considerada a fauna de peixes ?

CAPÍTULO I

**Áreas de endemismo da ictiofauna de cabeceiras de riachos de área
de Mata Atlântica da região Sul do Brasil**

Resumo

Neste estudo, testamos a hipótese da existência de áreas de endemismo locais considerando as assembléias de peixes de cabeceiras de riachos através da Análise de Endemicidade (AE) nas bacias hidrográficas do rio Paranapanema, Ribeira de Iguape e Iguacu. Um diagrama das relações entre as áreas de endemismo foi produzido utilizando a análise de parcimônia de endemismo (PAE). Foram identificadas cinco grandes áreas pela PAE e sete pequenas áreas de endemismo pela AE. As três grandes bacias amostradas são áreas de endemismo nas duas análises, no entanto, as análises se diferenciaram no tamanho das áreas de endemismo. Os resultados corroboram o isolamento com a conseqüente diferenciação de três grandes áreas de endemismo, rio Paranapanema, Iguacu e Ribeira de Iguape -, dado ao baixo compartilhamento de espécies e as regiões de cabeceiras dos riachos se mostraram importantes áreas de endemismo com exclusividade em sua composição ictiofaunística. O baixo compartilhamento entre as bacias é devido à eventos mais recentes de captura de cabeceiras. Estes resultados demonstram a importância de associar mais de uma metodologia na determinação de áreas de endemismo, que se tornam muito importantes para eleger áreas de endemismo menores dentro de áreas maiores como prioritárias à conservação.

Areas of endemism of the fish fauna of headwater Atlantic Forest streams of southern Brazil

Abstract

In this present study, we tested the hypothesis of the existence of local endemism in areas considering assemblages of headwater stream fishes through Endemicity Analysis (EA) at the hydrographic basins from the upper Paraná, Ribeira de Iguape, and Iguacu. A diagram of relations between endemism areas was obtained from the Parsimony analysis of endemism (PAE). The three basins sampled are endemism areas by the two analyses. However, the analysis differed by the size of endemism areas, wherein EA they were more local. The results corroborate the isolation with consequent differentiation of three endemism areas, - Upper Parana, Ribeira do Iguape, and Iguacu -, due to the low sharing species. The headwater streams showed to be important endemism areas with exclusivity in ichthyofaunistic composition. The low exchange

between the basins is due to recent events of headwater capture. These results demonstrate the importance of more than one methodology associated with determining endemism areas, which is crucial for defining little endemism areas into big areas as before the conservation.

Introdução

O endemismo é uma das mais significantes características da distribuição biogeográfica (Rosen, 1988) e como determinar as relações históricas entre as áreas de endemismo é uma das principais questões da biogeografia histórica (Nelson & Platnick, 1981; Humphries & Parenti, 1999). As análises de biogeografia histórica devem incluir três passos: reconhecimento de homologia espacial, identificação de áreas de endemismo, e formulação de hipóteses sobre as relações entre as áreas (Morrone & Crisci, 1995).

A investigação de homologia espacial envolve a reconstrução da história de distribuição da biota e a busca de padrões congruentes em diferentes táxons (Morrone & Crisci, 1995). Já o reconhecimento de áreas de endemismo é essencial para elaborar hipóteses que ajudem a esclarecer a história geral da biota e dos locais que os organismos habitam (Casagrande & de Grosso, 2013), pois são entidades comparáveis baseadas em padrões biológicos (Linder, 2011). Além da importância para o estudo biogeográfico, a delimitação de áreas de endemismo pode contribuir em projetos de conservação da natureza (Morrone, 2000).

Definir e delimitar áreas de endemismo tem sido controverso, no entanto, é um dos passos fundamentais em uma análise de biogeografia histórica (Crisci et al, 2003). Platnick (1991) descreve que uma área de endemismo deve ser uma área de limites de distribuição congruentes de dois ou mais táxons, onde "congruentes" não exige acordo completo sobre esses limites em todas as escalas de mapeamento possíveis, mas requer relativamente grande simpatria. No entanto, este conceito tem sido revisto. Crother & Murray (2014) definem que biogeograficamente, uma área de endemismo pode ser identificada por uma assembleia de táxons que existem em uma área e em nenhuma outra dentro de uma escala de estudo, ou ainda áreas aninhadas dentro de uma escala de estudo. Além disso, alguns biogeógrafos assumem que a vicariância deve estar envolvida (Anderson, 1996; Hausdorf, 2002), e que sem ela as respostas evidenciarão

cladogramas geológicos e biológicos com padrões incongruentes (Heads, 1999). Entretanto, a maioria dos biogeógrafos segue o conceito generalizado, o que supõe que vários fatores afetam e definem os padrões atuais de distribuição (Casagrande & de Groot, 2013).

Em geral os métodos atuais para o reconhecimento de áreas de endemismo podem ser classificados com base em seus objetivos e o que pretendem determinar: se (1) o padrão de espécies, ou grupos de espécies possuem distribuições sobrepostas; ou (2) os padrões geográficos, ou grupos de unidades de áreas têm composição de espécies similares (Casagrande & de Groot, 2013).

O fato de grandes bacias hidrográficas serem imensas áreas isoladas umas das outras levou a inevitável ideia, muito difundida, de que cada bacia deveria constituir uma grande área de endemismo (Ribeiro et al., 2010). Além disso, as bacias hidrográficas são consideradas áreas de endemismo reais, já que a causa de restrição e possivelmente de especiação é presente e verificável dado aos seus limites e barreiras atualmente evidentes, diferente de ambientes marinhos e terrestres (Da Silva, 2011). Os estudos de biogeografia histórica de peixes de água doce permitem compreender o elo natural entre a evolução biótica e geológica de uma área, devido ao fato de a dispersão dos peixes dependerem diretamente das conexões entre bacias (Birmingham & Martin, 1998) e o isolamento populacional, por sua vez, de eventos vicariantes. Eventos geológicos vicariantes isolam vários táxons e as conexões entre bacias podem ocorrer através de eventos geológicos posteriores como o de captura de cabeceiras.

A ictiofauna de água doce neotropical possui sua história evolutiva associada à história geológica dos cursos d'água sul-americanos (Castro, 1999). Tem sido amplamente reconhecido que o progresso na ictiologia neotropical depende do inventário biótico de áreas pobremente amostradas para identificação da diversidade de peixes (Schaefer, 1998). A amostragem é particularmente necessária nas regiões de cabeceira, onde habitam diversas espécies de pequeno porte, de distribuição geográfica restrita e, portanto, regiões com um grau elevado de endemismo geográfico (Schaefer, 1998).

Considerando que a maioria das espécies de peixes de pequeno porte apresenta capacidade de deslocamento relativamente restrita dentro de grandes bacias hidrográficas, é possível imaginar que ao longo de 65 milhões de anos da história evolutiva dos Otophysi, estes sofreram um grande número de alterações geográficas e

ecológicas ocorridas nos corpos d'água sul americanos gerando numerosos eventos de vicariância (Castro, 1999). Estes, associados à especiação alopátrica, possivelmente geraram a maior parte da diversidade taxonômica da ictiofauna continental sul americana: os peixes de pequeno porte (Castro, 1999).

Os riachos de cabeceiras da Mata Atlântica apresentam uma ictiofauna pouco conhecida e extremamente ameaçada por ações antrópicas, de forma que é urgente o estudo de sua composição, tanto taxonômica/sistemática como seus valores ecológicos (Castro, 1999). Sendo assim, este trabalho teve por principal objetivo identificar possíveis áreas de endemismo locais em cabeceiras de riachos de bacias hidrográficas adjacentes na região de Mata Atlântica no estado do Paraná, por meio de sua ictiofauna, visto que essas regiões são conhecidas presumivelmente por possuírem um alto grau de endemismo (Castro, 1999), e tentar estabelecer as relações entre essas áreas pelo compartilhamento de espécies com diferentes metodologias de identificação. Este tipo de estudo se torna importante diante das dificuldades atuais associadas à conservação, onde precisamos priorizar pequenas áreas com características exclusivas.

Material e Métodos

Área de estudo

Foram amostrados riachos de cabeceiras ao longo das divisas da Bacia do Rio Tibagi com as sete bacias em seu entorno (Rios Paranapanema, Cinzas, Itararé, Ribeira de Iguape, Iguaçu, Ivaí e Pirapó) e nas regiões que estas fazem divisa com o Rio Tibagi (Figura 1 e Tabela 1) e mais cinco pontos do trabalho de Galves et al. (2007) com amostragens em cabeceiras do Rio Taquara, afluente do Rio Tibagi, todos localizados no estado do Paraná.

Os rios Tibagi, Pirapó, Cinzas, Itararé e Ivaí são tributários da margem esquerda do Rio Paranapanema e juntamente com este último eles formam a grande bacia do Alto Paraná.

O Rio Tibagi está localizado entre as coordenadas 22°47'22" e 25°36'25" S e 049°36'00" e 051°27'36" O, compreendendo uma área de 25,000 km². Sua cabeceira está localizada na cidade de Palmeira, estado do Paraná, a 1.060 m de altitude. O Rio Tibagi percorre 550 km da nascente a sua foz no reservatório de Capivara no Rio Paranapanema, a 298 m de altitude (Medri et al., 2002).

O Rio Paranapanema forma a fronteira com o estado de São Paulo numa extensão de 392,9 km desde a embocadura do rio Itararé (Maack, 2012) até a sua foz no Rio Paraná. Os pontos amostrados no Rio Paranapanema no presente estudo correspondem a um pequeno trecho pertencentes à porções denominadas de Paranapanema 2 e 3, localizadas em torno da foz do Rio Tibagi (Figura 1), e estão entre as áreas de menor altitude amostradas (Tabela 1).

O Rio Cinzas tem sua origem na serra das Furnas, a oeste da escarpa devoniana, e após um percurso de 175 km, este rio rompe a escarpa mesozóica, a serra da Boa Esperança, ou Geral, e após 122 km rompe a escarpa do terceiro planalto (Maack, 2012) e deságua no Rio Paranapanema. Todos os pontos amostrados desta bacia estão na sua margem esquerda ao longo de sua extensão (Figura 1 e Tabela 1).

O Rio Itararé tem suas nascentes na serra Paranapiacaba (escarpa devoniana), estado de São Paulo, e constitui uma linha divisória entre os estados do Paraná e São Paulo desde sua desembocadura no Rio Paranapanema até o Rio Bandeirantes (Maack, 2012). Após um percurso de aproximadamente 40 km este rio penetra na escarpa devoniana a 711 metros através de um vale de ruptura de 590 metros de profundidade (Maack, 2012). Os pontos de amostragem neste rio estão entre as maiores altitudes encontradas em tributários de suas cabeceiras da margem esquerda (Figura 1 e Tabela 1).

O Rio Ribeira de Iguape tem suas nascentes a leste da serra Paranapiacaba (escarpa devoniana), e de maneira diferente dos demais rios amostrados, este rio corre em direção ao Atlântico e não para interior do continente como os demais (Sugio, 2010), onde seus afluentes entalham profundamente a região montanhosa da parte norte do primeiro planalto, em consequência da sua força de erosão (Maack, 2012). Também se diferencia por ser geologicamente recente contrastando com os demais rios da bacia do Rio Paraná, geologicamente mais antigos (Maack, 2012). Os pontos amostrados deste rio estão em torno de sua cabeceira em riachos que têm seu início no divisor de águas com o rio Tibagi (Figura 1 e Tabela 1) na porção leste da escarpa devoniana.

O Rio Iguaçu abrange a maior bacia hidrográfica do estado do Paraná, sem os afluentes da margem catarinense até União da Vitória (Maack, 2012). É um rio geologicamente antigo, que cruza duas escarpas em vales de ruptura e rejuvenescido por meio de levantamentos epirogenéticos cuja linha de queda inicia-se na escarpa devoniana no segundo planalto e depois rompe a serra da Boa Esperança, ou Geral, que

forma a escarpa mesozóica do terceiro planalto (Maack, 2012). Os pontos amostrados neste rio estão concentrados na região do Alto Iguaçu onde este faz divisa com o rio Tibagi, todos no segundo planalto (Figura 1 e Tabela 1).

O Rio Ivaí tem um percurso total de 685 km (Maack, 2012). Formam suas nascentes o rio dos Patos a 1.120 m, na serra da Boa Esperança e o rio São João a 1.125m no terceiro planalto (Maack, 2012). O rio Ivaí corta a serra da Boa Esperança num amplo vale e entalha seu leito até alcançar o rio Paraná no terceiro planalto (Maack, 2012). Os pontos amostrados neste rio consistem em cabeceiras de seus tributários da margem direita ao longo de sua extensão (Figura 1 e Tabela 1).

O Rio Pirapó desde sua origem em Apucarana a cerca de 1.000 m de altitude até o Paranapanema abrange uma extensão de 168 km (Maack, 2012). Os pontos amostrados estão em torno de suas cabeceiras na cidade de Apucarana (Figura 1 e Tabela 1).

Tabela 1 – Localização dos pontos de amostragem.

Pontos	Bacia	Longitude	Latitude
1	Tibagi	-49,94230556	-25,27075
2	Tibagi	-49,93066667	-25,29722222
3	Tibagi	-49,84458333	-25,32161111
4	Tibagi	-49,8425	-25,28730556
5	Tibagi	-49,82611111	-25,38938889
6	Tibagi	-49,82233333	-25,39861111
7	Tibagi	-50,61091667	-25,43383333
8	Tibagi	-50,39019444	-25,46458333
9	Tibagi	-50,38863889	-25,46894444
10	Tibagi	-50,329	-25,47016667
11	Tibagi	-50,32152778	-25,48466667
12	Tibagi	-49,91894444	-24,52108333
13	Tibagi	-49,91191667	-24,50797222
14	Tibagi	-49,89586111	-24,49986111
15	Tibagi	-49,85825	-24,47994444
16	Tibagi	-49,84330556	-24,42566667
17	Tibagi	-51,12688889	-23,08488889
18	Tibagi	-51,14241667	-23,02772222
19	Tibagi	-51,13283333	-23,0215
20	Tibagi	-51,01325	-22,87872222
21	Tibagi	-51,05836111	-22,87911111
22	Tibagi	-50,75563889	-23,48530556
23	Tibagi	-50,71838889	-23,58272222
24	Tibagi	-50,76680556	-23,55383333
25	Tibagi	-50,78580556	-23,57875
26	Tibagi	-50,79372222	-23,53744444
27	Tibagi	-51,40096944	-23,41550278

28	Tibagi	-51,38338889	-23,42822222
29	Tibagi	-51,36073333	-23,47516944
30	Tibagi	-51,35625	-23,35358333
31	Tibagi	-51,31044444	-23,38330556
32	Tibagi	-50,94208333	-24,18236111
33	Tibagi	-50,93691667	-24,24522222
34	Tibagi	-50,91527778	-24,25027778
35	Tibagi	-50,90138889	-24,27277778
36	Tibagi	-50,8525	-24,31972222
37	Tibagi	-50,88911111	-24,66916667
38	Tibagi	-50,90911111	-24,63938889
39	Tibagi	-50,88486111	-24,62955556
40	Tibagi	-50,86336111	-24,64658333
41	Tibagi	-50,84381389	-24,60404722
42	Tibagi	-51,20058333	-23,53508333
43	Tibagi	-51,32002778	-23,66780556
44	Tibagi	-51,22977778	-23,70741667
45	Tibagi	-51,29380556	-23,59158333
46	Tibagi	-51,34672222	-23,63813889
47	Paranapanema	-50,82144444	-22,95138889
48	Paranapanema	-50,81277778	-22,96677778
49	Paranapanema	-50,80452778	-22,97936111
50	Paranapanema	-50,77277778	-23,00361111
51	Paranapanema	-50,73627778	-23,02202778
52	Paranapanema	-51,34658333	-23,27077778
53	Paranapanema	-51,36636111	-23,27747222
54	Paranapanema	-51,36561111	-23,27158333
55	Paranapanema	-51,37947222	-23,24886111
56	Paranapanema	-51,36197222	-23,20288889
57	Cinzas	-50,60180556	-23,22322222
58	Cinzas	-50,57036111	-23,28580556
59	Cinzas	-50,52322222	-23,37694444
60	Cinzas	-50,54927778	-23,40358333
61	Cinzas	-50,55061111	-23,4725
62	Cinzas	-50,20666667	-24,186
63	Cinzas	-50,239	-24,13044444
64	Cinzas	-50,27041667	-23,91144444
65	Cinzas	-50,45433333	-23,97736111
66	Cinzas	-50,44638889	-23,9405
67	Itararé	-49,80652778	-24,459
68	Itararé	-49,80586111	-24,45466667
69	Itararé	-49,7675	-24,31588889
70	Itararé	-49,79161111	-24,33525
71	Itararé	-49,80683333	-24,38541667
72	Itararé	-49,77105556	-24,44111111
73	Itararé	-49,77261111	-24,43455556
74	Itararé	-49,77283333	-24,47802778
75	Itararé	-49,76052778	-24,48491667
76	Itararé	-49,75455556	-24,46944444
77	Ribeira de Iguape	-49,42833333	-24,91030556
78	Ribeira de Iguape	-49,44336111	-24,90061111
79	Ribeira de Iguape	-49,48458333	-24,92972222
80	Ribeira de Iguape	-49,51036111	-25,36286111

81	Ribeira de Iguape	-49,55017778	-25,28777778
82	Ribeira de Iguape	-49,64072222	-25,23291667
83	Ribeira de Iguape	-49,60352778	-25,26180556
84	Ribeira de Iguape	-49,60469444	-25,20830556
85	Ribeira de Iguape	-49,75627778	-25,13327778
86	Iguaçu	-49,40988889	-25,36655556
87	Iguaçu	-50,38991667	-25,61036111
88	Iguaçu	-50,40513889	-25,65536111
89	Iguaçu	-50,36530556	-25,83361111
90	Iguaçu	-50,32063889	-25,81758333
91	Iguaçu	-50,36525	-25,73255556
92	Iguaçu	-50,27830556	-25,68433333
93	Iguaçu	-50,30955556	-25,68194444
94	Ivaí	-51,52422222	-23,60808333
95	Ivaí	-51,51530556	-23,63180556
96	Ivaí	-51,50658333	-23,63755556
97	Ivaí	-51,49738889	-23,66525
98	Ivaí	-51,5245	-23,68447222
99	Ivaí	-51,54163889	-23,73211111
100	Ivaí	-51,53288889	-23,73066667
101	Ivaí	-50,8435	-25,18091667
102	Ivaí	-50,84586111	-25,17219444
103	Ivaí	-50,84566667	-25,17233333
104	Ivaí	-50,96838889	-25,18775
105	Ivaí	-50,96733333	-25,19419444
106	Ivaí	-51,05144444	-25,24758333
107	Ivaí	-51,38580556	-24,16422222
108	Ivaí	-51,33502778	-24,25094444
109	Ivaí	-51,35222222	-24,28863889
110	Ivaí	-51,28147222	-24,33194444
111	Ivaí	-51,23305556	-24,35119444
112	Ivaí	-51,28625	-23,95588889
113	Ivaí	-51,30238889	-23,97816667
114	Ivaí	-51,34813889	-23,98333333
115	Ivaí	-51,39422222	-23,97825
116	Ivaí	-51,44830556	-24,05022222
117	Pirapó	-51,56247222	-23,46375
118	Pirapó	-51,54605556	-23,48197222
119	Pirapó	-51,50533333	-23,48008333
120	Pirapó	-51,49016667	-23,52613889
121	Pirapó	-51,50022222	-23,51636111
122	Pirapó	-51,50161111	-23,50130556
123	Pirapó	-51,53338889	-23,46525
124	Pirapó	-51,52858333	-23,43666667
125	Pirapó	-51,47702778	-23,443
126	Pirapó	-51,47022222	-23,47544444

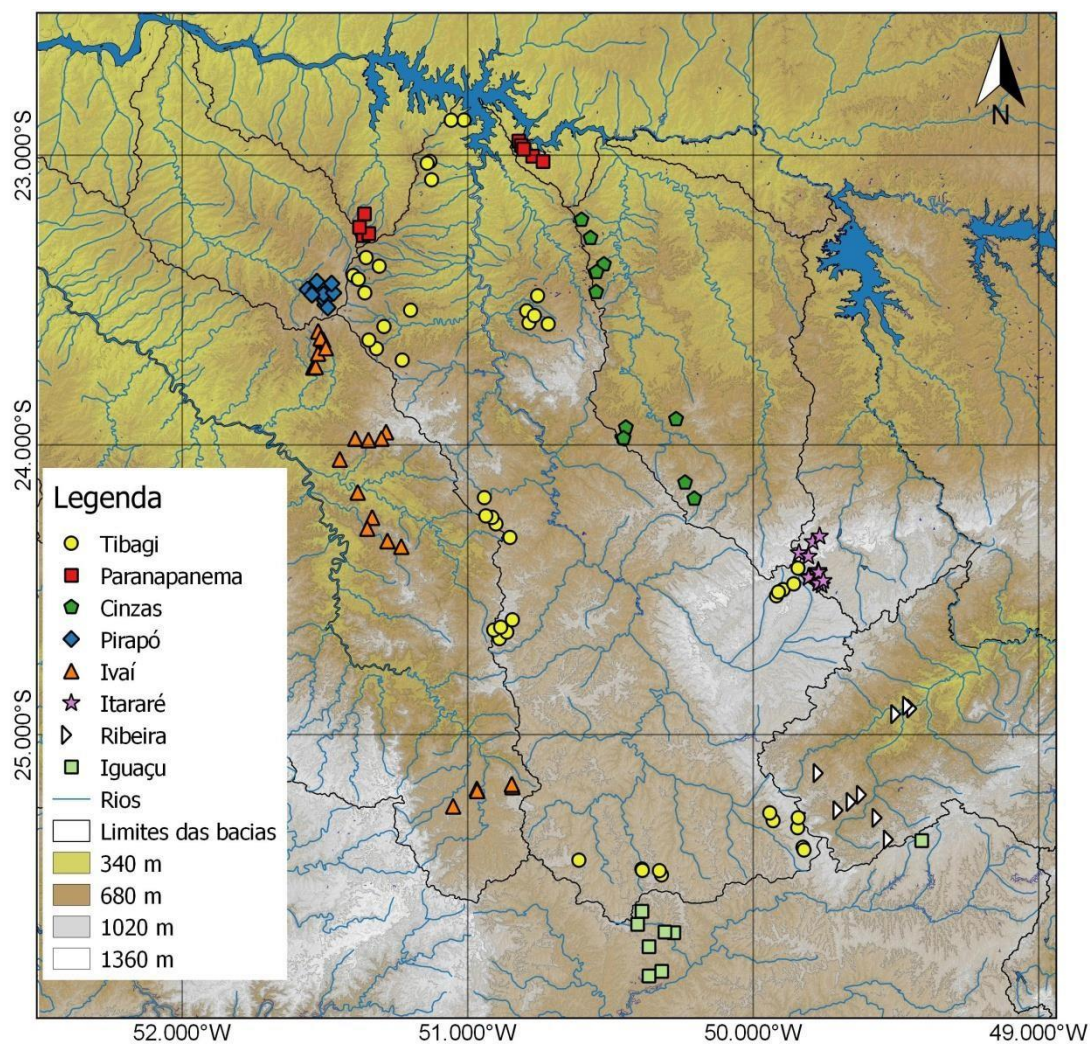


Figura 1 – Pontos amostrais ao longo das oito bacias hidrográficas no estado do Paraná.

Coleta de dados

As coletas dos peixes foram realizadas de dezembro de 2012 a abril de 2015 (licença de coleta número SISBIO12120-1, 09/16/2007). Foram 121 pontos de coleta e cada ponto foi amostrado por 60 minutos, utilizando-se duas peneiras e uma rede de arrasto. Os peixes foram anestesiados com óleo de cravo e fixados em formol a 10% e depois de 24 a 48 horas foram transferidos para álcool a 70%. A classificação em ordens e famílias seguiram Eschmeyer (2014). Os *vouchers* foram depositados na coleção do Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Londrina (MZUEL), Londrina, Paraná, Brasil. A lista de *vouchers* é apresentada em apêndice com o número de indivíduos por lote.

Análise dos dados

A eficiência da amostragem para cada bacia foi avaliada através da curva do coletor utilizando o software EstimateS 8.2 (Colwell, 2009). Os estimadores não paramétricos Chao 1 (Incidence-based Coverage Estimator; Chao, 1987) e ACE (Abundance based Coverage Estimator; Lee & Chao, 1994) foram utilizados para comparar as estimativas de riqueza de cada bacia, considerando a distribuição das abundâncias das espécies nas amostras.

Para a identificação das áreas de endemismo foi realizada a Análise de Endemicidade (AE) proposta por Szumik *et al.* (2002) e Szumik & Goloboff (2004) através do programa NDM/VNDM versão 2.5 (Goloboff, 2004), e um diagrama das relações entre as áreas de endemismo foi produzido utilizando a Análise de Parcimônia de Endemismo (PAE) proposta por Rosen (1988).

A escolha da unidade biogeográfica mais apropriada depende do objetivo da análise. Quando o objetivo é identificar áreas de endemismo, grades de células ou quadrículas são as unidades mais adequadas, porém quando o objetivo for determinar a relação entre as áreas, áreas de endemismo pré-determinadas devem ser utilizadas (Morrone, 2004). Uma efetiva e consistente delimitação de áreas de endemismo requer uma clara definição do critério de uma área (Linder, 2011) e sob este aspecto, para este estudo, as diferentes bacias hidrográficas delimitadas por divisores de águas foram selecionadas como as áreas para a definição do tamanho das quadrículas, tanto na PAE como na AE, na tentativa de reduzir os problemas de células que poderiam unir dois padrões diferentes no limite entre áreas.

Foram realizadas várias análises com “áreas” a serem analisadas pela PAE agrupando ou individualizando pontos amostrais de diversas formas, bem como foram testados diversos tamanhos de quadrículas e grades com diferentes deslocamentos para a AE. Foram selecionados os resultados das análises que melhor representaram distribuição das áreas de endemismo considerando as barreiras geográficas.

Os dados para a análise da PAE consistem em uma matriz binária na qual a presença de uma determinada espécie por unidade de área é codificada com o número 1 e a ausência com 0 (Casagrande & de Grosso, 2013). Análoga à uma análise cladística, a PAE agrupa unidades de área de forma hierárquica (análogo aos taxa) baseado no compartilhamento de espécies (análogo aos caracteres) de acordo com o critério de máxima parcimônia (Casagrande & de Grosso, 2013). Foi utilizada como grupo externo uma área hipotética onde todas as espécies estavam ausentes. Nessa análise as áreas de

endemismo são definidas a partir da árvore mais parcimoniosa, ou do consenso estrito, de um grupo de unidades de áreas suportado por duas ou mais espécies “sinapomórficas” (espécies endêmicas) (Morrone, 1994). Para a análise de parcimônia foi utilizado o programa TNT version 1.1 (Goloboff et al., 2008) com busca exaustiva e sem pesagem de caracteres. As árvores mais parcimoniosas foram resumidas usando o consenso estrito.

Para a AE foi utilizada uma grade de células de 0,08° X 0,08° (latitude/longitude) sobre a localização das espécies nos pontos de amostragem através de suas coordenadas geográficas com origem da grade a 22.790 S e 51.970 O. Grupos de células com *scores* maiores que 1.0 foram salvas e consideradas áreas de endemismo. Foi ainda realizada uma análise de consenso estrito, que agrupa áreas individuais que compartilham no mínimo 50% de suas espécies endêmicas. Já para a PAE, que pode classificar localidades, quadrats ou áreas, as unidades biogeográficas estabelecidas foram a bacia do rio Tibagi que foi subdividida em sete regiões de acordo com a divisa que faz com as sete bacias hidrográficas adjacentes, mais as sete bacias (Paranapanema, Cinzas, Itararé, Ribeira de Iguape, Iguacu, Ivaí e Pirapó). Para a confecção dos mapas foi utilizado o programa Quantum Gis 2.14.0 (2013).

Resultados

Diversidade de peixes de cabeceiras de riachos

No total de todas as bacias amostradas foram capturados 8375 indivíduos distribuídos em 102 espécies de peixes de cinco ordens (Siluriformes (53%), Characiformes (32%), Perciformes (6%), Cyprinodontiformes (5%) e Synbranchiformes (1%)). A espécie mais abundante foi *Phalloceros harpagos* com 2073 indivíduos, seguida por *Astyanax* sp.2 (foram consideradas neste táxon todas as espécies do grupo “*A. scabripinnis*” mais *A. bockmanni* pois trabalhos moleculares recentes não separaram as espécies) com 917, e *Trichomycterus davisii* com 761 indivíduos. Juntamente com *Rhamdia quelen*, *Phalloceros harpagos* é também a mais amplamente distribuída, estando as duas presentes nas oito bacias amostradas.

As amostragens das oito bacias se mostraram suficientes, visto que variaram de 89% a 96% do número de espécies esperadas de acordo com a curva de acumulação de espécies, baseadas no estimador ACE e de 94% a 100% no estimador CHAO1, com

exceção da Bacia do Rio Iguaçu cujas coletas representaram 78% em ACE e 80% em CHAO1 (Tabela 2 e Figuras 1A a 1H).

Tabela 2 – Riqueza de espécies observada e percentagem de representação da amostragem através dos estimadores de riqueza ACE e CHAO1 nas oito bacias amostradas.

Bacia	Riqueza	ACE	CHAO1
Tibagi	53	93%	95%
Parapanema	19	90%	95%
Cinzas	19	89%	96%
Itararé	12	96%	100%
Ribeira	28	95%	97%
Iguaçu	28	78%	80%
Ivaí	27	92%	94%
Pirapó	27	94%	96%

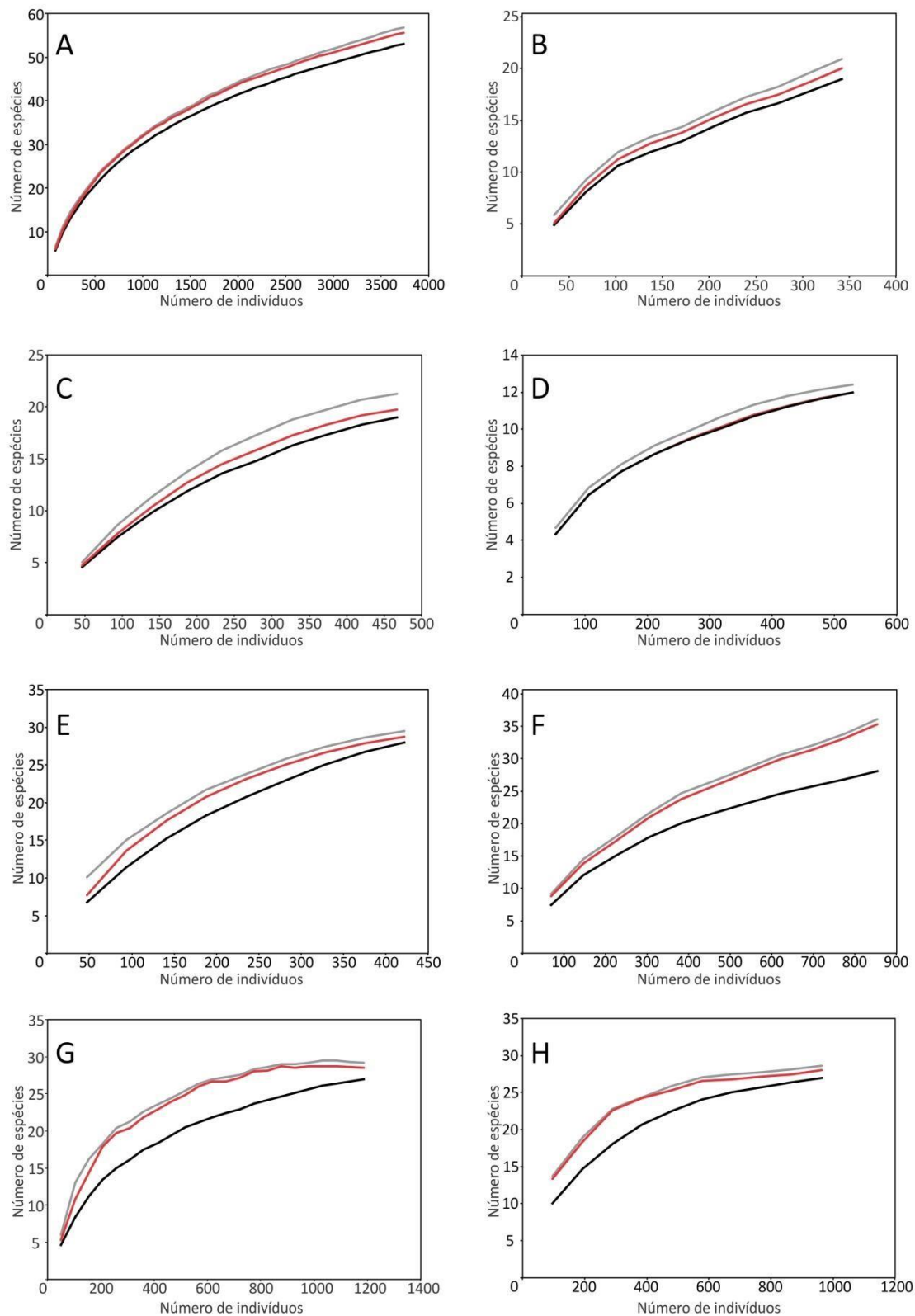


Figura 2 – Curvas de rarefação de espécies coletadas nas oito bacias amostradas. A – Tibagi; B – Parapanema; C – Cinzas; D – Itararé; E – Ribeira; F – Iguaçu; G – Ivaí; H – Pirapó. Em cinza o estimador ACE; em vermelho o estimador CHAO1; e em preto o S observado.

Das oito bacias amostradas, a do Rio Tibagi foi a que obteve maior riqueza com 54 espécies e a com menor riqueza foi a bacia do Rio Itararé, com 12 espécies (Tabela 3).

Tabela 3 – Lista de espécies coletadas nas bacias do Rio Tibagi (Ti), Paranapanema (Par), Cinzas (Ci), Itararé (It), Ribeira (Ri), Iguaçu (Ig), Ivaí (Iv) e Pirapó (Pir) com seus respectivos números no cladograma gerado pela análise PAE.

Taxa	PAE	Ti	Par	Ci	It	Ri	Ig	Iv	Pir
Characiformes									
Parodontidae									
<i>Apareiodon affinis</i> (Steindachner, 1879)	3		X						
<i>Apareiodon ibitiensis</i> Amaral Campos, 1944	4	X						X	
<i>Apareiodon piracicabae</i> (Eigenmann, 1907)	5	X							
Curimatidae									
<i>Steindachnerina insculpta</i> (Fernández-Yépez, 1948)	90	X							
Anostomidae									
<i>Leporellus vittatus</i> (Valenciennes, 1850)	57		X						
<i>Leporinus friderici</i> (Bloch, 1794)	58		X						
Erithrinidae									
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	42	X	X					X	
<i>Hoplias</i> sp.1	43						X		
Characidae									
<i>Astyanax</i> aff. <i>fasciatus</i>	6	X							
<i>Astyanax altiparanae</i> Garutti & Britski, 2000	8	X	X	X			X	X	X
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier, 1819)	7	X	X						
<i>Astyanax janae</i> Eigenmann, 1908	10					X			
<i>Astyanax serratus</i> Garavello & Sampaio, 2010	11						X		
<i>Astyanax</i> sp.1	12						X		
<i>Astyanax</i> sp.2	9	X	X	X	X			X	X
<i>Bryconamericus</i> aff. <i>iheringi</i>	14	X							
<i>Bryconamericus</i> cf. <i>turiuba</i> Langeani, Lucena, Pedrini & Tarelho-Pereira, 2005	15							X	X
<i>Bryconamericus iheringi</i> (Boulenger, 1887)	13	X		X		X		X	X
<i>Bryconamericus microcephalus</i> (Miranda Ribeiro, 1908)	16					X			
<i>Bryconamericus</i> sp.1	17							X	
<i>Bryconamericus stramineus</i> Eigenmann, 1908	18	X	X					X	X
<i>Deuterodon iguape</i> Eigenmann, 1907	34					X			
<i>Hyphessobrycon reticulatus</i> Ellis, 1911	44	X							
<i>Mimagoniates microlepis</i> (Steindachner, 1877)	59	X					X		
<i>Oligosarcus paranensis</i> Menezes & Géry, 1983	65	X		X				X	X
<i>Piabina argentea</i> Reinhardt, 1867	74	X							X
<i>Serrapinnus notomelas</i> (Eigenmann, 1915)	88		X						
Crenuchidae									
<i>Characidium gomesi</i> Travassos, 1956	21	X							

<i>Characidium pterostictum</i> Gomes, 1947	22						X		
<i>Characidium schubarti</i> Travassos, 1955	23	X				X			
<i>Characidium</i> sp.1	24							X	
<i>Characidium</i> sp.2	25							X	
<u><i>Characidium zebra</i> Eigenmann, 1909</u>	<u>26</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>					<u>X</u> <u>X</u>
Siluriformes									
Heptapteridae									
<i>Cetopsorhamdia iheringi</i> Schubart & Gomes, 1959	20	X							X X
<i>Imparfinis borodini</i> Mees & Cala, 1989	50								X X
<i>Imparfinis mirini</i> Haseman, 1911	51	X	X	X					X
<i>Phenacorhamdia tenebrosa</i> (Schubart, 1964)	73	X							X
<i>Pimelodella</i> aff. <i>lateristriga</i>	75							X	
<i>Pimelodella gracilis</i> (Valenciennes, 1835)	77	X							
<i>Pimelodella</i> sp.	76								X
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	80	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Rhamdia voulezi</i>	82							X	
<i>Rhamdioglanis transfasciatus</i> Miranda Ribeiro, 1908	81						X		
<i>Rhamdiopsis microcephala</i> (Lütken, 1874)	83						X		
<i>Rhamdiopsis moreirai</i> Haseman, 1911	79	X							
Trichomycteridae									
<i>Ituglanis proops</i> (Miranda Ribeiro, 1908)	54						X		
<i>Trichomycterus candidus</i> (Miranda Ribeiro, 1949)	92	X				X		X	
<i>Trichomycterus castroi</i> de Pinna, 1992	93	X						X	
<i>Trichomycterus davisii</i> (Haseman, 1911)	91	X		X	X			X	X
<i>Trichomycterus diabolus</i> Bockmann, Casatti & de Pinna, 2004	94	X		X					X
<i>Trichomycterus iheringi</i> (Eigenmann, 1917)	97						X		
<i>Trichomycterus mboyacy</i> Wosiacki & Garavello, 2004	98							X	
<i>Trichomycterus paolence</i> (Eigenmann, 1917)	94						X		
<i>Trichomycterus zonatus</i> (Eigenmann, 1918)	96						X		
Callichthyidae									
<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)	19	X							X
<i>Corydoras aeneus</i> (Gill, 1858)	30	X	X	X					X
<i>Corydoras ehrhardti</i> Steindachner, 1910	31	X				X	X	X	
Loricariidae									
<i>Ancistrus multispinis</i> (Regan, 1912)	1						X	X	
<i>Ancistrus</i> sp.	2								X
<i>Harttia kronei</i> Miranda Ribeiro, 1908	39						X		
<i>Hisonotus francisrochai</i> (Ihering, 1928)	40	X		X				X	X
<i>Hisonotus</i> sp.	41	X							
<i>Hypostomus ancistroides</i> (Ihering, 1911)	45	X	X	X		X	X	X	X
<i>Hypostomus interruptus</i> (Miranda Ribeiro, 1918)	46						X		
<i>Hypostomus nigromaculatus</i> (Schubart, 1964)	47	X		X					X
<i>Hypostomus</i> sp.	48						X		
<i>Hypostomus strigaticeps</i> (Regan, 1908)	49	X							

<i>Isbrueckerichthys calvus</i> Jerep, Shibatta, Pereira & Oyakawa, 2006	52	X							
<i>Isbrueckerichthys duseni</i> (Miranda Ribeiro, 1907)	53					X			
<i>Kronichthys lacerta</i> (Nichols, 1919)	55					X			
<i>Kronichthys subteres</i> Miranda Ribeiro, 1908	56					X			
<i>Neoplecostomus paranensis</i> Langeani, 1990	61	X							
<i>Neoplecostomus ribeirensis</i> Langeani, 1990	62					X			
<i>Neoplecostomus selenae</i> Zawadzki, Pavanelli & Langeani, 2008	60	X	X	X					X
<i>Neoplecostomus</i> sp.	63	X							
<i>Neoplecostomus yapo</i> Zawadzki, Pavanelli & Langeani, 2008	64	X		X				X	X
<i>Otothyropsis biannicus</i> Calegari, Lehmann A. & Reis, 2013	67	X				X			
<i>Otothyropsis</i> sp.	68							X	
<i>Pareioraphis</i> cf. <i>parmula</i> Pereira, 2005	69					X			
<i>Pareiorhaphis</i> sp.	70					X			
<i>Parotocinclus</i> sp.	71					X			
<i>Rineloricaria pentamaculata</i> Langeani & de Araujo, 1994	84	X						X	X
<i>Rineloricaria kronei</i> (Miranda Ribeiro, 1911)	101					X			
<i>Rineloricaria maacki</i> Ingenito, Ghazzi, Duboc & Abilhoa, 2008	102					X			
<i>Rineloricaria</i> sp.1	85					X			
<i>Rineloricaria</i> sp.2	86					X			
<i>Rineloricaria</i> sp.3	87								X
Gymnotiformes									
Gymnotidae									
<i>Gymnotus omarorum</i> Richer-de-Forges, Crampton & Albert, 2009	36		X	X				X	X
<i>Gymnotus pantanal</i> Fernandes, Albert, Daniel-Silva, Lopes, Crampton & Almeida-Toledo, 2005	37	X							
<i>Gymnotus sylvius</i> Albert & Fernandes-Matioli, 1999	38	X							
Cyprinodontiformes									
Poeciliidae									
<i>Cnesterodon hypselurus</i> Lucinda & Garavello, 2001	29	X			X				
<i>Phalloceros harpagos</i> Lucinda, 2008	72	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Poecillia reticulata</i> Peters, 1859	78	X	X			X	X	X	X
<i>Xiphophorus</i> sp.1	100								X
<i>Xiphophorus</i> sp.2	99				X				
Synbranchiformes									
Synbranchidae									
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795	89	X						X	
Perciformes									
Cichlidae									
<i>Cichla kelberi</i> Kullander & Ferreira, 2006	27		X						
<i>Cichlasoma paranaense</i> Kullander, 1983	28	X		X			X		
<i>Crenicichla britskii</i> Kullander, 1982	32		X					X	
<i>Crenicichla jaguarensis</i> Haseman, 1911	33	X							
<i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	35	X		X	X	X	X	X	X
<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)	66	X							X

A Bacia do Rio Ribeira de Iguape foi a que apresentou o maior número de espécies exclusivas (19) (Tabela 3), dentre estas, sete são endêmicas (*Hartia kronei*, *Hypostomus interruptus*, *Isbruecherichthys duseni*, *Ituglanis proops*, *Kronichthys lacerta*, *Kronichthys subteres* e *Neoplecostomus ribeirensis*).

A Bacia do Rio Iguaçu apresentou 12 espécies exclusivas (Tabela III), e destas, quatro são descritas como endêmicas (*Astyanax serratus*, *Pareiorhaphis parmula*, *Rhamdia voulezi* e *Rineloricaria maacki*). A Bacia do Rio Tibagi apresentou 16 espécies exclusivas (Tabela 3), porém somente uma é descrita como endêmica (*Isbruecherichthys calvus*). Já as demais bacias apresentaram espécies exclusivas (Tabela 3) (Paranapanema com cinco, Ivaí com quatro e Pirapó, Cinzas e Itararé com apenas uma), porém nenhuma descrita como endêmica de cada uma das bacias, no entanto, três espécies são descritas como endêmicas da grande Bacia do Alto Paraná, a qual estes rios fazem parte (*Neoplecostomus paraneisis*, *Serrapinus notomelas* e *Steindachnerina insculpta*).

Áreas de endemismo

Na Análise de Parcimônia de Endemismo (PAE) foi encontrada uma árvore de consenso a partir de 37 árvores, com 168 passos, com índice de consistência (CI) 0,544 e índice de retenção (RI) 0,366, na qual foram identificadas 5 grandes áreas de endemismo quando considerando cada área caracterizada pela presença de ao menos duas espécies “sinapomórficas” (Figura 3). São elas: 1) região do Tibagi fazendo divisa com o Iguaçu (Ti/Ig), sustentada pelas espécies *Pimelodella gracilis*, *Hyphessobrycon reticulatus* e *Rhamdiopsis moreirai*; 2) Ribeira (Ri) sustentada pelas espécies *Astyanax janeiroensis*, *Bryconamericus microcephalus*, *Characidium pterostictum*, *Deuterodon iguape*, *Hartia kronei*, *Hypostomus interruptus*, *Hypostomus* sp., *Isbrueckerichthys duseni*, *Ituglanis proops*, *Kronichthys lacerta*, *K. subteres*, *Neoplecostomus ribeirensis*, *Pareiorhaphis* sp., *Parotocinclus* sp., *Rhamdioglanis transfasciatus*, *Rineloricaria* sp.1, *Trichomycterus paolence*, *T. zonatus*, *T. iheringi* e *Rineloricaria kronei*; 3) o Iguaçu (Ig) é um ramo sustentado pelas espécies *Astyanax serratus*, *Astyanax* sp.1, *Characidium* sp.1 e *Characidium* sp.2, *Hoplias* sp., *Pareiorhaphis parmula*, *Pimelodella* aff. *lateristriga*, *Rineloricaria maacki* e *Rineloricaria* sp.2 e *Trichomycterus mboycei*; 4) o Tibagi divisa com Itararé (Ti/It) mais o Itararé (It)

sustentadas pelas espécies *Characidium schubarti* e *Cnesterodon hypselurus*; e 5) um grande grupo formado pelas regiões do Tibagi fazendo divisa com o Cinzas (Ti/Ci), com o Ivaí (Ti/Iv) e com o Paranapanema (Ti/Par), mais as bacias do Paranapanema (Par), Ivaí (Iv), Cinzas (Ci) e Pirapó (Pir) sustentado pelas espécies *Cetopsorhamdia iheringi*, *Gymnotus omarorum* e *Oligosarcus paranensis*.

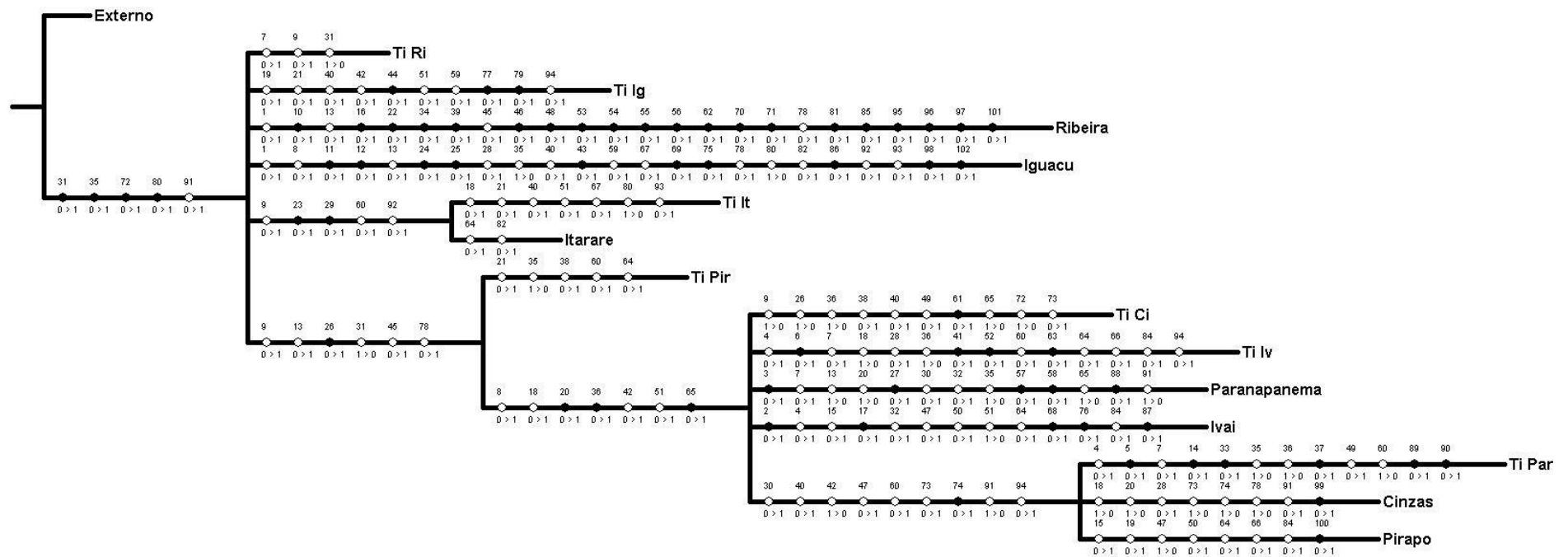


Figura 3 – Análise de Parcimônia de Endemismo das oito bacias hidrográficas no estado do Paraná. Ti/Ri (rio Tibagi divisa com o rio Ribeira de Iguape); Ti/Ig (rio Tibagi divisa com o rio Iguacu); Ti/It (rio Tibagi divisa com o rio Itararé); Ti/Pir (rio Tibagi divisa com o rio Pirapó); Ti/Ci (rio Tibagi divisa com o rio Cinzas); Ti/Iv (rio Tibagi divisa com o rio Ivai); Ti/Par (rio Tibagi divisa com o rio Parapananema). Os números correspondem as espécies utilizadas na matriz de dados identificadas na tabela 3. Círculos vazios correspondem a homoplasias e os cheios as sinapomorfias. De 0>1 o aparecimento da espécie e de 1>0 extinção.

Ainda na PAE é possível delimitar áreas de endemismo menores dentro da Bacia do Paranapanema se considerarmos que áreas de endemismo possuem ao menos dois táxons exclusivos com distribuição sobreposta. Dessa forma, teremos que as áreas do Tibagi fazendo divisa com o Paranapanema (Ti/Par), o Ivaí, o Paranapanema e o Tibagi fazendo divisa com o Ivaí (Ti/Iv) são cada uma delas, isoladamente, áreas de endemismo menores dentro de uma outra área de endemismo maior formada por estas mais o Pirapó e o Tibagi fazendo divisa com o Cinzas (Ti/Ci). Assim, essas áreas estão contidas na grande bacia do Paranapanema e esta, por sua vez, pertencente à bacia do Alto Paraná. O Tibagi divisa com o Ivaí (Ti/Iv) é uma área menor sustentada pelas espécies *Astyanax* aff. *fasciatus*, *Hisonotus* sp., *Isbrueckerichthys calvus* e *Neoplecostomus* sp.; o Paranapanema pelas espécies *Apareiodon affinis*, *Cichla kelberi*, *Leporelus vittatus*, *Leporinus friderici*; o Ivaí pelas espécies *Ancistrus* sp., *Bryconamericus* sp.1, *Otothyropsis* sp., *Pimelodella gracilis*; e o Tibagi divisa com o Paranapanema (Ti/Par) pelas espécies *Apareiodon piracicabae*, *Bryconamericus* aff. *iheringi*, *Crenicichla jaguarensis*, *Gymnotus pantanal*, *Synbranchus marmoratus* e *Steindachnerina insculpta*.

Na Análise de Endemicidade (AE) de 76 quadrículas com tamanhos de 0,08° X 0,08° foram identificadas sete áreas de endemismo sumarizadas em seis áreas de consenso com 21 espécies exclusivas, porém nem todas endêmicas (Tabela 4 e Figuras 3 a 9).

Tabela 4 – Conjuntos de quadrículas de áreas de endemismo dadas pela Análise de Endemicidade (AE) encontradas em grades de 0,08° X 0,08° com deslocamento de 0,09°.

Set	Localização	Score	No. de quadrículas	Espécies endêmicas
1	Bacia do Ribeira de Iguape	3.000000	2	<i>Ituglanis proops</i> , <i>Rhamdioglanis transfasciatus</i> e <i>Trichomycterus zonatus</i>
2	Bacia do Ribeira de Iguape	2.266667	3	<i>Bryconamericus microcephalus</i> , <i>Deuterodon iguape</i> e <i>Rineloricaria</i> sp.1
3	Bacia do Iguaçú	3.471429	5	<i>Astyanax</i> sp.1, <i>Characidium</i> sp.1, <i>Pareorhaphis parmula</i> , <i>Pimelodella</i> aff. <i>lateristriga</i> e <i>Rineloricaria maacki</i>
4	Bacia do Iguaçú	3.062500	4	<i>Pareorhaphis parmula</i> , <i>Parotocinclus</i> sp., <i>Pimelodella</i> aff. <i>lateristriga</i> e <i>Rineloricaria maacki</i>
5	Bacias do Tibagi e Itararé	1.800000	5	<i>Characidium schubarti</i> e <i>Cnesterodon hypselurus</i>
6	Bacias do Tibagi e Iguaçú	1.700000	5	<i>Otothyropsis biannicus</i> e <i>Trichomycterus castroi</i>
7	Bacia do Ivaí	1.833333	3	<i>Otothyropsis</i> sp. e <i>Pimelodella</i> sp.

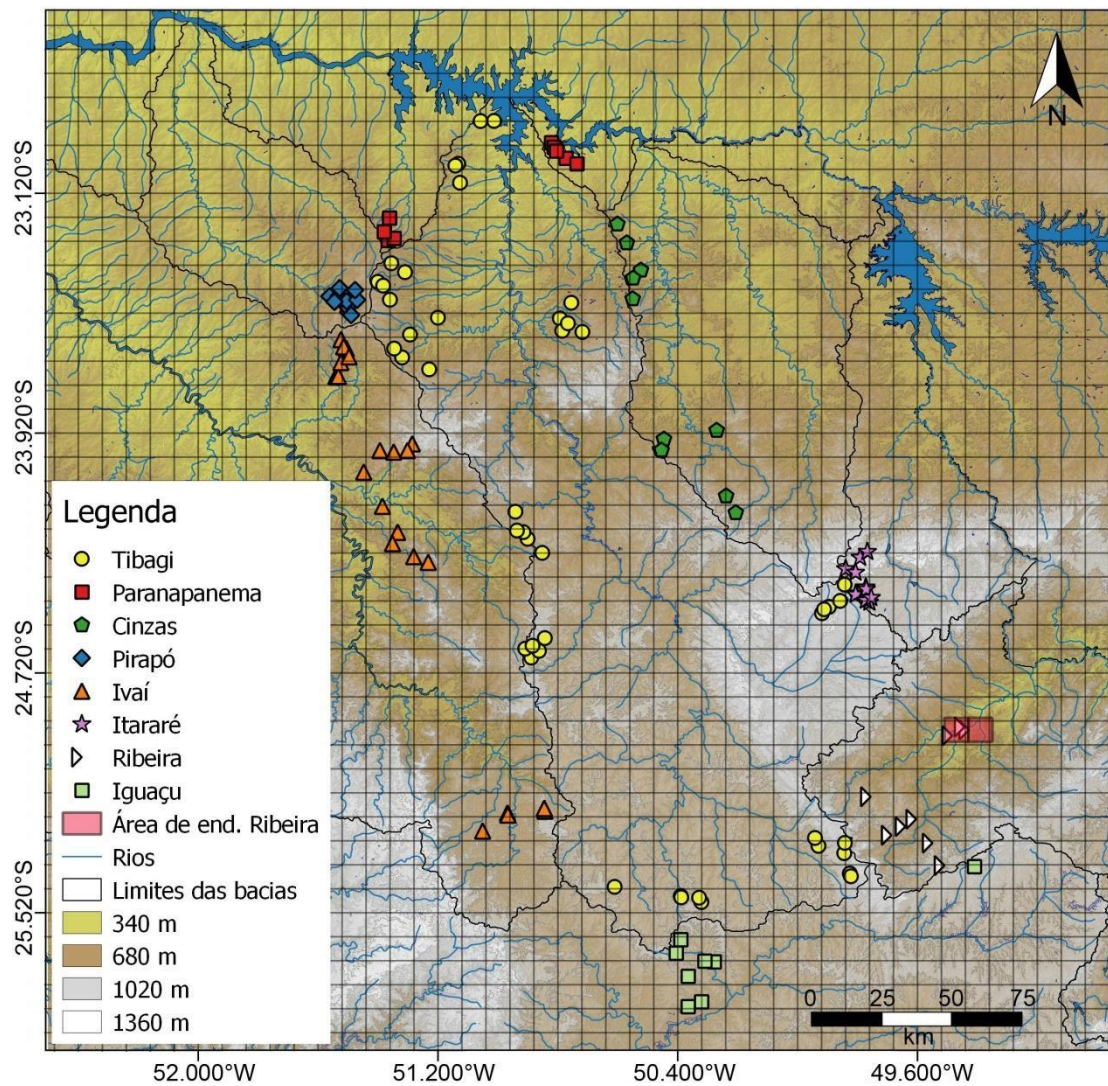


Figura 3 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Ribeira de Iguape.

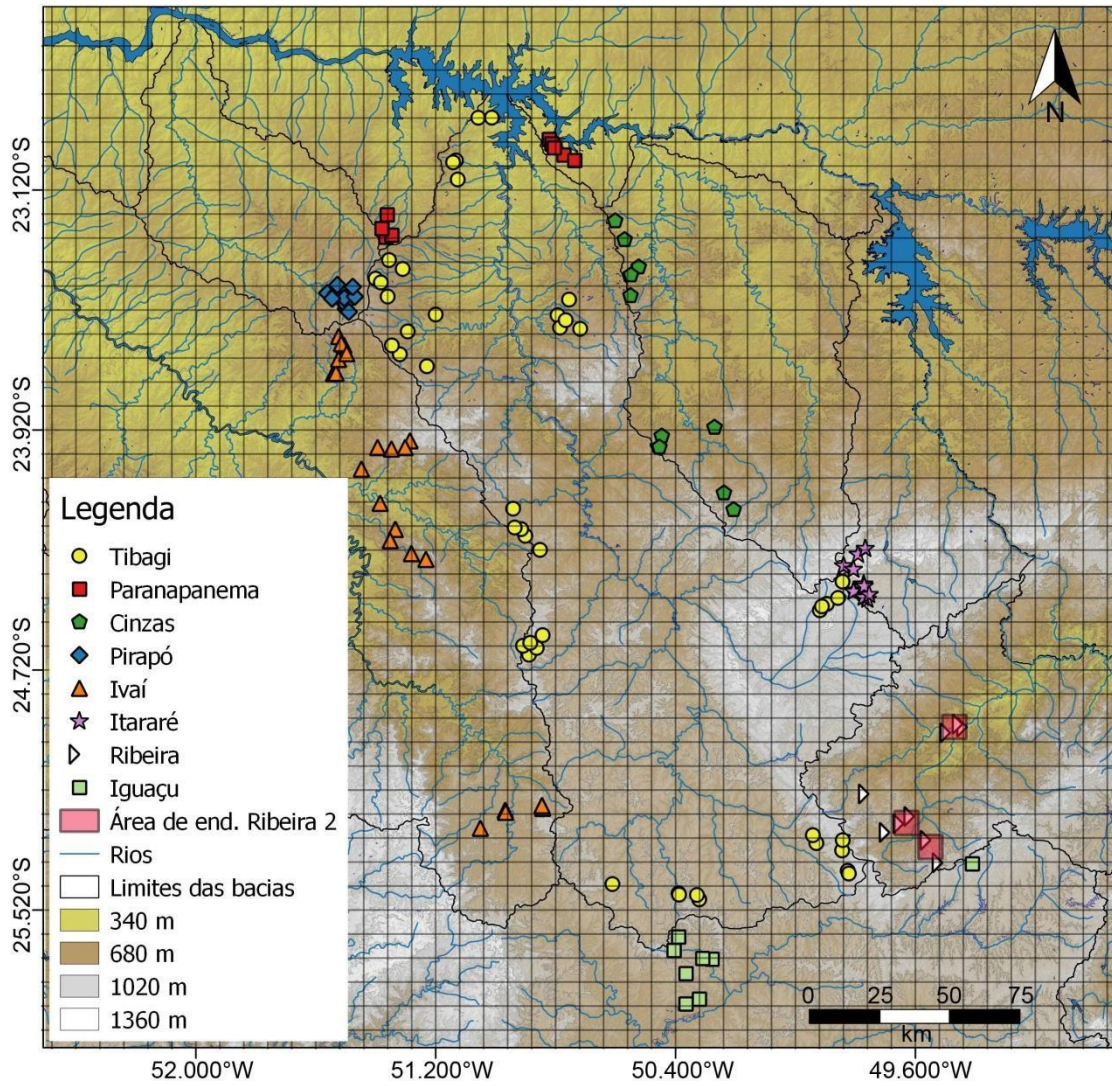


Figura 4 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Ribeira de Iguape.

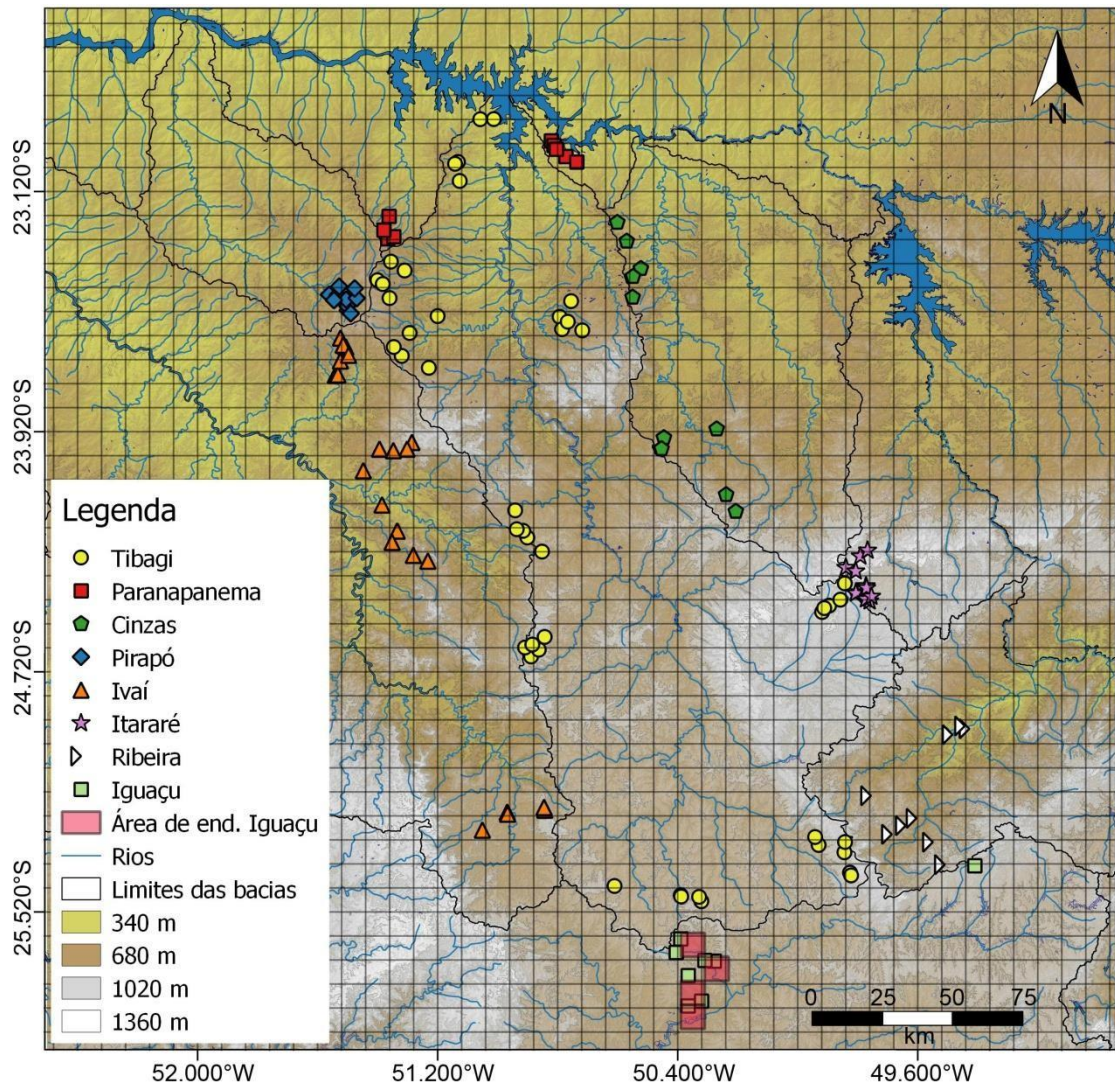


Figura 5 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Iguazu.

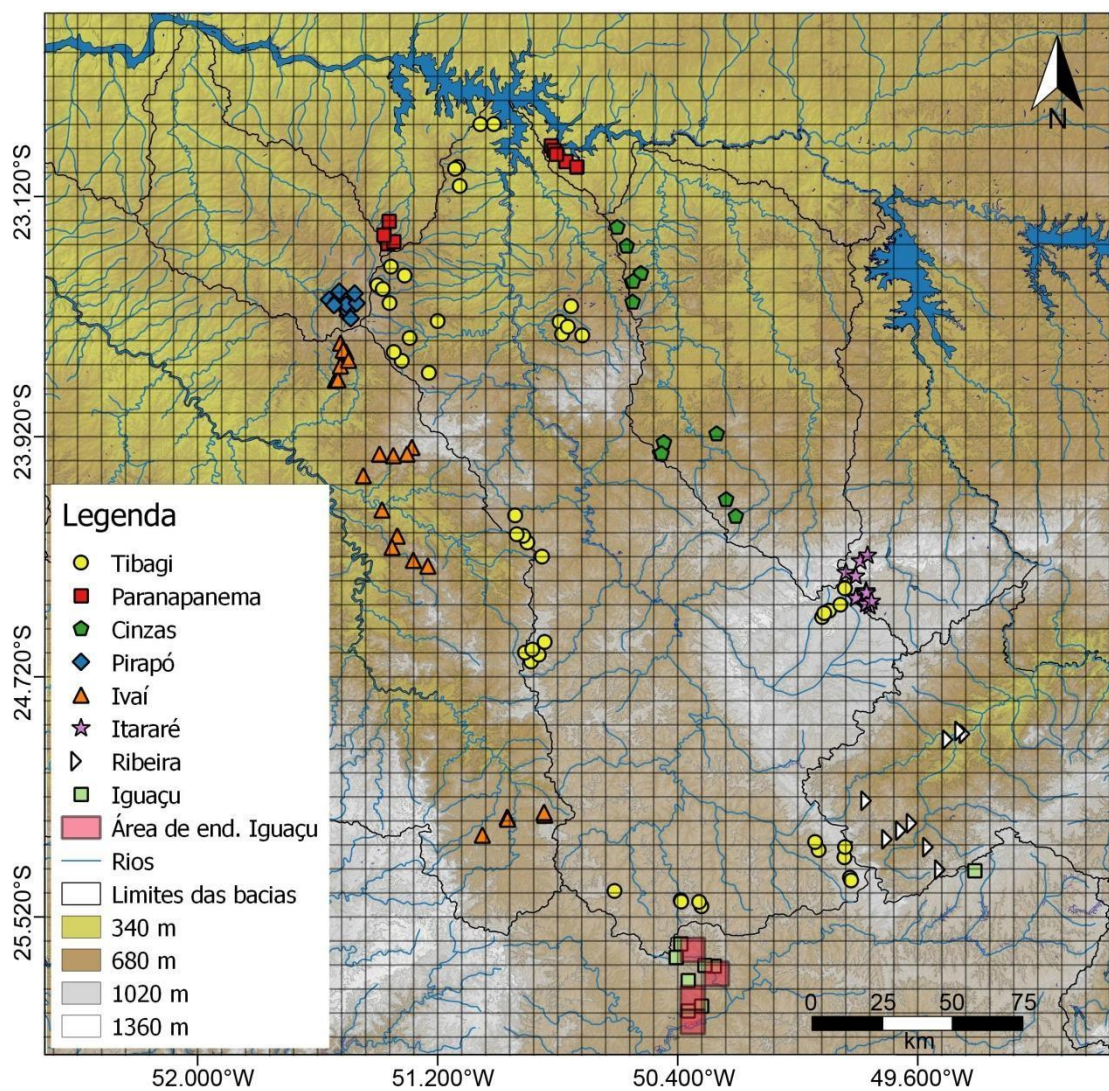


Figura 6 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Iguazu.

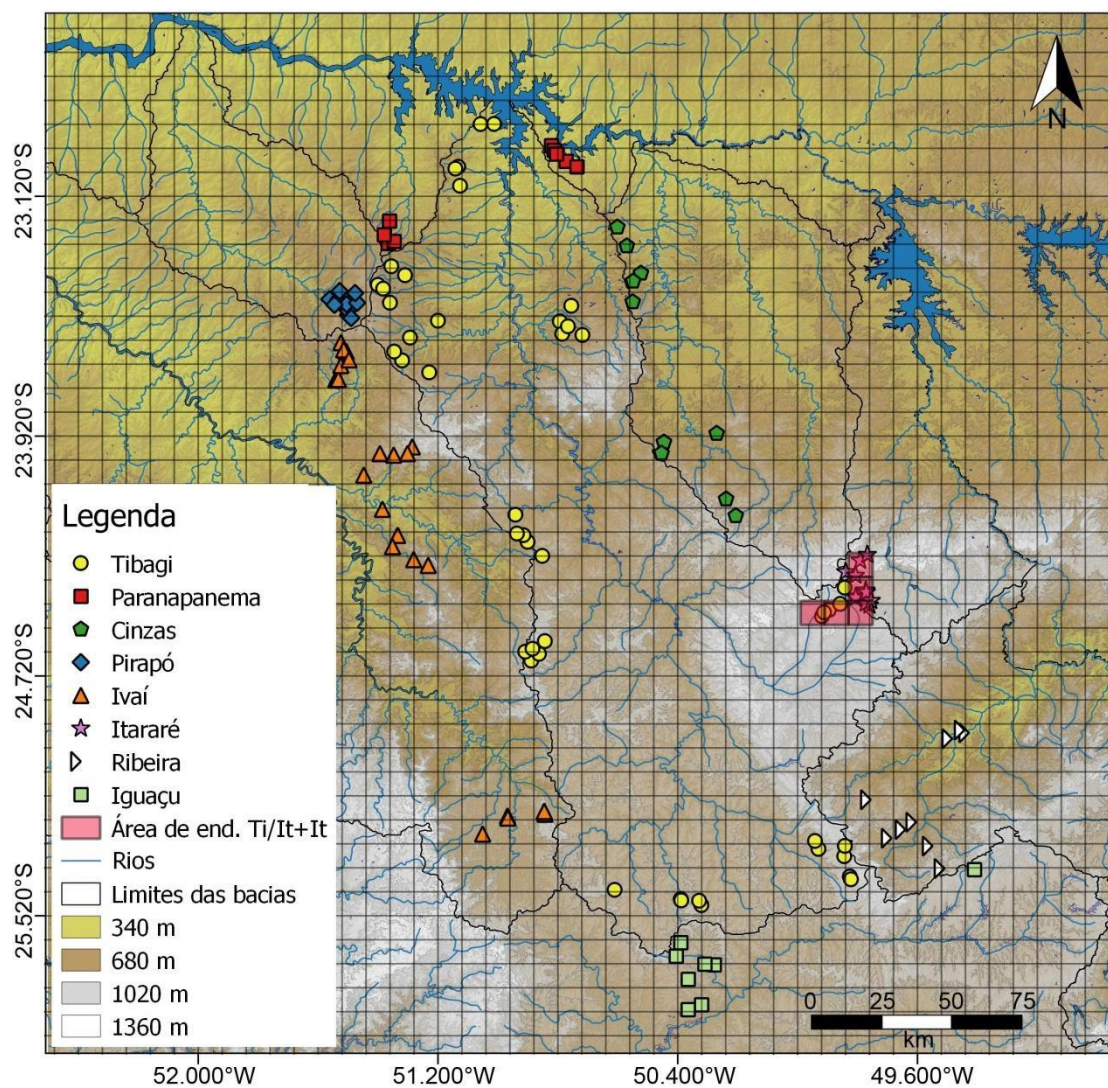


Figura 7 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Tibagi na divisa com o rio Itararé (Ti/It) e o rio Itararé.

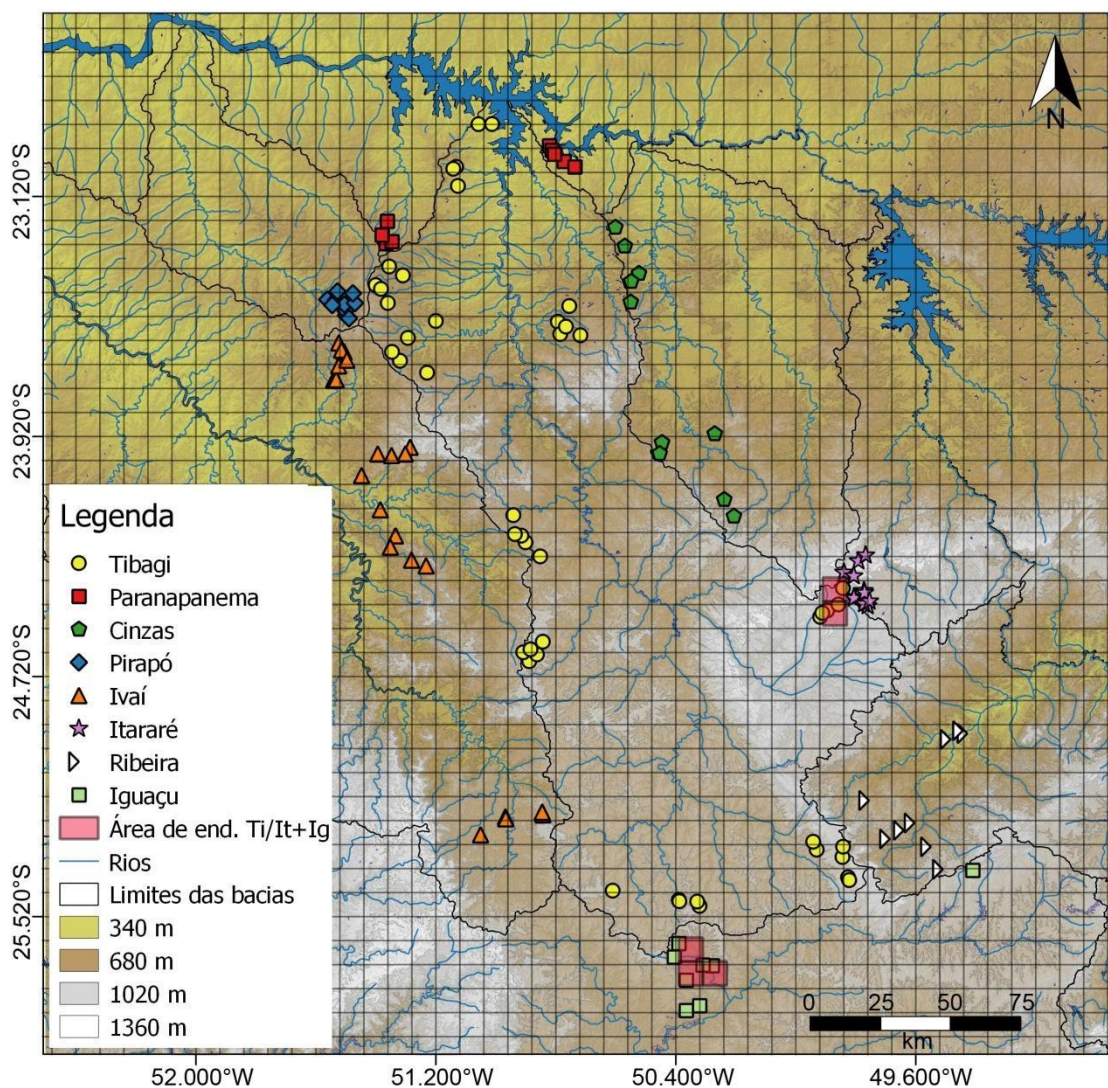


Figura 8 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Tibagi na divisa com o rio Itararé (Ti/It) e o rio Iguaçu.

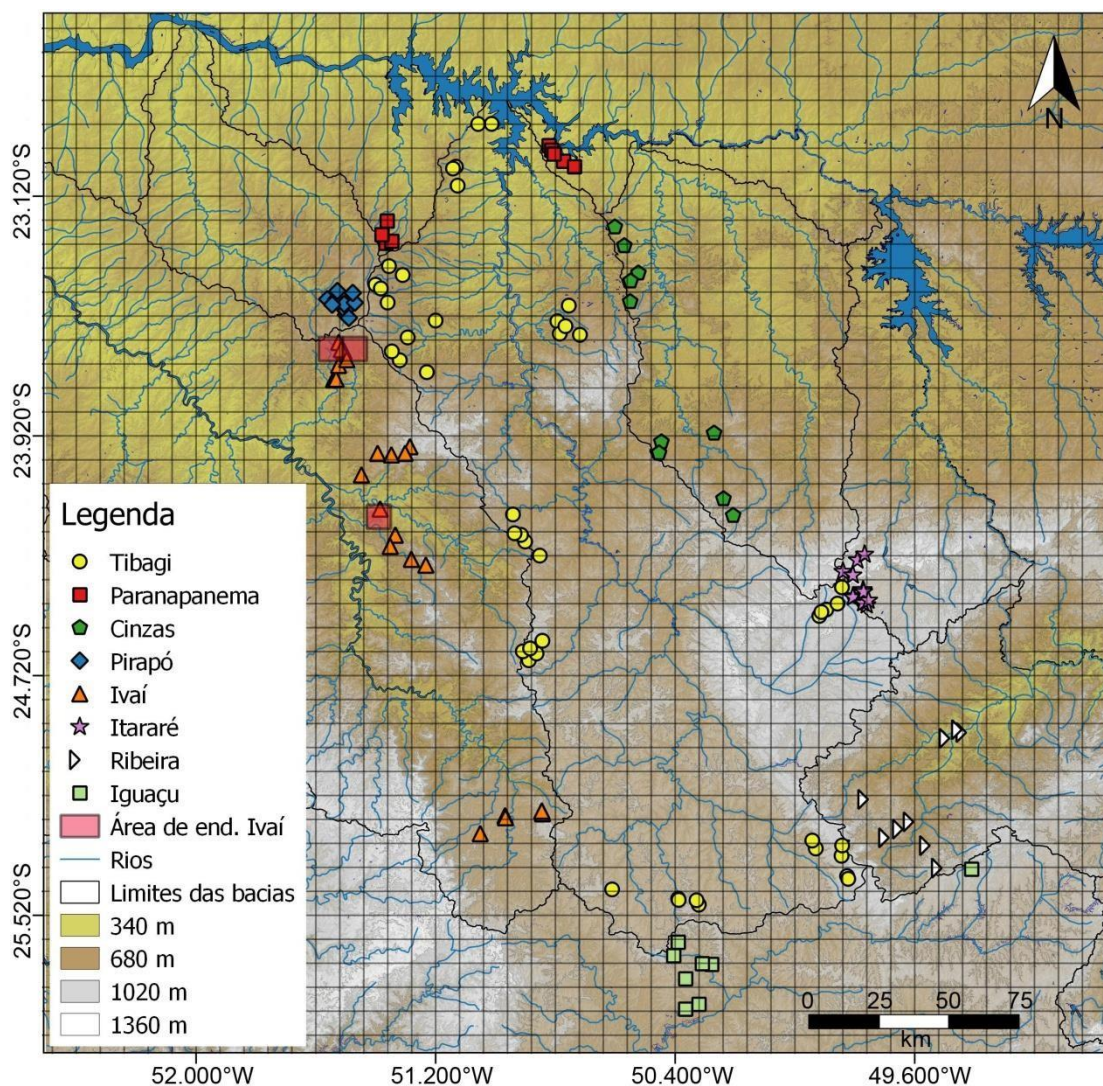


Figura 9 – Área de endemismo delimitada por meio da Análise de Endemicidade na bacia do rio Ivaí.

Das 102 espécies registradas neste estudo somente seis (6%) são compartilhadas pelas três grandes bacias consideradas ecoregiões para a ictiofauna (Alto Paraná, Iguaçu e Ribeira de Iguape) (Abel, 2008), são elas: *Rhamdia quelen*, *Corydoras ehrhardti*, *Hypostomus ancistroides*, *Phalloceros harpagos*, *Geophagus brasiliensis* e *Poecilia reticulata*, esta última exótica. O Alto Paraná compartilha com o Ribeira somente uma espécie (*Bryconamericus iheringi*) e com o Iguaçu nove espécies (*Astyanax altiparanae*, *Mimaginiates microleptis*, *Trichomycterus candidus*, *T. castroi*, *T. davisii*, *Hisonotus francirochai*, *Otothyropsis biannicus*, *Synbranchus marmoratus* e *Cichlasoma paranaense*). Finalmente, o Ribeira compartilha com o Iguaçu uma única espécie (*Ancistrus multispinnis*).

Discussão

Diversidade de espécies de peixes de cabeceiras de riachos

A grande maioria das espécies capturadas é de pequeno porte pertencentes às ordens Siluriformes e Characiformes, o que é uma característica da região Neotropical (Lowe McConell, 1989).

As três espécies mais abundantes, apesar de serem descritas como amplamente distribuídas no continente Sul Americano (De Pinna & Wosiacki, 2003; Shibatta et al., 2002 e Artoni & Shibatta, 2006) são táxons com problemas de identificação ou porque apresentam dificuldades na diferenciação por demandarem a coleta de indivíduos machos e fêmeas (*Phalloceros harpagos*), ou por pertencerem a grupos complexos ainda não resolvidos totalmente (*Astyanax* sp.2) e/ou com grande variação intraespecífica (*Trichomycterus davisi*), o que podem representar provavelmente várias espécies distintas (Shibatta, comunicação pessoal).

Apesar da grande variação no número de pontos amostrados entre o Tibagi e as demais bacias, o que pode, a princípio, justificar a grande diferença na riqueza desta bacia, todas as áreas amostrais se mostraram suficientemente amostradas através dos estimadores de riqueza, com exceção dos pontos da Bacia do Rio Iguazu, que dado ao grande número de espécies raras em cada ponto amostrado, poderia aumentar a sua riqueza com um maior número de coletas. Além disso, como verificado por Hoffmann et al. (2015), o padrão longitudinal da bacia do Tibagi, que percorre os três planaltos paranaenses, que oferece uma maior diversidade de ambientes, e devido à sua grande extensão, comparadas as outras bacias, também pode justificar sua maior riqueza.

Áreas de endemismo

As duas análises se corroboram quando evidenciam as grandes áreas de endemismo correspondentes às três grandes bacias hidrográficas (Alto Paraná, Ribeira de Iguape e Iguazu), porém na PAE, que considera a composição das áreas, são considerados todos os pontos do rio Ribeira e do rio Iguazu e a maior parte da bacia do rio Paranapanema como áreas únicas de endemismo e na AE pequenas áreas dentro das bacias são identificadas como áreas de endemismo. Além disso, as duas análises se diferem no número de espécies que sustentam as áreas e/ou na presença de espécies endêmicas, como já evidenciado por Carvalho (2010).

Na PAE, a maioria das áreas que pertencem à bacia do alto Paraná forma um clado, exceto às do rio Itararé pertencente a esta bacia, e as bacias do rio Ribeira e rio Iguaçu além das pertencentes ao rio Tibagi que estão na divisa com essas bacias e a porção que faz divisa com o rio Pirapó. Essas áreas unidas pela PAE, que são aqui consideradas uma grande área de endemismo, são denominadas em conjunto de bacia do Alto Paraná, uma ecoregião já reconhecida pelo seu alto grau de endemismo (Abel, 2008).

Tanto na PAE como na AE os pontos de amostragem do Itararé formam uma área de endemismo com os pontos de coleta do Tibagi que fazem divisa com essa bacia. Entretanto, as espécies que suportam essa área não são exclusivas dessa região. *Cnesterodon hypselurus* tem como localidade tipo o Rio Cilada que pertence à drenagem do Rio Itararé, que por sua vez faz parte da bacia do Paranapanema, e tem outros registros para as áreas sinalizadas na AE. No entanto, Silva et al. (2015) relataram a ocorrência dessa espécie em outras regiões da bacia do Rio Tibagi além das fronteiras com o Itararé. *Characidium schubarti* é descrita para as bacias do Alto Paraná e do Ribeira (Reis et al., 2003) portanto, não é descrita como endêmica dessa região delimitada na AE. Na PAE as mesmas espécies sustentam um clado, que também caracteriza uma área de endemismo. Essa região está isolada dos demais pontos amostrados no rio Tibagi pela escarpa devoniana, pois os pontos tanto do Tibagi como do Itararé nessa região, pertencem à porção leste dessa escarpa. Além disso, essa região é representada por rios de alta altitude (de 939 a 1180m) e que apresenta o conjunto de pontos mais elevados de toda a área amostrada. Segundo Ribeiro et al. (2010) certos grupos com distribuição tipicamente planáltica podem, por exemplo, transpor os limites dos divisores de águas entre as bacias, porém as espécies estão sempre associadas às suas cabeceiras, ou seja, nas porções mais altas da bacia. A altitude tem sido relatada como um fator de grande influência na distribuição das espécies (Lowe McConnell, 1999; Chernoff & Willink, 2000), inclusive no Alto Paraná (Valério et al., 2007; Suárez et al., 2011).

Nos resultados da PAE, as três áreas de endemismo, o rio Tibagi divisa com o rio Iguaçu (Ti/Ig), o rio Ribeira de Iguape e o rio Iguaçu, apesar de formarem uma politomia e, portanto, não compartilharem espécies exclusivas com as demais áreas, são áreas sustentadas por mais de duas espécies exclusivas, porém nem todas descritas como endêmicas. Na área Ti/Ig as três espécies exclusivas desta área são descritas para

outras regiões costeiras (Reis et al., 2003; Ribeiro, 2006), inclusive duas delas (*Rhamdiopsis moreirai* e *Hyphessobrycon reticulatus*) são exemplos, segundo Ribeiro (2006), de espécies com um padrão de distribuição que reflete eventos geológicos recentes entre os rios de planalto do escudo cristalino e as drenagens costeiras adjacentes devido ao compartilhamento de espécies entre estas áreas. As outras duas áreas formadas, Iguazu e Ribeira, são drenagens reconhecidamente com alto grau de endemismo e são ecoregiões conhecidas e realmente distintas quanto à sua ictiofauna segundo *Freshwater Ecoregion of the World* (FEOW, 2015). As informações para as delimitações dessas ecoregiões do FEOW (2015) foram baseadas principalmente em padrões ecológicos e evolutivos de espécies de peixes ocorrentes em cada área (Abell, 2008).

Nos resultados da Análise de Endemicidade (AE) os maiores *scores* (acima de 2.0) foram encontrados nas bacias dos rios Ribeira de Iguape e Iguazu. Entretanto, os resultados da AE apontam três pequenas áreas dentro dessas bacias, o que pode demonstrar que dentro da grande área de endemismo que corresponde à bacia como um todo, podem existir pequenas áreas de endemismo caracterizadas por um conjunto único de espécies.

A Bacia do Rio Ribeira de Iguape foi a que apresentou um maior número de espécies exclusivas e descritas como endêmicas, demonstrado tanto pelos resultados da AE na qual aparecem duas áreas de endemismo, como pela PAE. Além de estar isolada dos demais afluentes do Rio Paraná pela escarpa devoniana, que divide o segundo do terceiro planalto paranaense, (Maack, 2012) é o único rio amostrado no presente estudo que deságua no Oceano Atlântico a partir da Serra do Mar, já que os demais fluem da Serra do Mar para o interior do continente (Suguio, 2010). O grande número de espécies dessa ecoregião surge, em parte, de ictiofaunas distintas e isoladas por montanhas em planícies costeiras (Malabarba & Isaia 1992) e, em parte, pela captura de cabeceiras de tributários das Bacias do Alto Paraná (Buckup, 2011) o que justifica o compartilhamento, mesmo que baixo, com as demais bacias amostradas.

Uma das áreas de endemismo na AE para o Ribeira de Iguape, que é sustentada pelas espécies *Ituglanis proops*, *Rhamdioglanis transfasciatus* e *Trichomycterus zonatus*, é a localidade com as mais baixas altitudes (327 a 328m) de toda amostragem. Já a outra, sustentada pelas espécies *Bryconamericus microcephalus*, *Deuterodon iguape* e *Rineloriacaria* sp.1, mistura regiões de altas (em torno de 700m) e baixas

(368m) altitudes. Espécies como *Bryconamericus microcephalus*, *Deuterodon iguape* e *Ituglanis proops* descritas como endêmicas da bacia do Ribeira (Reis et al., 2003) já foram registradas em riachos costeiros da Mata Atlântica (Mazzoni & Silva, 2006; Esteves & Lobón-Cerviá, 2001; Datovo & De Pinna, 2013), bem como *R. transfasciatus* e *Trichomycterus zonatus* que possuem distribuição em riachos costeiros entre os estados do Rio de Janeiro e Santa Catarina (Menezes et al. 2007) e em riachos da drenagem do Paraíba do Sul e rios costeiros entre Santa Catarina e São Paulo (Reis et al., 2003; Santos, 2012), respectivamente, excedendo os limites da bacia. Isto demonstra que apesar de isolar drenagens, a altitude presente nos divisores dos riachos pode sofrer eventos geológicos que promovam o compartilhamento de espécies. Estes eventos são mencionados como uma reativação tectônica associada a um complexo sistema de falhas e a um especialmente acelerado dinamismo fluvial que promovem a incorporação de faunas vizinhas (Ribeiro, 2006).

No Iguaçu, a área de endemismo consenso que aparece como resultado da AE engloba quase todos os pontos de amostragem realizados nessa bacia, com exceção de dois pontos, um que está bem próximo à divisa com a bacia do Ribeira de Iguape, e outro na extremidade sul da amostragem. Ou seja, se fosse amostrada uma área maior dentro dessa bacia, provavelmente a área de endemismo resultante da AE poderia ser também aumentada, pois a bacia como um todo é considerada uma ecoregião para a ictiofauna com alto grau de endemismo, o qual foi estimado em 75% (Zawadzki et al., 1999) e está isolada dos demais rios da bacia do Paraná pela formação das cataratas do Iguaçu. Além disso, as espécies que suportam o alto *score* apresentado, tais como *Rineloricaria maacki* e *Pareiorhaphis parmula*, endêmicas do Rio Iguaçu, estão presentes em outros tributários desse rio (Pereira, 2005; Ingenito et al., 2008), fora das quadrículas de amostragem no presente estudo.

Outras duas áreas de endemismo resultantes da AE trata-se de áreas disjuntas. Uma com parte do Iguaçu formando uma área juntamente com a porção do Tibagi que faz divisa com o Itararé, sustentada pelas espécies *Otothyropsis biamnicus* e *Trichomycterus castroi*, e outra na Bacia do Ivaí sustentada pelas espécies *Otothyropsis* sp. e *Pimelodella* sp. Nesta última, altas altitudes em torno de Mauá da Serra e a Serra de Apucarana atuam como divisores de águas da bacia do Ivaí com o Tibagi o que pode restringir a distribuição dessas espécies no rio Ivaí. Tanto *Otothyropsis biamnicus* como *Trichomycterus castroi* possuem área de distribuição que excede as apontadas (Calegari

et al., 2013; De Pinna, 1992) e neste estudo foram encontradas também no rio Iguaçu. Portanto, um efeito de amostragem associado ao pequeno tamanho das quadrículas pode ter como resultado esse padrão de áreas pequenas e disjuntas (Szumik et al., 2002). Uma terceira explicação para espécies comuns às duas regiões, porém disjuntas, é que pode se tratar de um padrão de distribuição relictual com uma atual barreira ecológica (Ribeiro et al., 2010).

As áreas resultantes da AE provavelmente poderiam ser aumentadas com o aumento da amostragem ao longo dessas bacias, o que não significa que as áreas demonstradas deixam de ser áreas de endemismo como um conjunto único de espécies para uma dada área (Crother & Murray, 2011). Hausdorf (2002) define áreas de endemismo como áreas que contém qualquer grupo de táxons com distribuições mais semelhantes entre si do que com qualquer outro grupo de táxons. Além disso, segundo Crother & Murray (2011) as áreas de endemismo apresentam uma organização hierárquica, onde áreas maiores podem conter áreas de endemismo menores, uma dentro da outra, dependendo do tamanho das quadrículas selecionadas para a análise, e que estas são entidades históricas não somente como subprodutos de eventos vicariantes.

Um gênero que demonstra esta separação das três ecoregiões evidenciadas nas análises é *Rineloricaria* que aparece como uma autapomorfia em cada uma delas, estando *Rineloricaria* sp.1 e *R. kronei* presentes no Ribeira de Iguape, *Rineloricaria* sp.2 e *R. maacki* no Iguaçu e *Rineloricaria* sp.3 e *R. pentamaculata* nos rio da bacia do Alto Paraná (Pirapó, Tibagi e Ivaí).

Apesar desse alto endemismo descrito principalmente para o Ribeira e Iguaçu, de acordo com Ribeiro (2006), padrões filogenéticos indicam uma relação biótica próxima entre os rios que correm para o Oceano Atlântico, como o Ribeira de Iguape, e aqueles sobre o escudo cristalino em terras altas adjacentes (especificamente os rios das bacias do Paraná e São Francisco). Acredita-se que há uma grande tendência da bacia do Ribeira que é mais baixa que a bacia do Iguaçu, capturar partes desta última bacia (Ingenito et al., 2004; Ribeiro, 2006).

No alto rio Iguaçu, esse fenômeno pode ser identificado pela presença de *Mimagoniates microlepis*, que neste e em outros estudos foi encontrada também no rio Tibagi. Outros típicos representantes da ictiofauna de drenagens costeiras recentemente recordados no Alto Rio Iguaçu são *Hyphessobrycon griemi*, *H. bifasciatus*, e *H.*

reticulatus (Ingenito et al., 2004) sendo esta última encontrada também no Tibagi no presente estudo. Segundo Ingenito et al. (2004) esta hipótese pode ser corroborada ainda pela presença de *Trichomycterus davisii* e *Rhamdiopsis moreirai* (Bockmann & Guazzeli, 2003; De Pinna & Wosiacki, 2003), e *Hypostomus ancistroides* (Oyakawa et al., 2005), coletadas neste estudo também no rio Tibagi, mas que são espécies descritas originalmente para a bacia do rio Iguazu, e encontradas também na bacia do Ribeira.

Neste contexto, a escarpa devoniana (que apesar do nome é provável que tenha se formado durante o Cenozóico (Souza & Souza, 2000)) aparentemente tem um grande papel no isolamento dessas três principais drenagens amostradas, com conseqüente vicariância, já que estudos apontam que o curso dos rios é mais antigo que a formação da escarpa (Bigarella, 1954 apud Sampaio, 1988; Maack, 2012). No entanto, movimentos verticais entre blocos de falhas e evolução erosiva de rios entre tais falhas promovem uma mistura entre drenagens adjacentes, e parecem explicar a entrada de fauna que ocorre no Ribeira de Iguape e rios costeiros, a partir de drenagens do escudo cristalino mais elevado como das drenagens do rio Iguazu e Paranapanema (Ribeiro, 2006). Esses eventos são recentes, uns com datação de menos de 1,6 M.a. (Ribeiro, 2006) o que justifica o fato de ainda não ter ocorrido especiação nesses grupos compartilhados pelas drenagens isoladas.

A ictiofauna de cabeceiras de riachos tende a diferir consideravelmente entre as bacias (Chernoff & Willink, 2000), como resultado do alto endemismo das espécies de riachos (Castro, 1999). As regiões de cabeceiras de riachos se mostraram importantes áreas de endemismo com exclusividade em sua composição ictiofaunística, o que só pode ser evidenciado através do tamanho das quadrículas selecionadas, que respeitou os divisores de águas. Além disso, a utilização de delimitação de unidades geográficas operacionais diferentes para localizar áreas de endemismo (AE com quadrículas e PAE com regiões como drenagens ou províncias) permite cruzar e testar a congruência das áreas identificadas, o que não seria possível caso as duas análises fossem realizadas em mesma escala, onde as áreas de endemismo poderiam ser subestimadas. Ou seja, estes resultados demonstram a importância de associar mais de uma metodologia, e que diferentes escolhas por áreas, regiões ou quadrículas podem demonstrar áreas de endemismo maiores englobando áreas menores e todas com representações únicas. Neste estudo, a PAE serviu para evidenciar possíveis eventos vicariantes enquanto a AE, por ser mais local, sugere padrões das características ecológicas da área de estudo.

Determinar essas áreas se torna muito importante quando é necessário, por exemplo, eleger áreas prioritárias diante das dificuldades atuais associadas à conservação. Dada à escassez de recursos destinados à criação e manutenção de unidades de conservação, aliada à necessidade de medidas sustentáveis de utilização do ambiente, são exigidos cada vez mais que as áreas a serem protegidas sejam cuidadosamente escolhidas (Gillung, 2011).

Conclusões

Os resultados corroboram o isolamento e consequente diferenciação existente entre as três grandes áreas de endemismo, Alto Paraná, Iguaçu e Ribeira de Iguape, dado ao baixo compartilhamento de espécies e ao grande número de espécies exclusivas para cada uma delas. O compartilhamento de espécies entre as bacias amostradas evidencia eventos mais recentes de captura de cabeceiras. Os resultados também demonstram que análises como a AE e PAE são complementares em determinar áreas de endemismo com uma combinação única de agrupamentos faunísticos. As cabeceiras de riachos evidenciadas como áreas de endemismo no presente estudo merecem atenção conservacionista dada à exclusividade de sua composição ictiofaunística.

Referências Bibliográficas

Abell, R., M. L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, B. Coad, N. Mandrak, S. C. Balderas, W. Bussing, L. Melanie, J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, J. Robertson, E. Armijo, J. V Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H. L. López, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. S. Pérez, R. Abell, M. L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrak, S. C. Balderas, W. Bussing, M. L. J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J. V Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, H. L. López, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. S. Pérez, & P. Petry, 2008. Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. .

Andersson, L. 1996. An ontological dilemma: Epistemology and methodology of historical biogeography. *J. Biogeog.* 23:269–277.

Artoni, R. F. & O. A. Shibatta. 2006. Catálogo ilustrado dos peixes do Parque Estadual de Vila Velha. In: (Org.). Peixes do Parque Estadual de Vila Velha: aspectos da história natural, da biologia evolutiva e da conservação. Ponta Grossa: EDUEPG. p. 93-137.

- Bermingham, E. & A. P. Martin. 1998. Comparative mtDNA phylogeography of neotropical freshwater fishes: tested shared history to infer the evolutionary landscape of lower Central America. *Molecular Ecology*, 7: 499–517.
- Bockmann, F.A. & G.M. Guazzelli. 2003. Family Heptapteridae (Heptapterids), p. 406–431. In: R.E. Reis; S.O. Kullander & C.J. Ferraris JR (Eds). *Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America*. Porto Alegre, Edipucrs, 729p.
- Buckup, P. A. 2011. The Eastern Brazilian Shield. Pp. 203–209. In: Albert, J. S. & R. E. Reis (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Berkeley, University of California Press.
- Calegari, B. B., L. A. Pablo, & R. E. Reis, 2013. Two new species of cascudinhos of the genus *Otothyropsis* (Siluriformes: Hypoptopomatinae) from the rio paraná basin, Brazil. *Zootaxa* 3619: 130–144.
- Carvalho, C. J. B. 2010. reas de Endemismo. In: Carvalho, C. J. B. *Biogeografia da América do Sul: Padrões e Processos* - São Paulo: Editora Roca.
- Casagrande, D., & M. De Grosso, 2013. Areas of Endemism: Methodological and Applied Biogeographic Contributions from South America. *Current Progress in Biological Research* 3–18, http://cdn.intechopen.com/pdfs/43401/InTechAreas_of_endemism_methodological_and_applied_biogeographic_contributions_from_south_america.pdf.
- Castro, R. M. C. 1999. Evoluo da ictiofauna de riachos Sulamericanos: padrões gerais e possíveis processos casuais, p. 139–155. In: Caramaschi, E.P.; Mazzoni, R.; Peres–Neto, P. R. (Eds). *Ecologia de peixes de riachos. Série Oecologia Brasiliensis*, vol. VI. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43(4): 783–791. doi:10.2307/2531532
- Colwell, R.K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2.
- Crisci, J. V., L. Katinas, & O. Posadas. 2003. *Historical biogeography: an introduction*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Crother, B. I., & C. M. Murray, 2011. Ontology of areas of endemism. *Journal of Biogeography* 38: 1009–1015.
- Crother, B. I., & C. M. Murray, 2013. Parsimony analysis of endemism under the “areas of endemismo as individuals” thesis. *Cladistics* 29: 571–573.
- Da Silva, M. B. 2011. reas de Endemismo: as espécies vivem em qualquer lugar, onde podem ou onde historicamente evoluram? *Revista da Biologia*. Vol. Esp.

Biogeografia: 12-17.

Datovo, A., & M. C. C. de Pinna, 2014. A new species of *Ituglanis* representing the southernmost record of the genus, with comments on phylogenetic relationships (Teleostei: Siluriformes: Trichomycteridae). *Journal of Fish Biology* 84: 314–327.

De Pinna, M. C. 1992. A new subfamily of Trichomycteridae (Teleostei, Siluriformes), lower loricarioid relationships and a discussion on the impact of additional taxa for phylogenetic analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 106(3), 175-229.

De Pinna, M. C. C., & Wosiacki, W. B. 2003. Family Trichomycteridae (Pencil or parasitic catfishes). Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Porto Alegre: EdiPUCRS, 270-290.

Eschmeyer, W.N. 2014. Catalog of fishes. Accessed at <http://www.calacademy.org/scientists/projects/catalog-of-fishes>, 23 September 2014.

Esteves, K. E., & J. Lobón-Cerviá, 2001. Composition and trophic structure of a fish community of a clear water Atlantic rainforest stream in southeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes* 62: 429–440.

FEOW. 2015. Freshwater Ecoregions of the World. Disponível em <http://www.feow.org>. Acesso em 25/03/2016.

Goloboff, P. 2004. NDM/VNDM, Programs for identification of areas of endemism. Program and documentation. URL: <http://www.zmuk.dk/public/phylogeny/endemism>. [Links].

Goloboff, P. A., J. S. Farris & K. C. Nixon. 2008. TNT, a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics*, 24: 1-13.

Gillung, J.P. 2011. Biogeografia: a história de vida na Terra. *Revista da Biologia*. Vol. Esp. Biogeografia: 1-5.

Hausdorf, B., 2002. Units in Biogeography. *Systematic Biology* 51: 648–652, <http://sysbio.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1080/10635150290102320>.

Heads, M. 1999. Vicariance biogeography and terrane tectonics in the South Pacific: analysis of the genus *Abrotanella* (Compositae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 67(3), 391-432.

Hoffmann, A. C., R. H. C. Nascimento & O.A. Shibatta. 2015. Fish fauna tributaries throughout the Tibagi River basin, upper Paraná basin, Brazil. *Check List the journal of biodiversity data*. 11(6): 1815.

Humphries, C. J., & Parenti, L. R. 1999. *Cladistic biogeography*. OUP Oxford.

- Ingenito, L. F., Duboc, L. F., & Abilhoa, V. 2004. Contribuição ao conhecimento da ictiofauna da bacia do alto rio Iguaçu, Paraná, Brasil. *Arq. ciênc. vet. zool. UNIPAR*, 7(1), 23-36.
- Ingenito, L. F. S. ; M. S. Ghazzi, L. F. Duboc & V. Abilhoa. 2008. Two new species *Rineloricaria* (Siluriformes: Loricariidae) from the rio Iguaçu basin, southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 6 (3): 355-366.
- Lee, S.M. and A. Chao. 1994. Estimating population size via sample coverage for closed capture-recapture models. *Biometrics* 50(1): 88–97. doi: 10.2307/2533199
- Linder, H. P., 2001. On areas of endemism, with an example from the African Restionaceae. *Systematic biology* 50: 892–912.
- Lowe -M Connell, R. H. 1999. Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes tropicais. São Paulo, EDUSP. 534p.
- Maack, R. 2012. Geografia física do estado do Paraná. Ponta Grossa: UEPG. 526 pp.
- Malabarba, L. R., & Isaia, E. A. 1992. The fresh water fish fauna of the rio Tramandaí drainage, Rio Grande do Sul, Brazil, with a discussion of its historical origin. *Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS, Série Zoologia*, 5(12), 197-223.
- Mazzoni, R., & A. P. F. Da Silva, 2006. Aspectos da história de vida de *Bryconamericus microcephalus* (Miranda Ribeiro) (Characiformes, Characidae) de um riacho costeiro de Mata Atlântica, Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23: 228–233.
- Medri, M.E., E. Bianchini, O.A. Shibatta and J.A. Pimenta (eds.). 2002. A bacia do rio Tibagi. Edition of Editors. Londrina: M.E. Medri. 595 pp.
- Menezes, N.A., S.H. Weitzman, O. T. Oyakawa, F.C.T. Lima, R.M.C. Castro & M.J. Weitzman. 2007. Peixes de água doce da Mata Atlântica: Lista preliminar das espécies e comentários sobre a conservação de peixes de água doce neotropicais. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo. 408 pp.
- Morrone, J. J. 1994. On the identification of areas of endemism. *System. Biol.*, Washington, v. 43, p. 438-441.
- Morrone, J. J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia*, 48(2), 149-162.
- Morrone, J. J. 2000. What is the Chacoan subregion?. *Neotropica*, 46, 51-68.
- Morrone, J. J., & J. V. Crisci, 1995. Historical Biogeography: Introduction to Methods. *Annual Review Ecology and Systematics* 26: 373–401.

- Nelson, G., & N. Platnick. 1981. Systematics and biogeography: Cladistics and vicariance. Columbia Univ. Press, New York.
- Oyakawa, O. T., Akama, A., & Zanata, A. M. 2005. Review of the genus *Hypostomus* Lacépède, 1803 from rio Ribeira de Iguape basin, with description of a new species (Pisces, Siluriformes, Loricariidae). *Zootaxa*, 921: 1-27.
- Pereira, E. H. L., 2005. Resurrection of *Pareiorhaphis* Miranda Ribeiro, 1918 (Teleostei: Siluriformes: Loricariidae), and description of a new species from the rio Iguacu basin, Brazil Edson. *Neotropical Ichthyology* 3: 271–276.
- Platnick, N. I. 1991. On areas of endemism. *Aust. Syst. Bot.* 4:xi-xii.
- QGIS Development Team. 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Acesso em <http://qgis.osgeo.org>, 18/04/ 2014.
- Reis, R. E., Kullander, S. O., & Ferraris, C. J. 2003. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. Edipucrs.
- Ribeiro, A. C., 2006. Tectonic history and the biogeography of the freshwater fishes from the coastal drainages of eastern Brazil: An example of faunal evolution associated with a divergent continental margin. *Neotropical Ichthyology* 4: 225–246.
- Ribeiro, A. C., F. C. T. de Lima & N. A. Menezes. 2010. Biogeografia dos peixes de água doce da América do Sul. In: Carvalho, C. J. B. Biogeografia da América do Sul: Padrões e Processos - São Paulo: Editora Roca.
- Rosen, B.R. 1988. From fossils to earth history: applied historical biogeography. In: Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions (eds. A.A. Myers and P.S. Giller), pp. 437–481. Chapman and Hall, London.
- Santos, J. F., 2012. Revisão taxonômica do gênero *Trichomycterus* Valenciennes, 1832 (Siluriformes: Trichomycteridae) no sistema da laguna dos Patos. 1832: 122.
- Schaffer, S.A. 1998. Conflict and resolution: Impact of new taxa on phylogenetic studies of the neotropical cascudinhos (Siluroidei: Loricariidae). In: L.R. Malabarba, R.E. Reis, R.P. Vari, C.A.S. Lucena (eds), Phylogeny and classification of neotropical fishes. Mus. Ciênc. Tecn. PUCRGS, Porto Alegre.
- Shibatta, O.A., M.L. Orsi, S.T. Bennemann & A.T. Silva-Souza. 2002. Diversidade e distribuição de peixes na bacia do rio Tibagi; pp. 403–423, In: M.E Medri, E. Bianchini, O.A. Shibatta, J.A. Pimenta (eds.). A bacia do rio Tibagi. Londrina: M.E. Medri.
- Silva, J. F. M., F. C. Jerep & S. T. Bennemann, 2015. New record and distribution extension of the endangered freshwater fish *Cnesterodon hypselurus*

(Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in the upper Paraná River basin, Brazil. Check list the journal of biodiversity data. 11(6): 1811.

Souza, C. R. G. & A. P. Souza, 2000. O ecarpamento estrutural Furnas na região S-SE do Brasil. In: Schobbenhaus, C.; D. A. Campos; E. T. Queiroz; M. Winge & M. Berbert-Born, (Edit.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publicado na Internet em 19/05/2000 no endereço <http://sigep.cprm.gov.br/sitio080/sitio080.htm>. Acesso em 01/04/2016.

Súarez, Y., M. R. Maldonado De Souza, F. S. Ferreira, M. J. Pereira, E. Amancio, D. Silva, L. Queli, L. Ximenes, L. Gonçalves De Azevedo, O. C. Martins, & S. E. Lima Júnior. 2011. Patterns of species richness and composition of fish assemblages in streams of the Ivinhema River basin, Upper Paraná River. *Acta Limnologica Brasiliensia* 23: 1–12.

Suguio, K. 2010. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. São Paulo: Oficina de textos.

Szumik, C. a, F. Cuezco, P. a Goloboff, & A. E. Chalup, 2002. An Optimality Criterion to Determine Areas of Endemism. *Systematic Biology* 51: 806–816, <http://sysbio.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1080/10635150290102483>.

Szumik, C., & P. Goloboff. 2004. Areas of endemism: an improved optimality criterion. *Systematic biology* 53: 968–977.

Valério, S. B.; Y. R. Suárez, T. R. A. Felipe, Tondato, K. K. & Ximenes, L. Q. L. 2007. Organization patterns of headwaters-stream fish communities in the Upper Paraguay – Paraná basins. *Hydrobiologia*. 583: 241-250.

Willink, P. W., B. Chernoff, L. E. Alonso, J. R. Montambault, & R. Lourival. 2000. A biological assessment of the aquatic ecosystems of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. *RAP Bulletin of Biological Assessment* 18. .

Zawadzki, C. H., Renesto, E., & Bini, L. M. 1999. Rio Iguazu basin (Brazil). *Revue suisse de Zoologie*, 106(1): 91-105.

Capítulo II

Fish fauna from tributaries throughout the Tibagi River basin, upper
Paraná basin, Brazil

Fish fauna from tributaries throughout the Tibagi River basin, upper Paraná basin, Brazil

Ana Cecília Hoffmann^{1,2*}, Raul Henrique Cardoso Nascimento² and Oscar Akio Shibatta²

1 Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia e Tecnologia, BR 369, Km 54, CEP 86360-000, Bandeirantes, PR, Brazil

2 Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445, km 380, Campus Universitário, CEP 86057-970, Londrina, PR, Brazil

* Corresponding author. E-mail: cecishoffmann@hotmail.com

Abstract: Fishes were collected at 36 sites in first order streams of Tibagi River basin, Paraná state, Brazil. A total of 2,669 individuals belonging to 47 species of 13 families and six orders were collected. The number of collected species represented 95.9% of the expected number of species for the studied area as estimated by Chao 1, and 93.4% by ACE, indicating an effective sampling. The highest richness was recorded in the tributaries at the lower region (Zone III) of the Tibagi River basin, with 33 species, including 16 species not found in the other regions of the basin. In the streams of the middle and upper regions (Zones II and I) each presented less richness, with 10 (two exclusive) and 25 (11 exclusive) species, respectively. This study shows a high geographic variation in the composition of fish fauna among zones, maybe related to historical and/or ecological influences.

Key words: freshwater, Neotropical Region, Upper Paraná River

INTRODUCTION

Fishes from the Tibagi River basin have been studied since 1989 (Shibatta et al. 2002). However, surveys of their diversity in first order streams were restricted to few localities. For example, there are studies encompassing only one stream (Oliveira and Bennemann 2005, Galves et al. 2007b, Vieira and Shibatta 2007; Shibatta et al. 2008), three (Galves et al. 2007a), eight (Shibatta and Cheida 2003), and 10 streams (Shibatta et al. 2002), but none of them compared the diversity along the basin.

Therefore, this work is intended to add species to the list of ichthyofauna of the Tibagi River basin, with sampling points in its three zones (Zone I: upper, Zone II: middle and Zone III: lower regions of the basin). The

emphasis was given to the first-order streams, because a large part of the fish diversity in these environments is still poorly known, and because their environmental characteristics are being affected by increasing urbanization making urgent the study of fish fauna.

This study aims to survey the fish species in streams of the Tibagi River basin, and to test the hypothesis that its upper, middle, and lower regions present different species richness.

MATERIAL AND METHODS

Study sites

The Tibagi River is the main tributary of the left bank of the Paranapanema River, a tributary within the Paraná River basin (França 2002). The Tibagi River basin is located between the geographic coordinates 22°47'22" and 25°36'25" S and 049°36'00" and 051°27'36" W, and is formed by 65 direct tributaries, encompassing an area of 25,000 km². Its headwaters are located in southern Paraná State, in Palmeira city, at 1,060 m of altitude. The Tibagi River runs 550 km northward to its mouth at the Capivara dam, Paranapanema River, at 298 m altitude (Medri et al. 2002).

Fishes were collected in 36 sites (Table 1) in first-order streams along the Tibagi River basin (Figure 1). The sampled streams had widths ranging from 0.5–5 m and depths of 0.10–1.20 m.

According to the hydrodynamic behavior and water availability associated with regional climatic factors, the basin is divided into Zones I, II, and III (França 2002). The collection sites cover the first, second and third plateau of the Paraná state (Maack 2012). Zone I, or upper Tibagi River basin, corresponds to the headwaters. It is located in southern of the state, and includes the geomorphological region of the Ponta Grossa Plateau (França 2002). Zone II, or

Table 1. Location of the sampling sites along the Tibagi River basin.

Zone	Sampling Sites	Latitude (S)	Longitude (W)	Alt (m)
Zone I	S01	24°25'32.40"	049°50'35.90"	1,028

S02	24°30'28.70"	049°54'42.90"	1,012	S33	23°24'55.81"	051°24'03.49"	699	
S03	24°29'59.50"	049°53'45.10"	1,025	S34	23°28'30.61"	051°21'38.64"	716	
S04	24°31'15.90"	049°55'08.20"	1,015	S35	23°21'12.90"	051°21'22.50"	645	
S05	24°28'47.80"	049°51'29.70"	1,034	S36	23°22'59.90"	051°18'37.60"	557	
S06	25°17'14.30"	049°50'33.00"	1,048	<p>medium Tibagi River basin, has its territorial domain extending to the limits of the Second Paraná Plateau, running in a south to north direction. Zone III, or lower Tibagi River basin, is located on the Third Paraná Plateau (França 2002) (Figure 1).</p> <p>Samples</p> <p>Collections of fishes were conducted from December 2012 to August 2014 (collecting permit number SISBIO 12120-1, 09/16/2007). Each site was sampled for 60 minutes, using two sieves and a seine. The fishes were instantly fixed in 10% formalin and after 24 to 48 h transferred to 70% ethanol. The classification into orders and families follows Eschmeyer (2014). The vouchers are deposited in the collection of the Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Londrina (MZUEL), Londrina, Paraná, Brazil. The list of vouchers is presented in Appendix 1, with number of individuals followed by the minimum and maximum standard length (SL), or total length (TL), per lot.</p> <p>Data analysis</p> <p>The collection efficiency was evaluated by the collector curve using the EstimateS 8.2 software (Colwell 2009). Non-parametric estimators Chao 1 (Incidence-based Coverage Estimator; Chao 1987) and ACE (Abundancebased Coverage Estimator; Lee and Chao 1994) were used to compare the estimates of richness among data sets of this inventory, considering the species-abundance distribution of the samples. Box plot analysis was used to compare the composition of species among zones, and was performed using the software PAST v.2.7c (Hammer et al. 2001). Data were standardized to evaluate the similarity of species among streams of the three zones, applying the square root on the ratio of the presence of the species (represented by "1") divided by its abundance. These data were submitted to a clusters analysis with Bray-Curtis similarities using the software PAST v.2.7c (Hammer et al. 2001). Quantum GIS 2.0.1 software was used to produce a map of geographical distribution of collection sites (QGIS Development Team 2014).</p> <p>RESULTS</p> <p>A total of 2,669 specimens of fishes were collected, belonging to 47 species (see photographs in Figure A1, A2, A3, A4, and A5) of 13 families and 6 orders (Table 2). The richest order was Siluriformes (19 species),</p>				
S07	25°17'50.00"	049°55'50.40"	864					
S08	25°19'17.80"	049°50'40.50"	989					
S09	25°23'55.00"	049°49'20.40"	980					
S10	25°23'21.80"	049°49'34.00"	984					
S11	25°16'14.70"	049°56'32.30"	770					
S12	25°28'12.60"	050°19'44.40"	824					
S13	25°29'04.80"	050°19'17.50"	834					
S14	25°28'08.20"	050°23'19.10"	852					
S15	25°27'52.50"	050°23'24.70"	834					
S16	25°26'01.80"	050°36'39.30"	802					
Zone II	S17	24°15'01.90"	050°54'55.00"					812
	S18	24°16'22.00"	050°54'05.10"					813
	S19	24°10'56.50"	050°56'31.50"					693
	S20	24°14'42.80"	050°56'12.90"					783
	S21	24°19'11.10"	050°51'09.10"					803
Zone III	S22	23°05'05.60"	051°07'36.80"	415				
	S23	23°01'17.40"	051°07'58.20"	400				
	S24	22°52'44.80"	051°03'30.10"	371				
	S25	23°01'39.80"	051°08'32.70"	436				
	S26	22°52'43.40"	051°00'47.70"	359				
	S27	23°33'13.80"	050°46'00.50"	642				
	S28	23°34'57.80"	050°43'06.20"	698				
	S29	23°34'43.50"	050°47'08.90"	662				
	S30	23°29'07.10"	050°45'20.30"	568				
	S31	23°32'14.80"	050°47'37.40"	606				
	S32	23°25'41.60"	051°23'00.20"	577				

followed by Characiformes (18 species), corresponding together to 78% of the total number of species.

The expected number of species for the study area, according to the accumulation curve of species based on Chao 1 was 49, and 50 by ACE. The observed species richness (47 species) represented 95.9% of the species estimated by Chao 1 and 93.4% by ACE, indicating the efficiency of the sampling methods (Figure 2).

The 36 sampling sites presented richness ranging from 1 to 11 species (Figure 3). The Zone II showed less variation and the lower species richness between the portions studied (2 to 4 species), and the Zone III the opposite, showed greater variation and richness (3 to 11 species).

There was no capture of endemic species in the Tibagi River basin, but nevertheless, there were differences in

the ichthyofauna richness among the three regions of the basin. The Zone III showed the highest richness, with 33 species, including 16 exclusive to this region. The Zone II and Zone I presented less richness than the Zone III, with 10 (2 exclusive) and 25 (11 exclusive) species, respectively. These results were similar to those shown in the similarity analysis (Figure 4), which showed a trend of different clustering of the sampled points of Zones I and III, and only the sites of Zone II of the Tibagi River basin mixing fish fauna with the Zone I.

All the collected specimens were small to medium-sized. The species with smallest maximum size was *Poecilia reticulata* (31.0 mm SL) and the largest maximum size was *Gymnotus omarorum* (220.5 mm TL).

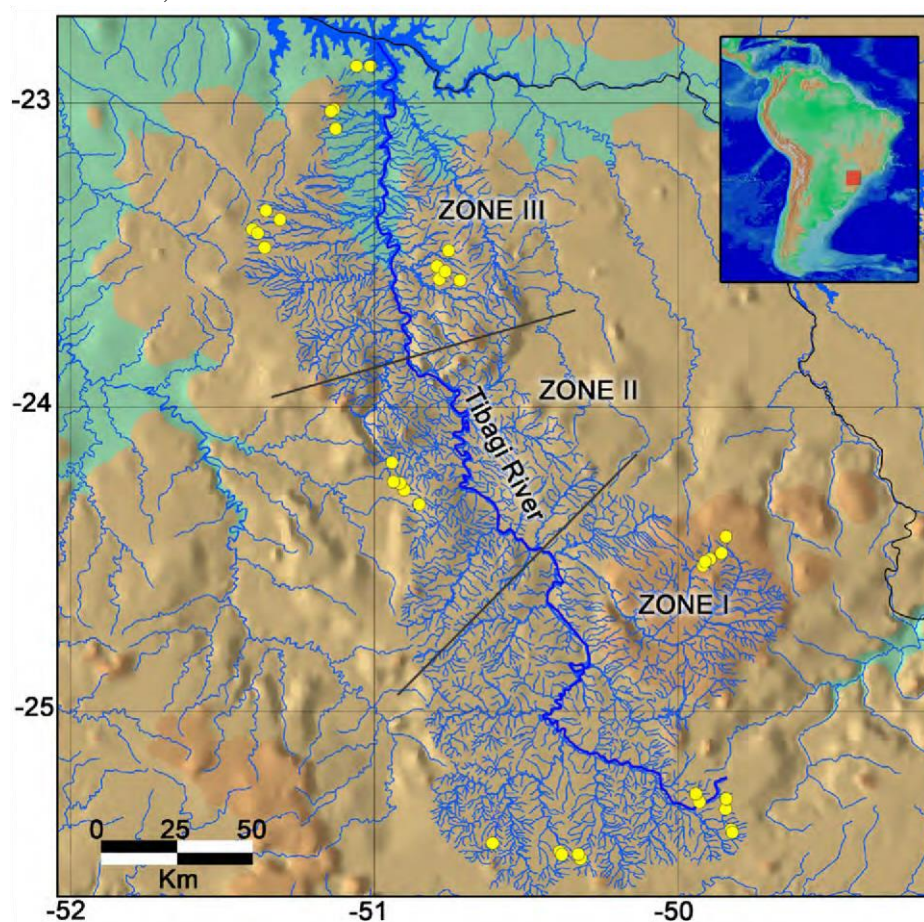


Figure 1. Sampling sites in first order streams of three zones of the Tibagi River basin, Paraná state, Brazil.

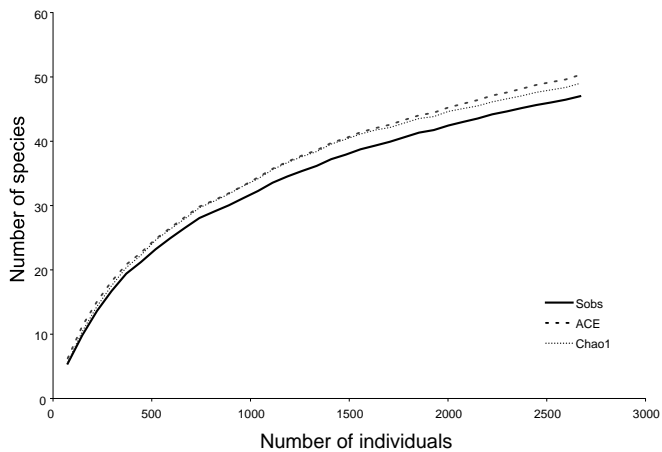


Figure 2. Comparison of species accumulation curves generated by species richness (Sobs) and the richness estimators (ACE and Chao 1), for collections made in the tributaries of the Tibagi River basin, Paraná state, Brazil.

Four species were widely distributed at sampling sites of this study, occurring in all zones: *Phalloceros harpagos*, which occurred in 22 localities, *Trichomycterus davisii*, which occurred in 14 localities, *Astyanax paranae*, which was found in 12 localities, and *Geophagus brasiliensis*, which occurred in six localities. Furthermore, three species that are considered rare were sampled in the Zone I of the basin; they are *Mimagoniates microlepis*, *Rhamdiopsis moreirai* and *Characidium schubarti*.

DISCUSSION

The pattern observed in composition, with predominance of Siluriformes and Characiformes, has been extensively discussed for Neotropical rivers and streams (Lowe-McConnell 1999). However, the order with highest abundance was Cyprinodontiformes, which represented 48% of the total sampled, with 1,284 individuals. This is due to the high dominance of a single species *Phalloceros harpagos*, with a total of 1,180 individuals captured.

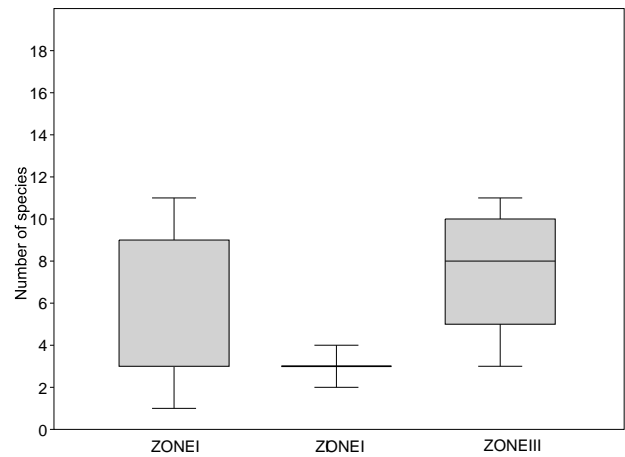


Figure 3. Box plot comparing the richness of species between the three zones of the Tibagi River basin.

Table 2. List of freshwater fish species and number of specimens from the streams of Tibagi River basin sampled in this study.

Taxa	Zone			Taxa	Zone		
	I	II	III		I	II	III
CHARACIFORMES				Trichomycteridae			
Curimatidae				<i>Trichomycterus candidus</i> (Miranda Ribeiro, 1949)			
<i>Steindachnerina insculpta</i> (Fernández-Yépez, 1948)			16	<i>Trichomycterus castroi</i> de Pinna, 1992	15		
Parodontidae				<i>Trichomycterus davisii</i> (Haseman, 1911)			
<i>Apareiodon ibitiensis</i> Amaral Campos, 1944			10	<i>Trichomycterus diabolus</i> Bockmann, Casatti & de Pinna, 2004	11	15	12
<i>Apareiodon piracicabae</i> (Eigenmann, 1907)			2	Callichthyidae			
Erythrinidae				<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)			
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	2		2	<i>Corydoras aeneus</i> (Gill, 1858)			21
Characidae				<i>Corydoras ehrhardti</i> Steindachner, 1910			
<i>Astyanax altiparanae</i> Garutti & Britski, 2000			18	Loricariidae			
<i>Astyanax bockmanni</i> Vari & Castro, 2007			77	<i>Hisonotus francirochai</i> (Ihering, 1928)			
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier, 1819)	10		4	<i>Hypostomus ancistroides</i> (Ihering, 1911)		2	168
<i>Astyanax paranae</i> Eigenmann, 1914	49	1	16	<i>Hypostomus nigromaculatus</i> (Schubart, 1964)			6
<i>Astyanax</i> sp.		5		<i>Hypostomus strigaticeps</i> (Regan, 1908)			19
<i>Bryconamericus iheringii</i> (Boulenger, 1887)		14	61	<i>Neoplecostomus paranensis</i> Langeani, 1990			1
<i>Bryconamericus stramineus</i> Eigenmann, 1908	5		32	<i>Neoplecostomus selenae</i> Zawadzki, Pavanelli & Langeani, 2008	13		
<i>Hypheobrycon boulengeri</i> (Eigenmann, 1907)	1			<i>Neoplecostomus yapo</i> Zawadzki, Pavanelli & Langeani, 2008		3	8
<i>Mimagoniates microlepis</i> (Steindachner, 1877)	1			<i>Otothyropsis biannicus</i> Calegari, Lehmann A. & Reis, 2013	2		
<i>Oligosarcus paranensis</i> Menezes & Géry, 1983		25	3	GYMNOTIFORMES			
<i>Piabina argentea</i> Reinhardt, 1867			61	Gymnotidae			
Crenuchidae				<i>Gymnotus amarorum</i> Richer-de-Forges, Crampton & Albert, 2009			
<i>Characidium gomesi</i> Travassos, 1956	36		1				
<i>Characidium schubarti</i> Travassos, 1955	30			CYPRINODONTIFORMES			
<i>Characidium zebra</i> Eigenmann, 1909	7		17	Poeciliidae			
SILURIFORMES				<i>Phallocceros harpagos</i> Lucinda, 2008			
Heptapteridae				<i>Poecilia reticulata</i> Peters, 1859			
<i>Cetopsorhamdia iheringi</i> Schubart & Gomes, 1959			18	<i>Cnesterodon hypselurus</i> Lucinda & Garavello, 2001	7		
<i>Imparfinis mirini</i> Haseman, 1911	7		33	SYNBRANCHIFORMES			
<i>Phenacorhamdia tenebrosa</i> (Schubart, 1964)			7	Synbranchidae			
<i>Pimelodella gracilis</i> (Valenciennes, 1835)	7			<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795			
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	4		11				
<i>Rhamdiopsis moreirai</i> Haseman, 1911	3			PERCIFORMES			
				Cichlidae			
				<i>Crenicichla jaguarensis</i> (Holmberg, 1891)			
				<i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy & Gaimard, 1824)			
				<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)			

The high dominance of a species usually is related to the environmental disturbances, when one species is favored

by the new conditions in contrary to the majority (Casatti et al. 2006; Pinto et al. 2006).

The low richness in streams of upper Paraná basin was also reported by other authors (Bennemann et al. 1995; Shibatta et al. 2002; Costa et al. 2013). Also, only 15 species was recorded by Oliveira and Bennemann (2005) and 12 species by Vieira and Shibatta (2007) in streams of Zone III.

All the specimens collected are of small size, typical habitants of small streams (Castro 1999). Besides, small species represent the vast majority of species found in streams, nearly 50% of all fish species described for this kind of environments in South America (Castro 1999), and more than 65% of the species of the Upper Paraná River basin (Langeani et al. 2007).

Two introduced species were recorded, *Poecilia reticulata* and *Oreochromis niloticus*, which together account for 3.7% of total captured specimens. The origin of introduction of these species is not known, but the first is very common in the local aquarium stores, and the second is raised in regional aquacultures. It is not difficult to consider that the introduction of *P. reticulata* was by aquarists who released fish into the wild, and the escape of *O. niloticus* from overflowing tanks during heavy rains.

This study shows that streams within the same river basin, of the same order, but in different portions of the river, may differ in species richness. Only four species (*Astyanax paranae*, *Geophagus brasiliensis*, *Phalloceros harpagos*, and *Trichomycterus davisi*) occurred in all Zones, and can be considered representative species of first order streams of Tibagi River basin. The presence of *Mimagoniates microlepis*, a species widely distributed in streams of Brazilian coastal region (Menezes et al. 2007), and *Rhamdiopsis moreirai*, a species described from Iguaçú River basin (Haseman 1911), in Zone I, is an indication of influence of adjacent basins in the fish composition of Tibagi River basin. *Characidium schubarti* was first recorded to the Tibagi River basin, in Zone I only. Its distribution is probably restricted due to differences in the environment along the Tibagi River basin.

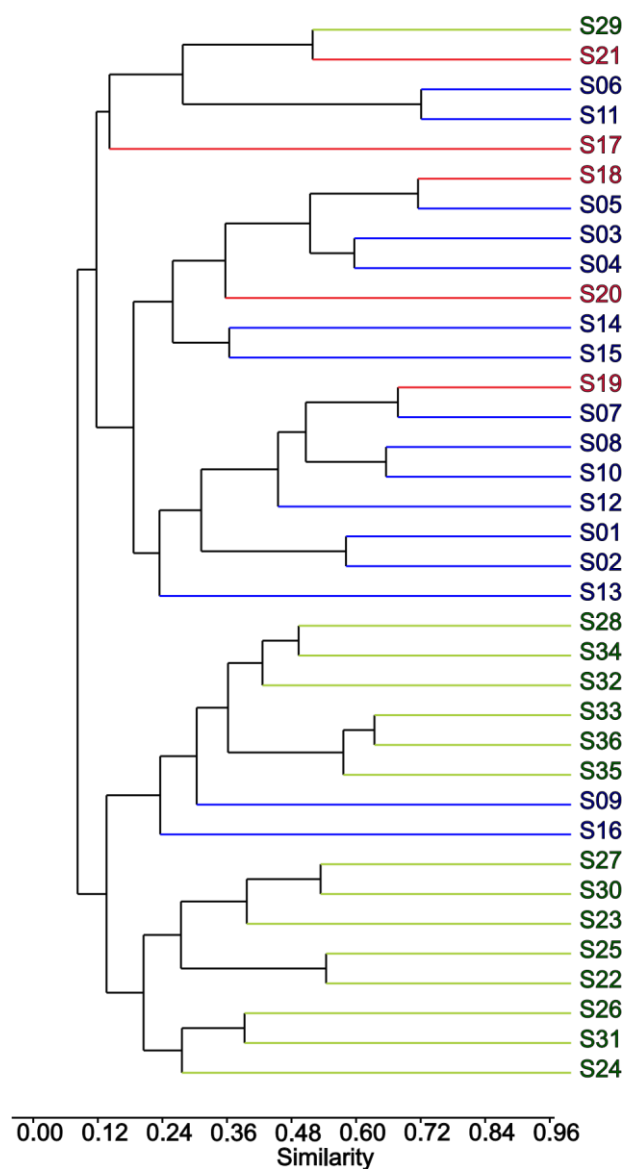


Figure 4. Clusters analyses of Bray Curtis similarities of sampling sites (S) from Tibagi River between the three Zones: I (blue), II (red) and III (green).

The Jaguariaiva River and the upper Tibagi River streams of Zone I are located in a region named “Campos Gerais”, with similar soil and topography. The physical characteristics of the “Campos Gerais” are distinct from the remaining portions of the Tibagi River basin (Torezan 2002).

The highest number of species in Zone III may represent influences of the Paranapanema River, acting as a corridor for species dispersion. Comparing the species composition of this study to that of Castro et al. (2003), we find that of 16 exclusive species collected in Zone III, 12 is common to that study, evidencing more similarity in composition of this part of Tibagi River with the Paranapanema River basin than to the Zones II and I. Therefore, the differences in composition are maybe related to historical and ecological features of the basin.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are indebted to Edson Santana (UEL), Aparecido de Souza (UEL), and coworkers of the Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Londrina for helping in the collection of fishes; to the Parque Estadual do Cerrado for hosting in Jaguariaíva and Floresta Nacional de Irati; to Fernando C. Jerep (UEL) and José Luís Birindelli (UEL), for help in identifying the species, and for both and Sirlei T. Bennemann (UEL) for suggestions that improved the paper; to Universidade Estadual de Londrina for providing the logistic support; and to Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for financial support to ACH and RHCN. OAS has a research productivity grant of Fundação Araucária.

LITERATURE CITED

- Bennemann, S.T., A.T. Silva-Souza and G.R.A. Rocha. 1995. Composición ictiofaunística en cinco localidades de la cuenca del río Tibagi, PR—Brasil. *Interciencia* 20(1): 7-13. <http://www.interciencia.org.ve>
- Casatti, L., F. Langeani and C.P. Ferreira. 2006. Effects of physical habitat degradation on the stream fish assemblage structure in a pasture region. *Environmental Management* 38(6): 974–982. doi: [10.1007/s00267-005-0212-4](https://doi.org/10.1007/s00267-005-0212-4)
- Castro, R.M.C. 1999. Evolução da ictiofauna de riachos sulamericanos: padrões gerais e possíveis processos; pp. 139–155, in: E. P. Caramaschi, R. Mazzoni, and P. R. Peres-Neto (ed.). *Ecologia de peixes de riachos. Série Oecologia Brasiliensis VI*. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ. 260 pp.
- Castro, R.M.C., L. Casatti, H.F. Santos, K.M. Ferreira, A.C. Ribeiro, R.C. Benine, G.Z.P. Dardis, A.L.A. Melo, R. Stopiglia, T.X. Abreu, F.A. Bockmann, M. Carvalho, F.Z. Gibran and F.C.T. Lima. 2003. Estrutura e composição da ictiofauna de riachos do rio Paranapanema, sudeste e sul do Brasil. *Biota Neotropica* 3(1): 1–31. <http://www.biotaneotropica.org.br/v3n1/pt/abstract?article+BN01703012003>
- Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43(4): 783–791. doi: [10.2307/2531532](https://doi.org/10.2307/2531532)
- Colwell, R.K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2.
- Costa, A.D.A., D.G. Ferreira, W.F. Silva, A.S. Zanatta, O.A. Shibatta and B.A. Galindo. 2013. Fishes (Osteichthyes: Actinopterygii) from the Penacho stream, upper Paraná River basin, Paraná State, Brazil. *Check List* 9(3): 519–523. <http://www.checklist.org.br/getpdf?SL134-12>
- Eschmeyer, W.N. 2014. Catalog of fishes. Accessed at <http://www.calacademy.org/scientists/projects/catalog-of-fishes>, 23 September 2014.
- França, V.D. 2002. O rio Tibagi no contexto hidrogeográfico paranaense; pp. 45–61, in: M.E. Medri, E. Bianchini, O.A. Shibatta and J.A. Pimenta (eds.). *A bacia do rio Tibagi*. Londrina: M.E. Medri. 595 pp.
- Galves, W., F.C. Jerep and O.A. Shibatta. 2007a. Estudo da condição ambiental pelo levantamento da fauna de três riachos na região do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 2(1): 55–65. [http://www.panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_2\(1\)_55-65.pdf](http://www.panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_2(1)_55-65.pdf)
- Galves, W., O.A. Shibatta and F.C. Jerep. 2007b. Fish, Taquara River basin, northern of the state of Paraná, Brazil. *Check List* 3(3): 353–359. doi: [10.15560/3.3.253](https://doi.org/10.15560/3.3.253)
- Hammer, O., D.A.T. Harper and P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Haseman, J. D. 1911. Some new species of fishes from the Rio Iguassú. *Annals of the Carnegie Museum* 7(3–4): 374–387.
- Langeani, F., R.M.C. Castro, O.T. Oyakawa, O.A. Shibatta, C.S. Pavanelli and L. Casatti. 2007. Diversidade da ictiofauna do Alto Rio Paraná: composição atual e perspectivas futuras. *Biota Neotropica* 7(3): 181–197. <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?article+bn03407032007>
- Lee, S.M. and A. Chao. 1994. Estimating population size via sample coverage for closed capture-recapture models. *Biometrics* 50(1): 88–97. doi: [10.2307/2533199](https://doi.org/10.2307/2533199)
- Lowe-McConnell, R.H. 1999. *Estudos ecológicos de comunidades*. São Paulo: EDUSP. 534 pp.
- Maack, R. 2012. *Geografia física do estado do Paraná*. Ponta Grossa: UEPG. 526 pp.
- Medri, M.E., E. Bianchini, O.A. Shibatta and J.A. Pimenta (eds.). 2002. *A bacia do rio Tibagi*. Edition of Editors. Londrina: M.E. Medri. 595 pp.
- Menezes, N.A., S.H. Weitzman, O. T. Oyakawa, F.C.T. Lima, R.M.C. Castro and M.J. Weitzman. 2007. Peixes de água doce da Mata Atlântica: Lista preliminar das espécies e comentários sobre a conservação de peixes de água doce neotropicais. São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo. 408 pp.
- Oliveira, D.C. and S.T. Bennemann. 2005. Ictiofauna, recursos alimentares e relações com as interferências antrópicas em um riacho urbano no sul do Brasil. *Biota Neotropica* 5(1): 95–107. doi: [10.1590/S1676-0603200500010001](https://doi.org/10.1590/S1676-0603200500010001)
- Pinto, B.C.T., M.G. Peixoto and F.G. Araújo. 2006. Effects of the proximity from an industrial plant on fish assemblages in the Rio Parafba do Sul, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* 4(2): 269–278. doi: [10.1590/S1679-62252006000200013](https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000200013)
- QGIS Development Team. 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Accessed at <http://qgis.osgeo.org>, 18 April 2014.
- Shibatta, O.A., S.T. Bennemann, H. Mori and D.F. Silva. 2008. Riqueza biológica e ecológica dos peixes do Ribeirão do Varanal; pp.77–97, in: Bennemann, S.T., O.A. Shibatta and A.O.S. Vieira. *A flora e a fauna do Ribeirão do Varanal. Um estudo da Biodiversidade do Paraná*. Londrina: EDUEL. 158 pp.
- Shibatta, O.A. and C.C. Cheida. 2003. Composição em tamanho dos peixes (Actinopterygii, Teleostei) de ribeirões da bacia do rio Tibagi, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 20(3): 469–473. doi: [10.1590/S0101-81752003000300016](https://doi.org/10.1590/S0101-81752003000300016)
- Shibatta, O.A., M.L. Orsi, S.T. Bennemann and A.T. Silva-Souza. 2002. Diversidade e distribuição de peixes na bacia do rio Tibagi; pp. 403–423, in: M.E. Medri, E. Bianchini, O.A. Shibatta, J.A. Pimenta (eds.). *A bacia do rio Tibagi*. Londrina: M.E. Medri. 595 pp.
- Torezan, J.M.D. 2002. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi; pp. 103–107, in: M. E. Medri, E. Bianchini, O.A. Shibatta, and J. A. Pimenta (eds.). *A bacia do Rio Tibagi*. Londrina: M. E. Medri. 595 pp.
- Vieira, D.B. and O.A. Shibatta. 2007. Peixes como indicadores da qualidade ambiental do ribeirão Esperança, município de

Londrina, Paraná, Brasil. Biota Neotropica7(1): 57–65. doi: 10.1590/S1676-06032007000100008

Author contributions: ACH and RHCN collected and identified species and wrote the text. OAS and ACH made the analysis. RHCN made the map and pictures.

Received: 5 March 2015

Accepted: 27 November 2015

Academic editor: Manoela Marinho

APPENDIX

List of voucher specimens examined in the present study with number of individuals followed by the minimum and maximum standard length per lot. All from the Tibagi River basin, Paraná state, Brazil.

Characiformes: Curimatidae: *Steindachnerina insculpta* (MZUEL 10427: 16: 54.30–78.06 mm). **parodontidae:** *Apareiodon ibitiensis* (MZUEL 10380: 3: 30.06–39.43 mm, MZUEL 10381: 7: 28.34–43.98 mm); *Apareiodon piracicabae* (MZUEL 10382: 2: 61.50–69.14 mm). **Erythrinidae:** *Hoplias malabaricus* (MZUEL 10409: 1: 91.23 mm, MZUEL 10154: 1: 62.11 mm, MZUEL 10182: 2: 64.74–101.99 mm). **Characidae:** *Astyanax altiparanae* (MZUEL 10383: 3: 43.09–87.22 mm, MZUEL 10384: 3: 42.39–73.91 mm, MZUEL 10140: 12: 23.22–72.48 mm); *Astyanax bockmanni* (MZUEL 10385: 12: 23.38–71.03 mm, MZUEL 10386: 7: 32.30–46.70 mm, MZUEL 10387: 2: 42.04–46.97 mm, MZUEL 10388: 26: 21.89–55.16 mm, MZUEL 10141: 1: 52.06 mm, MZUEL 10142: 6: 29.00–45.10 mm, MZUEL 10143: 2: 44.69–53.47 mm, MZUEL 10144: 3: 18.75–34.90 mm, MZUEL 10145: 2: 29.24–32.18 mm, MZUEL 10321: 16: 29.06–66.51 mm); *Astyanax fasciatus* (MZUEL 10389: 5: 41.97–51.42 mm, MZUEL 13487: 5: 33.45–45.78 mm, MZUEL 10173: 4: 28.70–50.10 mm); *Astyanax paranae* (MZUEL 10357: 6: 29.45–46.33 mm, MZUEL 10358: 16: 40.48–64.52 mm, MZUEL 10390: 1: 63.33 mm, MZUEL 10127: 1: 44.30 mm, MZUEL 10128: 4: 21.40–27.75 mm, MZUEL 10129: 7: 33.74–94.06 mm, MZUEL 10174: 3: 26.74–68.13 mm, MZUEL 10175: 8: 23.38–46.37 mm, MZUEL 10319: 1: 23.48 mm, MZUEL 10320: 14: 22.66–79.07 mm, MZUEL 10342: 1: 36.12 mm, MZUEL 13486: 4: 24.57–72.83 mm); *Astyanax* sp. (MZUEL 10343: 1: 61.74 mm, MZUEL 10344: 4: 25.40–50.40 mm); *Bryconamericus iheringii* (MZUEL 10391: 21: 18.11–53.49 mm, MZUEL 10392: 12: 26.49–47.06 mm, MZUEL 10322: 9: 52.76–56.89 mm, MZUEL 10323: 4: 41.33–44.45 mm, MZUEL 10324: 1: 42.20 mm, MZUEL 10345: 14: 25.76–62.47 mm, MZUEL 10146: 11: 34.57–45.68 mm, MZUEL 10322: 3: 43.52–47.81 mm); *Bryconamericus stramineus* (MZUEL 10146: 1: 33.60 mm, MZUEL 10359: 5: 22.15–35.50 mm, MZUEL 10393: 6: 23.95–72.12 mm, MZUEL 10394: 2: 19.18–19.31 mm, MZUEL 10395: 11: 17.82–23.65 mm, 10147: 12: 17.82–24.35 mm); *Hyphesobrycon boulengeri* (MZUEL 10183: 1: 40.35 mm); *Mimagoniates microlepis* (MZUEL 10302: 1: 55.04 mm); *Oligosarcus paranensis* (MZUEL 10419: 3: 43.60–45.94 mm; MZUEL 10349: 25: 37.47–81.36 mm); *Piabina argentea* (MZUEL 10421: 13: 24.70–47.60 mm, MZUEL 10422: 48: 26.17–54.01 mm). **Crenuchidae:** *Characidium gomesi* (MZUEL 10177: 4: 41.09–46.97 mm, MZUEL 10178: 29: 43.42–61.93 mm, MZUEL 10179: 3: 44.96–53.40 mm); *Characidium schubarti* (MZUEL 13501: 13: 35.55–47.55 mm, MZUEL 13502: 17: 37.28–48.95 mm); *Characidium zebra* (MZUEL 13497: 8: 50.70–63.50 mm, MZUEL 13496: 4: 45.05–51.00 mm, MZUEL 13498 2: 32.50–62.20 mm, MZUEL 10360: 7: 38.44–53.70 mm, MZUEL 10325: 1: 48.20 mm, MZUEL 10326: 2: 52.33–53.84 mm). **Siluriformes: Heptapteridae:** *Cetopsorhamdia iheringii* (MZUEL 10396: 3: 49.52–67.86 mm, MZUEL 10397: 11: 61.33–100.61 mm, MZUEL 10149: 4: 41.08–69.77 mm); *Imparfinis mirini*

(MZUEL 10367: 2: 42.10–65.00 mm, MZUEL 10418: 2: 51.87–66.46 mm, MZUEL 10160: 20: 25.94–41.57 mm, MZUEL 10161: 3: 34.54–57.21 mm, MZUEL 10162: 8: 38.21–42.82 mm, MZUEL 10301: 5: 60.17–67.06 mm); *Phenacorhamdia tenebrosa* (MZUEL 10166: 3: 29.16–45.84 mm, MZUEL 10167: 2: 33.45–62.84 mm, MZUEL 10405: 2: 48.58–52.12 mm); *Pimelodella gracilis* (MZUEL 10309: 7: 46.43–60.53 mm); *Rhamdia quelen* (MZUEL 10425: 2: 44.47–44.98 mm, MZUEL 10426: 3: 65.75–99.86 mm, MZUEL 10137: 3: 41.29–64.94 mm, MZUEL 10171: 1: 111.95 mm, MZUEL 10310: 1: 62.80 mm, MZUEL 10336: 1: 73.30 mm, MZUEL 10337: 2: 116.69–124.59 mm, MZUEL 10338: 1: 83.23 mm, MZUEL 10339: 1: 68.16 mm); *Rhamdiopsis moreirai* (MZUEL 10311: 3: 31.59–41.92 mm). **Trichomycteridae:** *Trichomycterus candidus* (MZUEL 13490: 8: 12.10–19.00 mm, MZUEL 13491: 2: 15.78–38.90 mm, MZUEL 13492: 2: 40.10–43.56 mm, MZUEL 13493: 3: 36.70–41.40 mm); *Trichomycterus castroi* (MZUEL 13489: 6: 33.05–103.50 mm); *Trichomycterus davisii* (MZUEL 10376: 1: 43.51 mm, MZUEL 10378: 6: 34.70–54.30 mm, MZUEL 10138: 44: 24.22–91.71 mm, MZUEL 10139: 12: 19.33–21.99 mm, MZUEL 10172: 2: 23.26–29.12 mm, MZUEL 10312: 34: 18.78–44.53 mm, MZUEL 10313: 21: 30.42–87.16 mm, MZUEL 10314: 73: 17.82–89.90 mm, MZUEL 10315: 25: 18.54–42.82 mm, MZUEL 10316: 50: 24.29–70.30 mm, MZUEL 10340: 8: 35.22–64.68 mm, MZUEL 10341: 2: 52.48–57.61 mm, MZUEL 10355: 4: 30.90–83.77 mm, MZUEL 10356: 11: 23.10–45.00 mm); *Trichomycterus diabolus* (MZUEL 10379: 5: 30.00–47.50 mm, MZUEL 10317: 2: 26.85–32.87 mm, MZUEL 10318: 4: 22.38–50.04 mm, MZUEL 13476: 9: 35.00 mm - 60.50 mm, MZUEL 13475: 10: 27.85–81.15 mm). **Callichthyidae:** *Callichthys callichthys* (MZUEL 10176: 1: 72.61 mm); *Corydoras aeneus* (MZUEL 10402: 10: 30.00–42.16 mm, MZUEL 10403: 11: 33.88–44.20 mm); *Corydoras ehrardti* (MZUEL 10361: 2: 37.71–37.75 mm, MZUEL 10362: 13: 15.37–47.28 mm, MZUEL 10363: 39: 25.99–42.00 mm, MZUEL 10364: 14: 30.94–37.43 mm, MZUEL 10180: 42: 12.97–46.03 mm). **Loricariidae:** *Hisonotus francirochai* (MZUEL 13480: 10: 18.00–32.00 mm, MZUEL 13477: 1: 31.20 mm, MZUEL 13478: 8: 32.30–41.78 mm, MZUEL 13479: 1: 29.00 mm, MZUEL 10407: 4: 30.47–37.00 mm, MZUEL 10408: 10: 32.03–34.07 mm, MZUEL 10152: 9: 36.17–38.15 mm, MZUEL 10153: 3: 30.01–39.79 mm); *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 10410: 4: 34.32–38.49 mm, MZUEL 10411: 20: 24.93–78.69 mm, MZUEL 10412: 10: 24.94–44.68 mm, MZUEL 10413: 17: 19.06–54.18 mm, MZUEL 10414: 16: 37.60–75.60 mm, MZUEL 10155: 11: 21.60–63.19 mm, MZUEL 10156: 14: 19.57–92.92 mm, MZUEL 10157: 5: 24.90–72.30 mm, MZUEL 10158: 51: 16.04–95.83 mm, MZUEL 10328: 9: 28.47–73.84 mm, MZUEL 10329: 8: 48.46–52.79 mm, MZUEL 10330: 2: 37.80–42.00 mm, 10331: 1: 37.18 mm, MZUEL 10347: 2: 59.48–70.40 mm); *Hypostomus nigromaculatus* (MZUEL 10415: 3: 43.81–69.11 mm, MZUEL 10416: 3: 62.96–72.21 mm); *Hypostomus strigaticeps* (MZUEL 10417: 18: 49.79–101.12 mm, MZUEL 10159: 1: 21.67 mm); *Neoplecostomus paranensis* (MZUEL 10163: 1: 46.20 mm); *Neoplecostomus selenae* (MZUEL 13488: 3: 62.70–83.70 mm); *Neoplecostomus yapo* (MZUEL 10332: 3: 38.25–44.01 mm, MZUEL 10333: 5: 57.13–77.84 mm, MZUEL 10348: 3: 53.15–80.50 mm); *Otothyropis biannicus* (MZUEL 10369: 2: 26.99–29.01 mm). **Gymnotiformes: Gymnotidae:** *Gymnotus omarorum* (MZUEL 10406: 1: 220.52 mm, MZUEL 10151: 1: 189.96 mm, MZUEL 10327: 1: 76.68 mm). **Cyprinodontiformes: poeciliidae:** *Phalloceros harpagos* (MZUEL 10371: 224: 9.90–38.73 mm, MZUEL 10372: 3: 17.82–31.36 mm, MZUEL 10373: 245: 8.14–38.30 mm, MZUEL 10420: 1: 27.28 mm, MZUEL 10131: 52: 9.20–25.00 mm, MZUEL

10132: 75: 11.26–26.04 mm, MZUEL 10133: 73: 12.38–42.57 mm, MZUEL 10134: 27: 17.88–42.31 mm, MZUEL 10135: 88: 11.03–44.08 mm, MZUEL 10136: 157: 16.37–43.70 mm, MZUEL 10164: 2: 19.98–19.16 mm, MZUEL 10165: 4: 18.42–27.97 mm, MZUEL 13481: 1: 27.08 mm, MZUEL 13482: 39: 12.02–25.64 mm, MZUEL 13483: 81: 10.30–27.80 mm, 13484: 28: 15.39–31.75 mm, MZUEL 13485: 17: 12.81–26.98 mm, MZUEL 10334: 2: 26.89–28.11 mm, MZUEL 10351: 1: 15.26–38.63 mm, MZUEL 10352: 42: 17.29–29.14 mm, MZUEL 10353: 6: 15.20–29.60 mm, MZUEL 10354: 2: 19.04–24.13 mm); *Poecilia reticulata* (MZUEL 10423: 7: 18.23–19.29 mm, MZUEL 10424: 4: 18.12–27.96 mm, MZUEL 10168: 8: 16.11–19.68 mm, MZUEL 10169: 3: 21.84–25.82 mm, MZUEL 10170: 1: 16.65 mm, MZUEL 10335: 74: 16.44–30.95 mm); *Cnesterodon hypselurus* (MZUEL 13494: 7: 13.05–26.00 mm).

Synbranchiformes: Synbranchidae: *Synbranchus marmoratus* (MZUEL 10428: 2: 40.51–55.09 mm). **perciformes: Cichlidae:** *Crenicichla jaguarensis* (MZUEL 10404: 1: 37.13 mm); *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 10366: 3: 37.89–68.45 mm, MZUEL 10365: 3: 46.24–101.12 mm, MZUEL 10130: 15: 25.79–77.49 mm, MZUEL 10150: 9: 23.95–61.43 mm, MZUEL 10181: 1: 38.86 mm, MZUEL 10346: 6: 47.40 mm–108.22 mm); *Oreochromis niloticus* (MZUEL 10350: 2: 76.48–77.94 mm).

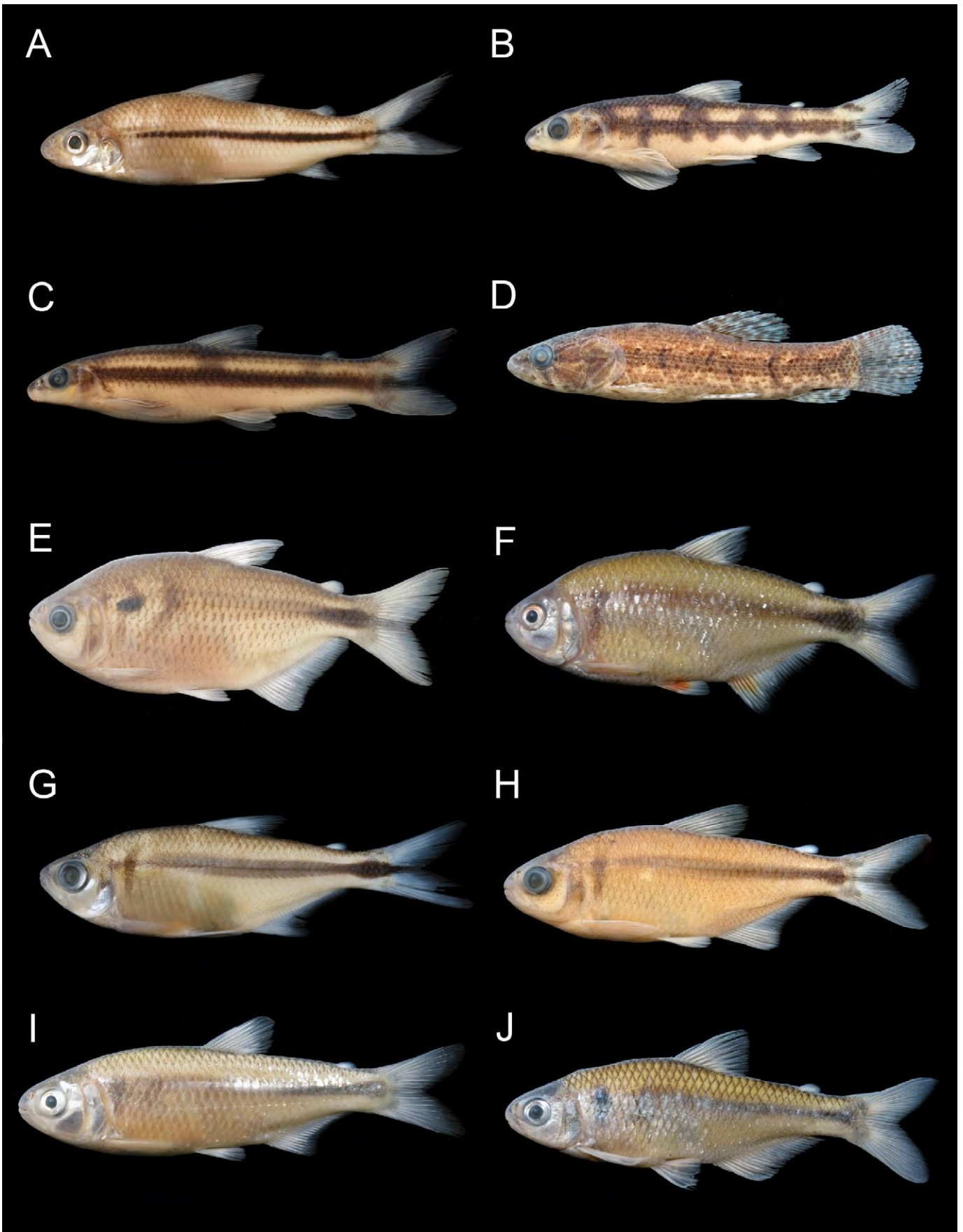


Figure A1. Species of fishes from streams of Tibagi River basin, Paraná state, Brazil. (A) *Steindachnerina insculpta* 68.5 mm SL; (B) *Apareiodon ibitiensis* 39.8 mm SL; (C) *Apareiodon piracicabae* 61.6 mm SL; (D) *Hoplias malabaricus* 66.3 mm SL; (E) *Astyanax altiparanae* 86.4 mm SL; (F) *Astyanax bockmanni* 68.8 mm SL; (G) *Astyanax fasciatus* 52.3 mm SL; (H) *Astyanax paranae* 42.8 mm SL; (I) *Astyanax* sp. 51.2 mm SL; (J) *Bryconamericus iheringii* 53.6 mm SL.

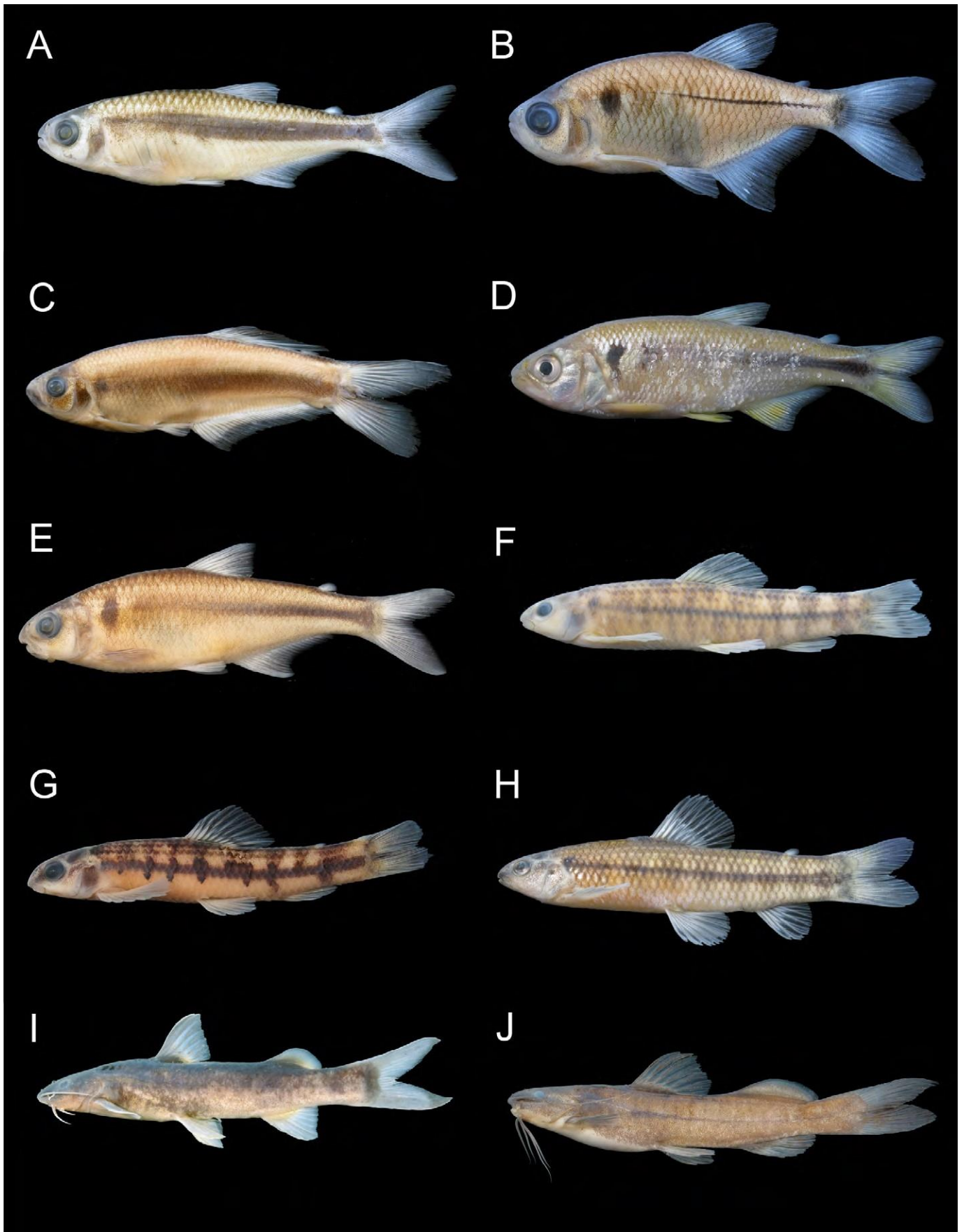


Figure A2. Species of fishes from streams of Tibagi River Basin, Paraná state, Brazil. (A) *Bryconamericus stramineus* 65.7 mm SL; (B) *Hyphesobrycon boulengeri* 41.9 mm SL; (C) *Mimagoniates microlepis* 55.9 mm SL; (D) *Oligossarcus paranensis* 77.9 mm SL; (E) *Piabina argentea* 62.1 mm SL; (F) *Characidium gomesi*

51.9 mm SL; (G) *Characidium schubarti* 39.5 mm SL; (H) *Characidium zebra* 52.3 mm SL; (I) *Cetopsorhamdia iheringi* 70.3 mm SL; (J) *Imparfinis mirini* 67.2 mm SL.

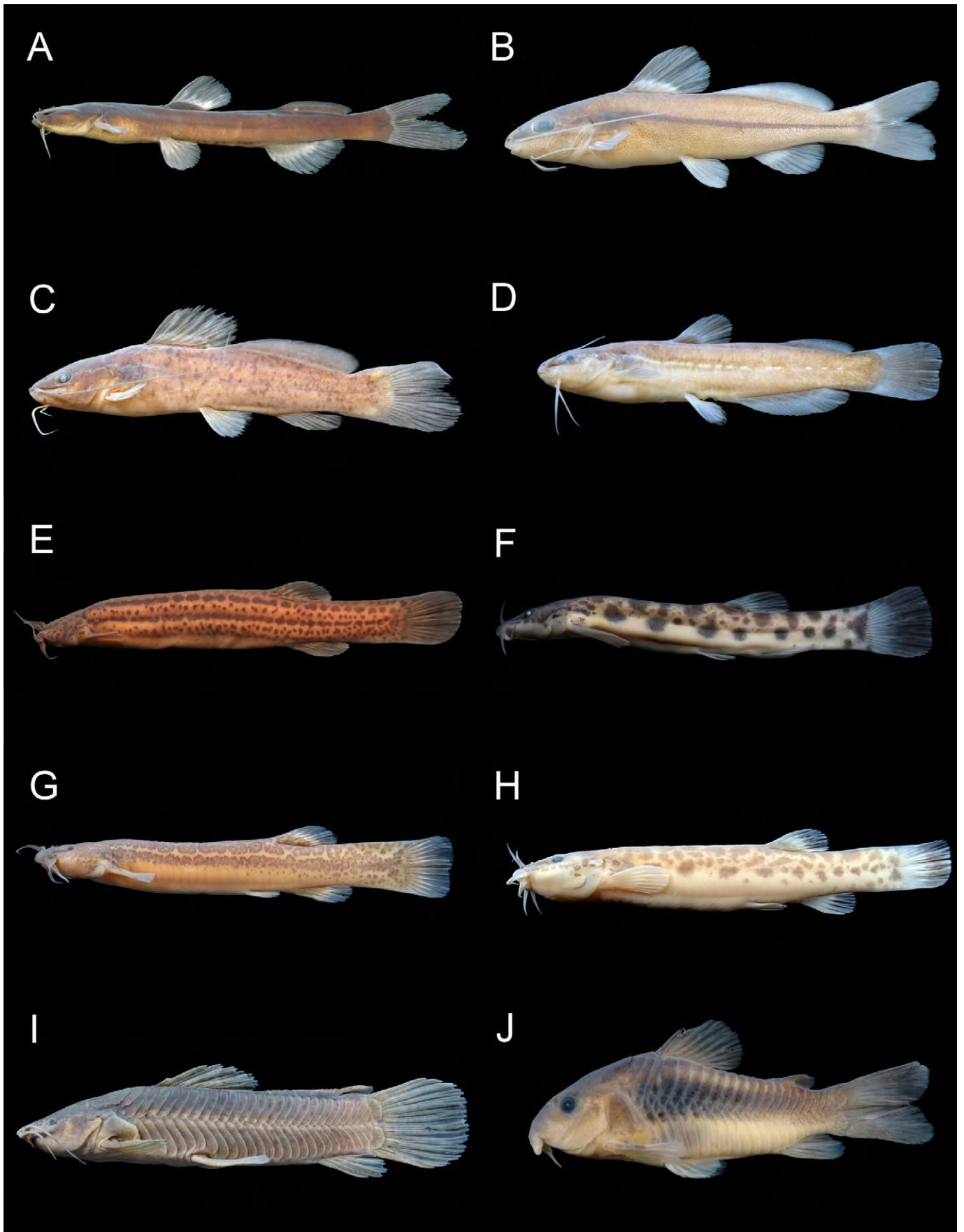
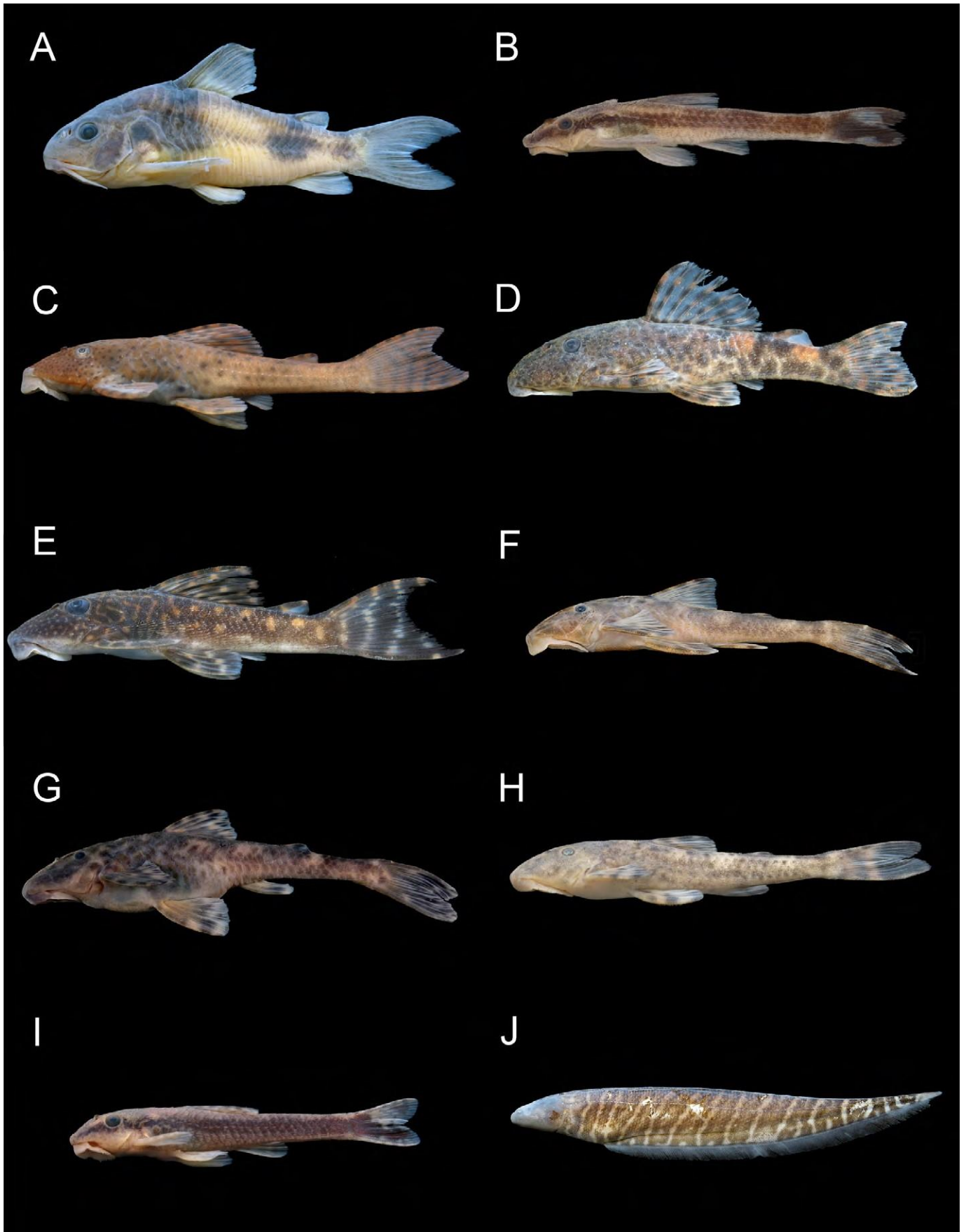


Figure A3. Species of fishes from streams of Tibagi River Basin, Paraná state, Brazil. (A) *Phenacorhamdia tenebrosa* 51.9 mm SL; (B) *Pimelodella gracilis*

49.5 mm SL; (C) *Rhamdia quelen* 66.0 mm SL; (D) *Rhamdiopsis moreirai* 38.9 mm SL; (E) *Trichomycterus candidus* 38.1 mm SL; (F) *Trichomycterus castroi* 43.7 mm SL; (G) *Trichomycterus davisii* 64.6 mm SL; (H) *Trichomycterus diabolus* 50.7 mm SL; (I) *Callichthys callichthys* 69.9 mm SL; (J) *Corydoras aeneus* 42.3 mm SL.



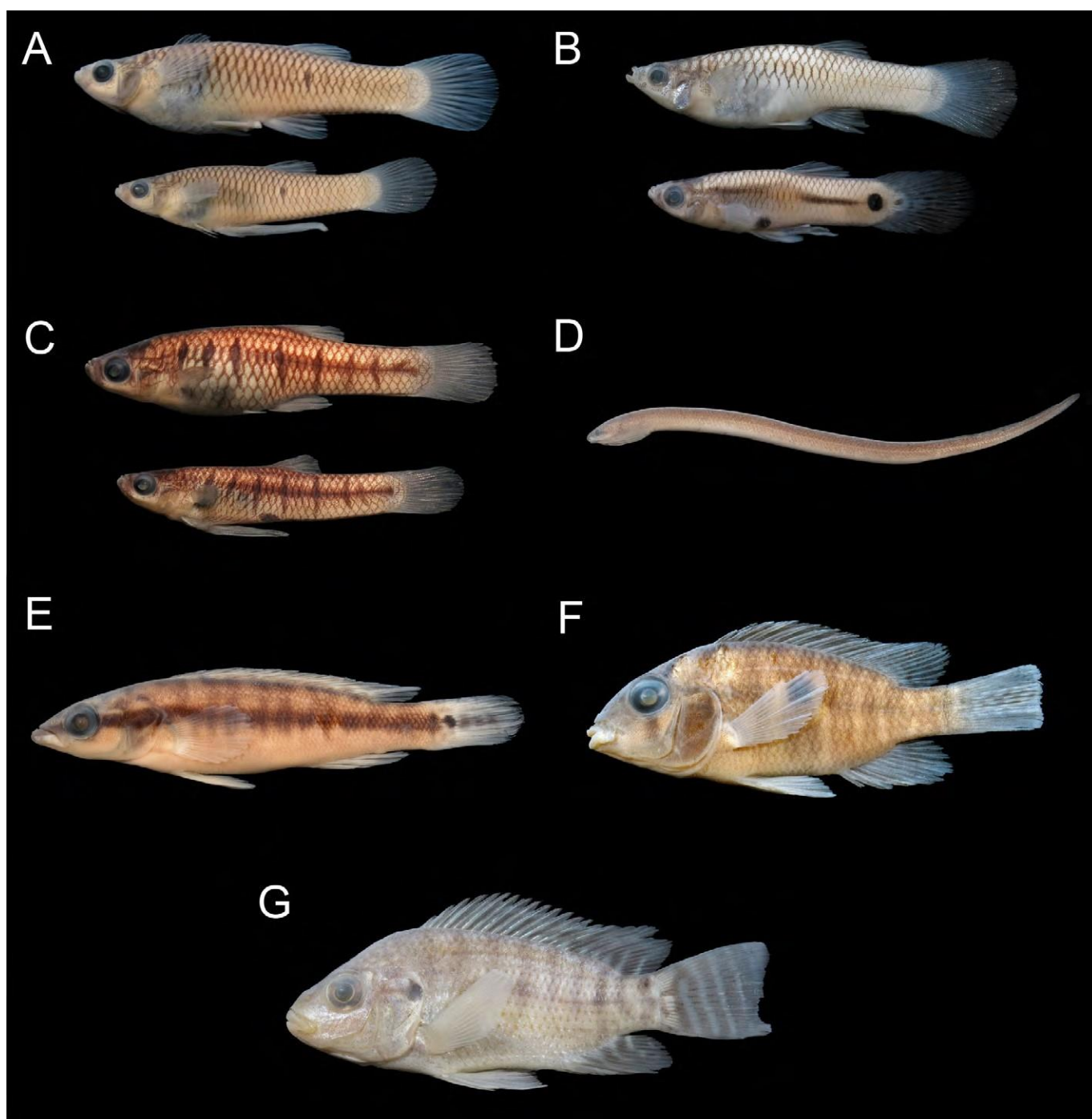


Figure A4. Specimens of fishes from streams of Tibagi River Basin, Paraná state, Brazil. (A) *Corydoras ehrhardti* 45.0 mm SL; (B) *Hisonotus francirochai* 34.3 mm SL; (C) *Hypostomus ancistroides* 57.0 mm SL; (D) *Hypostomus nigromaculatus* 43.1 mm SL; (E) *Hypostomus strigaticeps* 57.7 mm SL; (F) *Neoplecostomus paranensis* 46.5 mm SL; (G) *Neoplecostomus selenae* 63.4 mm SL; (H) *Neoplecostomus yapo* 39.5 mm SL; (I) *Otothyropsis biamnicus* 31.7 mm SL; (J) *Gymnotus omarorum* 72.3 mm TL.

Figure A5. Specimens of fishes from the streams of Tibagi River Basin, Paraná state, Brazil. (A) *Phalloceros harpagos* 35.3 mm SL female (up), 25.4 mm SL male (down); (B) *Poecilia reticulata* 28.5 mm SL female (up), 18.5 mm SL male (down); (C) *Cnesterodon hypselurus* 28.4 mm SL female (up), 25.7 mm SL male (down); (D) *Synbranchus marmoratus* 58.1 mm TL; (E) *Crenicichla jaguarensis* 36.4 mm SL; (F) *Geophagus brasiliensis* 40.1 mm SL; (G) *Oreochromis niloticus* 77.3 mm SL.

Considerações Finais

As cabeceiras das oito bacias hidrográficas da Mata Atlântica no estado do Paraná apresentam uma riqueza de 102 espécies de peixes de pequeno porte. Algumas destas cabeceiras são consideradas áreas de endemismo devido à singularidade de sua composição ictiofaunística, porém parece não existir restrição na distribuição das espécies às cabeceiras das bacias pertencentes a grande bacia do rio Paranapanema. Já as três grandes bacias amostradas, do rio Paranapanema, do rio Iguazu e do rio Ribeira de Iguape estão isoladas pela Escarpa Devoniana, no entanto os resultados demonstram que existe compartilhamento de espécies através de eventos mais recentes de captura de cabeceiras.

Apêndice 1. Lista de *vouchers* dos espécimes examinados no presente estudo com número de indivíduos por bacia.

TIBAGI: CHARACIFORMES: Curimatidae: *Steindachnerina insculpta* (MZUEL 10427: 16). **Parodontidae:** *Apareiodon ibitiensis* (MZUEL 10380: 3, MZUEL 10381: 7); *Apareiodon piracicabae* (MZUEL 10382: 2). **Erythrinidae:** *Hoplias malabaricus* (MZUEL 10409: 1, MZUEL 10154: 1, MZUEL 10182: 2). **Characidae:** *Astyanax altiparanae* (MZUEL 10383: 3, MZUEL 10384: 3, MZUEL 10140: 12); *Astyanax* sp.2 (MZUEL 10343: 1, MZUEL 10344: 4, MZUEL 10385: 12, MZUEL 10386: 7, MZUEL 10387: 2, MZUEL 10388: 26, MZUEL 10141: 1, MZUEL 10142: 6, MZUEL 10143: 2, MZUEL 10144: 3, MZUEL 10145: 2, MZUEL 10321: 16, MZUEL 10357: 6, MZUEL 10358: 16, MZUEL 10390: 1, MZUEL 10127: 1, MZUEL 10128: 4, MZUEL 10129: 7, MZUEL 10174: 3, MZUEL 10175: 8, MZUEL 10319: 1, MZUEL 10320: 14, MZUEL 10342: 1, MZUEL 13486: 4); *Astyanax fasciatus* (MZUEL 10389: 5, MZUEL 13487: 5, MZUEL 10173: 4); *Bryconamericus iheringii* (MZUEL 10391: 21, MZUEL 10392: 12, MZUEL 10322: 9, MZUEL 10323: 4, MZUEL 10324: 1, MZUEL 10345: 14, MZUEL 10146: 11, MZUEL 10322: 3); *Bryconamericus stramineus* (MZUEL 10146: 1, MZUEL 10359: 5, MZUEL 10393: 6, MZUEL 10394: 2, MZUEL 10395: 11, 10147: 12); *Hyphesobrycon boulengeri* (MZUEL 10183: 1); *Mimagoniates microlepis* (MZUEL 10302: 1); *Oligosarcus paranensis* (MZUEL 10419: 3; MZUEL 10349: 25); *Piabina argentea* (MZUEL 10421: 13, MZUEL 10422: 48). **Crenuchidae:** *Characidium gomesi* (MZUEL 10177: 4, MZUEL 10178: 29, MZUEL 10179: 3); *Characidium schubarti* (MZUEL 13501: 13, MZUEL 13502: 17); *Characidium zebra* (MZUEL 13497: 8, MZUEL 13496: 4, MZUEL 13498: 2, MZUEL 10360: 7, MZUEL 10325: 1, MZUEL 10326: 2). **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Cetopsorhamdia iheringi* (MZUEL 10396: 3, MZUEL 10397: 11, MZUEL 10149: 4); *Imparfinis mirini* (MZUEL 10367: 2, MZUEL 10418: 2, MZUEL 10160: 20, MZUEL 10161: 3, MZUEL 10162: 8, MZUEL 10301: 5); *Phenacorhamdia tenebrosa* (MZUEL 10166: 3, MZUEL 10167: 2, MZUEL 10405: 2); *Pimelodella gracilis* (MZUEL 10309: 7); *Rhamdia quelen* (MZUEL 10425: 2, MZUEL 10426: 3, MZUEL 10137: 3, MZUEL 10171: 1, MZUEL 10310: 1, MZUEL 10336: 1, MZUEL 10337: 2, MZUEL 10338: 1, MZUEL 10339: 1); *Rhamdiopsis moreirai* (MZUEL 10311: 3).

Trichomycteridae: *Trichomycterus candidus* (MZUEL 13490: 8, MZUEL 13491: 2, MZUEL 13492: 2, MZUEL 13493: 3); *Trichomycterus castroi* (MZUEL 13489: 6); *Trichomycterus davisi* (MZUEL 10376: 1, MZUEL 10378: 6, MZUEL 10138: 44, MZUEL 10139: 12, MZUEL 10172: 2, MZUEL 10312: 34, MZUEL 10313: 21, MZUEL 10314: 73, MZUEL 10315: 25, MZUEL 10316: 50, MZUEL 10340: 8, MZUEL 10341: 2, MZUEL 10355: 4, MZUEL 10356: 11); *Trichomycterus diabolus* (MZUEL 10379: 5, MZUEL 10317: 2, MZUEL 10318: 4 MZUEL 13476: 9, MZUEL 13475: 10). **Callichthyidae:** *Callichthys callichthys* (MZUEL 10176: 1); *Corydoras aeneus* (MZUEL 10402: 10, MZUEL 10403: 11); *Corydoras ehrardti* (MZUEL 10361: 2, MZUEL 10362: 13, MZUEL 10363: 39, MZUEL 10364: 14, MZUEL 10180: 42).

Loricariidae: *Hisonotus francirochai* (MZUEL 13480: 10, MZUEL 13477: 1, MZUEL 13478: 8, MZUEL 13479: 1, MZUEL 10407: 4, MZUEL 10408: 10, MZUEL 10152: 9, MZUEL 10153: 3); *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 10410: 4, MZUEL 10411: 20, MZUEL 10412: 10, MZUEL 10413: 17, MZUEL 10414: 16, MZUEL 10155: 11, MZUEL 10156: 14, MZUEL 10157: 5, MZUEL 10158: 51, MZUEL 10328: 9, MZUEL 10329: 8, MZUEL 10330: 2, MZUEL 10331: 1, MZUEL 10347: 2); *Hypostomus nigromaculatus* (MZUEL 10415: 3, MZUEL 10416: 3); *Hypostomus strigaticeps* (MZUEL 10417: 18, MZUEL 10159: 1); *Neoplecostomus*

paranensis (MZUEL 10163: 1); *Neoplecostomus selenae* (MZUEL 13488: 3); *Neoplecostomus yapo* (MZUEL 10332: 3, MZUEL 10333: 5, MZUEL 10348: 3); *Otothyropsis biamnicus* (MZUEL 10369: 2). **GYMNOTIFORMES: Gymnotidae:** *Gymnotus omarorum* (MZUEL 10406: 1, MZUEL 10151: 1, MZUEL 10327: 1). **CYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae:** *Phalloceros harpagos* (MZUEL 10371: 224, MZUEL 10372: 3, MZUEL 10373: 245, MZUEL 10420: 1, MZUEL 10131: 52, MZUEL 10132: 75, MZUEL 10133: 73, MZUEL 10134: 27, MZUEL 10135: 88, MZUEL 10136: 157, MZUEL 10164: 2, MZUEL 10165: 4, MZUEL 13481: 1, MZUEL 13482: 39, MZUEL 13483: 81, 13484: 28, MZUEL 13485: 17, MZUEL 10334: 2, MZUEL 10351: 1, MZUEL 10352: 42, MZUEL 10353: 6, MZUEL 10354: 2); *Poecilia reticulata* (MZUEL 10423: 7, MZUEL 10424: 4, MZUEL 10168: 8, MZUEL 10169: 3, MZUEL 10170: 1, MZUEL 10335: 74); *Cnesterodon hypselurus* (MZUEL 13494: 7). **SYNBRANCHIFORMES: Synbranchidae:** *Synbranchus marmoratus* (MZUEL 10428: 2). **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Crenicichla jaguarensis* (MZUEL 10404: 1); *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 10366: 3, MZUEL 10365: 3, MZUEL 10130: 15, MZUEL 10150: 9, MZUEL 10181: 1, MZUEL 10346: 6); *Oreochromis niloticus* (MZUEL 10350: 2).

PARANAPANEMA: CHARACIFORMES: Parodontidae: *Apareiodon affinis* (MZUEL 15100: 21); **Anostomiade:** *Leporellus vittatus* (MZUEL 15107: 1); *Leporinus friderici* (MZUEL 15102: 4); **Erithrinidae:** *Hoplias malabaricus* (MZUEL 15104: 1); **Characidae:** *Astyanax altiparanae* (MZUEL 15103: 6, MZUEL 15116: 3); *Astyanax fasciatus* (MZUEL 15109: 5); *Astyanax sp2* (MZUEL 15076: 31, MZUEL 15083: 1, 15088: 13, MZUEL 15122: 2) *Bryconamericus stramineus* (MZUEL 15108: 2); *Serrapinus notomelas* (MZUEL 15118: 4); **Crenuchidae:** *Characidium zebra* (MZUEL 15106: 6, MZUEL 15119: 6); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Imparfinis schubarti* (MZUEL 15079: 4, MZUEL 15085: 1, MZUEL 15089: 5, MZUEL 15090: 5, MZUEL 15099: 33, MZUEL 15121: 19) *Rhamdia quelen* (MZUEL 15078: 1, MZUEL 15082: 5, MZUEL 15098: 3); **Callichthyidae:** *Corydoras aeneus* (MZUEL 15092: 5, MZUEL 15096: 2, MZUEL 15123: 5); **Loricariidae:** *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 15077: 4, MZUEL 15081: 2, MZUEL 15094: 2, MZUEL 15097: 1, MZUEL 15105: 6, MZUEL 15115: 18); **Gymnotidae:** *Gymnotus omarorum* (MZUEL 15095: 7, MZUEL 15117: 1); **CYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae:** *Phalloceros harpagos* (MZUEL 15093: 5) *Poecilia reticulata* (MZUEL 15091: 1, MZUEL 15084: 19, MZUEL 15086: 3, MZUEL 15120: 1); **Cichlidae:** *Cichla kelberi* (MZUEL 15101: 2); *Crenicichla britski* (MZUEL 15087: 1).

CINZAS: CHARACIFORMES: Characidae: *Astyanax altiparanae* (MZUEL 14911: 2, MZUEL 14928: 2); *Astyanax sp2* (MZUEL 14896: 6, MZUEL 14901: 76, MZUEL 14907: 7, MZUEL 14918: 2, MZUEL 14922: 5, MZUEL 14925: 6, MZUEL 14929: 3, MZUEL 14933: 6, MZUEL 14902: 43); *Bryconamericus iheringi* (MZUEL 14893: 6, MZUEL 14908: 8); *Oligossarcus paranensis* (MZUEL 14889: 1); **Crenuchidae:** *Characidium zebra* (MZUEL 14894: 7, MZUEL 14897: 1, MZUEL 14909: 2); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Imparfinis schubarti* (MZUEL 14895: 6, MZUEL 14903: 9, MZUEL 14914: 2); *Rhamdia quelen* (MZUEL 14910: 1, MZUEL 14924: 1); **Trichomycteridae:** *Trichomycterus davisii* (MZUEL 14912: 4, MZUEL 14930: 4); *Trichomycterus diabolus* (MZUEL 14906: 8, MZUEL 14920: 9); **Callichthyidae:** *Corydoras aeneus* (MZUEL 14890: 1); **Loricariidae:** *Hisonotus francisrochai* (MZUEL 14905: 10), *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 14892: 1, MZUEL 14899: 2, MZUEL 14904: 20, MZUEL 14917: 46, MZUEL 14919: 3,

MZUEL 14923: 6, MZUEL 14927: 3, MZUEL 14931: 32); *Hypostomus nigromaculatus* (MZUEL 14916: 3); *Neoplecostomus selenae* (MZUEL 14915: 3, MZUEL 14932: 1); **GYMNOTIFORMES: Gymnotidae:** *Gymnotus omarorum* (MZUEL 14900: 1); **CYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae:** *Phalloceros harpagos* (MZUEL 14913: 3, MZUEL 14921: 92); *Xiphophorus sp2* (MZUEL 14891: 2); **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Cichlasoma paranaense* (MZUEL 14898: 2); *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 14926: 9).

ITARARÉ: CHARACIFORMES: Characidae: *Astyanax paranae* (MZUEL 15247: 6); *Astyanax sp2* (MZUEL 15253: 5, MZUEL 15261: 2, MZUEL 15271: 4, MZUEL 15279: 12, MZUEL 15281: 4, MZUEL 15286: 4); **Crenuchidae:** *Characidium schubarti* (MZUEL 15246: 23, MZUEL 15251: 23, MZUEL 15256: 4, MZUEL 15259: 13, MZUEL 15262: 14, MZUEL 15266: 10, MZUEL 15272: 24, MZUEL 15278: 54, MZUEL 15280: 13, MZUEL 15285: 24); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Rhamdia quelen* (MZUEL 15250: 2); *Rhamdiopsis microcephala* (MZUEL 15265: 4); **Trichomycteridae:** *Trichomycterus candidus* (MZUEL 15249: 1, MZUEL 15267: 1, MZUEL 15275: 3, MZUEL: 15277: 4, MZUEL 15288: 3); *Trichomycterus davisi* (MZUEL 15248: 5, MZUEL 15254: 4, MZUEL 15268: 12, MZUEL 15269: 7, MZUEL 15283: 7, MZUEL 15287: 4); **Callichthyidae:** *Corydoras ehrardti* (MZUEL 15260: 2); **Loricariidae:** *Neoplecostomus selenae* (MZUEL 15252: 4, MZUEL 15273: 2); *Neoplecostomus yapo* (MZUEL 15245: 3, 15274: 1); **CYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae:** *Cnesterodon hypselurus* (MZUEL 15255: 2, MZUEL 15258: 7, MZUEL 15264: 108); *Phalloceros harpagos* (MZUEL: 15257: 43, MZUEL 15263: 4, MZUEL 15270: 37, MZUEL 15282: 8, MZUEL 15284: 11); **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 15276: 1).

RIBEIRA DE IGUAPE: CHARACIFORMES: Characidae: *Astyanax sp.* (MZUEL 14727:5, , MZUEL 14740: 5, MZUEL 14745: 5, MZUEL 14771: 1); *Astyanax janeiroensis* (MZUEL 14751: 2, MZUEL 14772: 1, MZUEL 14783: 1); *Bryconamericus iheringi* (MZUEL 14726: 2, MZUEL 14728: 1); *Bryconamericus microcephalus* (MZUEL 14743: 5, MZUEL 14761: 5); *Deuterodon iguape* (MZUEL 14731: 2, MZUEL 14767: 1); **Crenuchidae:** *Characidium pterostictum* (MZUEL 14729: 1, MZUEL 14781: 1); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Rhamdia quelen* (MZUEL 14736: 2, MZUEL 14752: 1); *Rhamdioglanis transfasciatus* (MZUEL 14724: 3, MZUEL 14732: 5); **Trichomycteridae:** *Trichomycterus davisi* (MZUEL 14753: 24, MZUEL 14773: 6 MZUEL 14782: 12); *Trichomycterus iheringi* (MZUEL 14747: 9); *Trichomycterus paolence* (MZUEL 14735: 2) *Trichomycterus zonatus* (MZUEL 14720: 8, MZUEL 14730: 6, MZUEL 14738: 16); **Callichthyidae:** *Corydoras ehrardti* (MZUEL 14744: 5, MZUEL 14758: 1), *Corydoras sp.* (MZUEL 14769: 1); **Loricariidae:** *Harttia kronei* (MZUEL 14774: 2); *Ancistrus multispinis* (MZUEL 14746: 1); *Hypostomus ansictroides* (MZUEL 14734: 7); *Hypostomus interruptus* (MZUEL 14723: 13); *Hypostomus sp* (MZUEL 14742: 5); *Isbrueckerichthys duseni* (MZUEL 14755: 1, MZUEL 14762: 11, MZUEL 14764: 4, MZUEL 14770: 1, MZUEL 14722: 7, MZUEL 14748: 31, MZUEL 14776: 2); *Ituglanis proops* (MZUEL 14725: 4, MZUEL 14741: 4); *Kronichthys lacerta* (MZUEL 14759: 11); *Kronichthys subterres* (MZUEL 14779: 3); *Neoplecostomus ribeirensis* (MZUEL 14780: 1); *Pareiorhaphis sp.* (MZUEL 14754: 1); *Rineloricaria kronei* (MZUEL 14721: 9); *Rineloricaria sp1* (MZUEL 14737: 26, MZUEL 14749: 11, MZUEL 14760: 15, MZUEL 14765: 1, MZUEL 14775: 1); **cCYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae:** *Phalloceros*

harpagos (MZUEL 14733: 51, MZUEL 14750: 1, MZUEL 14757: 42, MZUEL 14763: 4, MZUEL 14768: 2, MZUEL 14778: 5); *Poecillia reticulata* (MZUEL 14756: 3, MZUEL 14777: 11); **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 14739: 8, MZUEL 14766: 1).

IGUAÇU: CHARACIFORMES: Erithrinidae: *Hoplias* sp.1 (MZUEL 14875: 1); **Characidae:** *Astyanax* sp. (MZUEL 14839: 1); *Astyanax altiparanae* (MZUEL 14824: 1); *Astyanax serratus* (MZUEL 14791: 3, MZUEL 14798: 30, MZUEL 14799: 2, MZUEL 14813: 1, MZUEL 14833: 1, MZUEL 14888: 12); *Astyanax* sp.1 (MZUEL 14802: 1, MZUEL 14808: 1, MZUEL 14786: 4 MZUEL 14874: 23); *Bryconamericus* sp. (MZUEL 14838: 1, MZUEL 14814: 1); *Mimmagoniates microlepis* (MZUEL 14789: 1, MZUEL 14801: 4, MZUEL 14812: 4, MZUEL 14829: 39, MZUEL 14868: 2); **Crenuchidae:** *Characidium* sp.1 (MZUEL 14807: 1, MZUEL 14877: 3); *Characidium* sp.2 (MZUEL 14809: 1); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Pimelodela aff. lateristriga* (MZUEL 14831: 4, MZUEL 14834: 1, MZUEL 14815: 16, MZUEL 14876: 18); *Rhamdia quelen* (MZUEL 14796: 1); *Rhamdia vonlezi* (MZUEL 14830: 1); **Trichomycteridae:** *Trichomycterus* sp. (MZUEL 14889: 29); *Trichomycterus candidus* (MZUEL 14806: 7); *Trichomycterus castroi* (MZUEL 14787: 8, MZUEL 14794: 6, MZUEL 14804: 4, MZUEL 14843: 2, MZUEL 14872: 1, MZUEL 14883: 1); *Trichomycterus davisi* (MZUEL 14788: 20, MZUEL 14797: 88, MZUEL 14816: 13, MZUEL 14826: 3, MZUEL 14832: 28, MZUEL 14842: 28, MZUEL 14879: 25, MZUEL 14873: 21); *Trichomycterus mboycei* (MZUEL 14818: 2); **Callichthyidae:** *Corydoras ehrhardti*, (MZUEL 14819: 2, MZUEL 14793: 3, MZUEL 14823: 11, MZUEL 14869: 27, MZUEL 14884: 7); **Loricariidae:** *Ancistrus multispinis* (MZUEL 14810: 7); *Hisonotus francisrochai* (MZUEL 14844: 28, MZUEL 14805: 3); *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 14886: 4); *Otothyropis biamnicus* (MZUEL 14837: 2, MZUEL 14880: 11) *Pareiohaphis cf. parmula* (MZUEL 14817: 4, MZUEL 14820: 18, MZUEL 14840: 9, MZUEL 14867: 2, MZUEL 14835: 14, *Parotocinclus* sp. (MZUEL 14827: 1, MZUEL 14866: 2); *Rineloricaria maacki* (MZUEL 14811: 1, MZUEL 14828: 18, MZUEL 14870: 17); *Rineloricaria* sp2 (MZUEL 14878: 1); **CYPRINODONTIFORMES: Poecillidae:** *Phalloceros harpagos* (MZUEL 14836:1, MZUEL 14795: 2, MZUEL 14800: 1, MZUEL 14821: 14, , MZUEL 14825: 8, MZUEL 14841: 2, MZUEL 14871: 16, MZUEL 14882: 38, MZUEL 14887: 53, MZUEL 14803: 3); *Poecillia reticulata* (MZUEL 14790: 5, MZUEL 14881: 66); **SYNBRANCHIFORMES: Synbranchidae:** *Symbranchus marmoratus* (MZUEL 14792: 3); **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Cichlasoma paranaense* (MZUEL 14822: 2); *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 14885: 1).

IVAÍ: CHARACIFORMES: Parodontidae: *Apareiodon ibitiensis* (MZUEL 14934: 3, MZUEL 14971: 1); **Erithrinidae:** *Hoplias malabaricus* (MZUEL 14941: 1, MZUEL 15042: 1); **Characidae:** *Astyanax altiparanae* (MZUEL 14938: 1, MZUEL 14977: 3, MZUEL 14985: 5, MZUEL 15001: 4, MZUEL 15008: 1, MZUEL 15012: 1, MZUEL 15016: 15, MZUEL 15028: 3, MZUEL 15039: 3, MZUEL 15056: 1); *Astyanax* sp.2 (MZUEL 15074: 67, MZUEL 14942: 1, MZUEL 14946: 1, MZUEL 14953: 13, MZUEL 14986: 42, MZUEL 15006: 24, MZUEL 15024: 3, MZUEL 15034: 53, MZUEL 15050: 2, MZUEL 15060: 44, MZUEL 15062: 9, MZUEL 15065: 11, MZUEL 15070: 6); *Bryconamericus cf. turiuba* (MZUEL 14943: 41, MZUEL 14962: 18,

MZUEL 14973: 2); *Bryconamericus iheringi* (MZUEL 14952: 26, MZUEL 14940: 12, MZUEL 14947: 22, MZUEL 14968: 13, MZUEL 15025: 3, MZUEL 15038: 8, MZUEL 15051: 1, MZUEL 15072: 2); *Bryconamericus* sp1 (14979: 4); *Bryconamericus stramineus* (MZUEL 14965: 1); *Oligossarcus paranensis* (MZUEL 14944: 2, MZUEL 14954: 55, MZUEL 14978: 2, MZUEL 15019: 1, MZUEL 15023: 7); **Crenuchidae:** *Characidium zebra* (MZUEL 15029: 2); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Cetopsorhamdia iheringi* (MZUEL 14960: 1, MZUEL 14967: 1); *Imparfinis borodini* (MZUEL 14966: 1, MZUEL 15055: 5); *Pimelodella* sp (MZUEL 14959: 4, MZUEL 15030: 1); *Rhamdia quelen* (MZUEL 14945: 6, MZUEL 14958: 1, MZUEL 14983: 1, MZUEL 15005: 1, MZUEL 15045: 4); **Trichomycteridae:** *Trichomycterus davisi* (MZUEL 14951: 1; MZUEL 14961: 1, MZUEL 14970: 2, MZUEL 14987: 5, MZUEL 15004: 1, MZUEL 15009: 15, MZUEL 15015: 12, MZUEL 15021: 5, MZUEL 15035: 10, MZUEL 15046: 7, MZUEL 15052: 30, MZUEL 15059: 12, MZUEL 15061: 8, MZUEL 15064: 19, MZUEL 15067: 10, MZUEL 15073: 6); **Loricariidae:**); *Ancistrus* sp (MZUEL 15058: 1); *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 14936: 2, MZUEL 14949: 8, MZUEL 14963: 1, MZUEL 14974: 1, MZUEL 14982: 15, MZUEL 15013: 4, MZUEL 15022: 7, MZUEL 15033: 1, MZUEL 15041: 1, MZUEL 15047: 1, MZUEL 15057: 1, MZUEL 14969: 1); *Hypostomus nigromaculatus* (MZUEL 15026: 3); *Neoplecostomus yapo* (MZUEL 15048: 1); *Otothyropsis* sp. (MZUEL 14937: 1, MZUEL 14956: 8, MZUEL 15027: 3); *Rineloricaria pentamaculata* (MZUEL 14955: 4, MZUEL 14972: 2, MZUEL 15049: 1, MZUEL 14935: 2, MZUEL 14950: 20, MZUEL 14981: 3, MZUEL 15007: 2, MZUEL 15018: 2, MZUEL 15020: 7, MZUEL 15043: 1, MZUEL 15053: 19, MZUEL 15066: 2); **GYMNOTIFORMES: Gymnotidae:** *Gymnotus omarorum* (MZUEL 15040: 3, MZUEL 15069: 1); **CYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae:** *Phalloceros harpagos* (MZUEL 15003: 2, MZUEL 15014: 29, MZUEL 15017: 8, MZUEL 15031: 1, MZUEL 15032: 7, MZUEL 15037: 7, 15044: 19, MZUEL 15063: 49 MZUEL 15068: 1, MZUEL 15075: 6, MZUEL 15011: 1); *Poecilia reticulata* (MZUEL 14964: 1, MZUEL 14975: 1, MZUEL 14980: 40); **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Crenicichla britskii* (MZUEL 15071: 1) *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 14939: 1, MZUEL 14957: 9, MZUEL 14976: 1, MZUEL 14984: 3, MZUEL 15002: 3, MZUEL 15010: 1, MZUEL 15036: 13, MZUEL 15054: 63).

PIRAPÓ: CHARACIFORMES: Characidae: *Astyanax altiparanae* (MZUEL 15153: 5, MZUEL 15173: 1, MZUEL 15189: 1); *Astyanax* sp.2 (MZUEL 15139: 7, MZUEL 15132: 35, MZUEL 15142: 2, MZUEL 15147: 40, MZUEL 15162: 28, MZUEL 15180: 6, MZUEL 15188: 47, MZUEL 15228: 3, MZUEL 15237: 3); *Bryconamericus cf turiuba* (MZUEL 15131: 27, MZUEL 15144: 50, MZUEL 15190: 13); *Bryconamericus iheringi* (MZUEL 15161: 2, MZUEL 15194: 1); *Bryconamericus stramineus* (MZUEL 15133: 177, MZUEL 15143: 1, MZUEL 15156: 5, MZUEL 15164: 7; MZUEL 15178: 8, MZUEL 15191: 19, MZUEL 15225: 9); *Oligossarcus paranensis* (MZUEL 15135: 2, MZUEL 15138: 2, MZUEL 15158: 4); *Piabina argentea* (MZUEL 15130: 4, MZUEL 15179: 7); **Crenuchidae:** *Characidium zebra* (MZUEL 15170: 3, MZUEL 15193: 16); **SILURIFORMES: Heptapteridae:** *Cetopsorhamdia iheringi* (MZUEL 15148: 1, MZUEL 15181: 1); *Imparfinis borodini* (MZUEL 15126: 3, MZUEL 15159: 3, MZUEL 15166: 1); *Imparfinis schubarti* (MZUEL 15137: 18, MZUEL 15146: 6, MZUEL 15171: 1, MZUEL 15184: 25, 15223: 50, MZUEL 15234: 10, MZUEL 15240: 16); *Phenacorhamdia tenebrosa* (MZUEL 15134: 1, MZUEL 15172: 5); *Rhamdia quelen* (MZUEL 15128: 1, MZUEL 15160: 1, MZUEL 15169: 1, MZUEL 15183: 2, MZUEL 15220: 1, MZUEL 15231: 6, MZUEL

15243: 1); **Trichomycteridae:** *Trichomycterus diabolus* (MZUEL 15145: 1, MZUEL 15152: 1, MZUEL 15168: 7);

Callichthyidae: *Callichthys callichthys* (MZUEL 15136: 1); *Corydoras aeneus* (MZUEL 15125: 6, MZUEL 15155: 67, MZUEL 15186: 1, MZUEL 15175: 3);

Loricariidae: *Hisonotus francisrochai* (MZUEL 15221: 1, MZUEL 15192: 1, MZUEL 15244: 1); *Hypostomus ancistroides* (MZUEL 15140: 8, MZUEL 15141: 3, MZUEL 15149: 11, MZUEL 15167: 3, MZUEL 15177: 9, MZUEL 15185: 15, MZUEL 15226: 28, MZUEL 15236: 10, MZUEL 15239: 6, MZUEL 15129: 16); *Neoplecostomus selenae* (MZUEL 15238: 3); *Neoplecostomus yapo* (MZUEL 15222: 1); *Rineloricaria pentamaculata* (MZUEL 15154: 9, MZUEL 15224: 8 MZUEL 15232: 2); *Rineloricaria* sp3 (MZUEL 15124: 1); **GYMNOTIFORMES: Gymnotidae:** *Gymnotus omarorum* (MZUEL 15227: 16, MZUEL 15241: 1); *Oreochromis niloticus* (MZUEL 15229: 1);

CYPRINODONTIFORMES: Poeciliidae: *Phalloceros harpagos* (MZUEL 15150: 5, MZUEL 15163: 1 MZUEL 15174: 1 MZUEL 15187: 13 MZUEL 15233: 9); *Poecilia reticulata* (MZUEL 15151: 1, MZUEL 15230: 6, MZUEL 15235: 1); *Xiphophorus* sp.1 (MZUEL 15242: 2); **PERCIFORMES: Cichlidae:** *Geophagus brasiliensis* (MZUEL 15127: 1, MZUEL 15157: 3 MZUEL 15165: 1, MZUEL 15176: 2, MZUEL 15182: 4).

Bryconamericus aff. Iheringi X

Bryconamericus cf turiuba

Bryconamericus microcephalus

Bryconamericus sp1

Bryconamericus stramineus X X X X X X

Callichthys callichthys

Cetopsorhamdia iheringi X X X

Characidium gomesi

X

Characidium pterostictum

Characidium schubarti

X X

Characidium sp.1

Kronichthys lacerta

Kronichthys subteres

Leporellus vittatus

Leporinus friderici

Mimagoniates microlepis

Neoplecostomus selenae

X

Neoplecostomus paranensis

X

Neoplecostomus ribeirensis

Neoplecostomus sp.

Neoplecostomus yapo

Oligossarcus paranensis

X

Oreochromis niloticus

Otothyropsis biannicus

X

Otothyropsis sp.

Pareiohaphis parmula

Pareiorhaphis sp.

Rineloricaria sp.3

Rineloricaria maacki

Rineloricaria kronei

Serrapinnus notomelas

Synbranchus marmoratus

X

Steindachnerina insculpta

X

Trichomycterus davisi

X

X

X

X

X

Trichomycterus candidus

X

X

X

X

Trichomycterus castroi

X

Trichomycterus diabolus

X

X

Trichomycterus paolence

Trichomycterus zonatus

Trichomycterus iheringi

Trichomycterus mboycei

Xiphophorus sp.2

Xiphophorus sp.1

<i>Characidium gomesi</i>	X	X		X																
<i>Characidium pterostictum</i>																				
<i>Characidium schubarti</i>																				
<i>Characidium sp.1</i>																				
<i>Characidium sp.2</i>																				
<i>Characidium zebra</i>															X	X	X	X	X	
<i>Cichla kelberi</i>																				
Espécie (cont.)	Ti/Ig1	Ti/Ig2	Ti/Ig3	Ti/Ig4	Ti/Ig5	Ti/Iv1	Ti/Iv2	Ti/Iv3	Ti/Iv4	Ti/Iv5	Ti/Iv6	Ti/Iv7	Ti/Iv8	Ti/Iv9	Ti/Iv10	Ti/Iv11	Ti/Iv12	Ti/Iv13	Ti/Iv14	Ti/Iv15
<i>Cichlasoma paranaense</i>																		X	X	
<i>Cnesterodon hypselurus</i>																				
<i>Corydoras aeneus</i>																				
<i>Corydoras erhardti</i>	X																			
<i>Crenicichla britskii</i>																				
<i>Crenicichla jaguarensis</i>																				
<i>Deuterodon iguape</i>																				
<i>Geophagus brasiliensis</i>	X					X						X							X	
<i>Gymnotus omarorum</i>																				
<i>Gymnotus pantanal</i>																				
<i>Gymnotus sylvius</i>																				
<i>Harttia kronei</i>																				
<i>Hisonotus francisrochai</i>	X		X																	
<i>Hisonotus sp.</i>																				X
<i>Hoplias malabaricus</i>	X												X							
<i>Hoplias sp.1</i>																				
<i>Hyphessobrycon reticulatus</i>	X																			
<i>Hypostomus ancistroides</i>									X	X					X		X	X	X	X

Trichomycterus paolence

Trichomycterus zonatus

Trichomycterus iheringi

Trichomycterus mboycei

Xiphophorus sp.2

Xiphophorus sp.1

Tabela III. Ocorrência de espécies por ponto amostral. Ti/Pir: rio Tibagi divisa com o rio Pirapó; Par: rio Paranapanema.

Espécie	Ti/Pir1	Ti/Pir2	Ti/Pir3	Ti/Pir4	Ti/Pir5	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5	Par6	Par7	Par8	Par9	Par10
<i>Ancistrus multispinis</i>															
<i>Ancistrus</i> sp.															
<i>Apareiodon affinis</i>								X							
<i>Apareiodon ibitiensis</i>															
<i>Apareiodon piracicabae</i>															
<i>Astyanax aff fasciatus</i>															
<i>Astyanax fasciatus</i>								X							

<i>Astyanax altiparanae</i>								X	X	X						
<i>Astyanax</i> sp.2	X	X		X					X	X	X	X	X			
<i>Astyanax janeiroensis</i>																
<i>Astyanax serratus</i>																
<i>Astyanax</i> sp.1																
<i>Bryconamericus iheringi</i>	X	X			X											
<i>Bryconamericus</i> aff. <i>Iheringi</i>																
<i>Bryconamericus</i> cf. <i>turiuba</i>																
<i>Bryconamericus microcephalus</i>																
<i>Bryconamericus</i> sp.1																
<i>Bryconamericus stramineus</i>									X							
<i>Callichthys callichthys</i>																
<i>Cetopsorhamdia iheringi</i>																
<i>Characidium gomesi</i>					X											
<i>Characidium pterostictum</i>																
<i>Characidium schubarti</i>																
<i>Characidium</i> sp.1																
<i>Characidium</i> sp.2																
<i>Characidium zebra</i>				X				X		X						
<i>Cichla kelberi</i>								X								
Espécie (cont.)	Ti/Pir1	Ti/Pir2	Ti/Pir3	Ti/Pir4	Ti/Pir5	Par1	Par2	Par3	Par4	Par5	Par6	Par7	Par8	Par9	Par10	
<i>Cichlasoma paranaense</i>																
<i>Cnesterodon hypselurus</i>																
<i>Corydoras aeneus</i>						X	X		X	X						
<i>Corydoras erhardti</i>																
<i>Crenicichla britskii</i>														X		

<i>Imparfinis borodini</i>																	
<i>Imparfinis mirini</i>																	
<i>Isbrueckerichthys calvus</i>																	
<i>Isbrueckerichthys duseni</i>	X			X	X	X	X	X	X	X							
<i>Ituglanis proops</i>	X		X														
<i>Kronichthys lacerta</i>					X												
<i>Kronichthys subteres</i>										X							
<i>Leporellus vittatus</i>																	
Espécie (cont.)	Ri1	Ri2	Ri3	Ri4	Ri5	Ri6	Ri7	Ri8	Ri9	Ri10	Ig1	Ig2	Ig3	Ig4	Ig5	Ig6	Ig7
<i>Mimagoniates microlepis</i>												X		X			
<i>Neoplecostomus selenae</i>																	
<i>Neoplecostomus paranensis</i>																	
<i>Neoplecostomus ribeirensis</i>									X								
<i>Neoplecostomus sp.</i>																	
<i>Neoplecostomus yapo</i>																	
<i>Oligossarcus paranensis</i>																	
<i>Oreochromis niloticus</i>																	
<i>Otothyropsis biannicus</i>																X	X
<i>Otothyropsis sp.</i>																	
<i>Pareiohaphis parmula</i>												X	X		X	X	
<i>Pareiorhaphis sp.</i>					X												
<i>Parotocinclus sp.</i>														X			
<i>Phalloceros harpagos</i>			X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
<i>Phenacorhamdia tenebrosa</i>																	
<i>Piabina argentea</i>																	
<i>Pimelodella aff. lateristriga</i>												X		X	X		

Tabela VI. Ocorrência de espécies por ponto amostral. Iv: rio Ivaí.

Espécie	Iv1	Iv2	Iv3	Iv4	Iv5	Iv6	Iv7	Iv8	Iv9	Iv10	Iv11	Iv12	Iv13	Iv14	Iv15	Iv16	Iv17	Iv18	Iv19	Iv20	Iv21	Iv22	Iv23	Iv24	
<i>Ancistrus multispinis</i>																									
<i>Ancistrus</i> sp.																									X
<i>Apareiodon affinis</i>																									
<i>Apareiodon ibitiensis</i>	X			X	X																				
<i>Apareiodon piracicabae</i>																									
<i>Astyanax aff fasciatus</i>																									
<i>Astyanax fasciatus</i>																									
<i>Astyanax altiparanae</i>	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Astyanax</i> sp.2	X	X	X						X	X					X	X		X		X	X	X	X	X	X

<i>Hypostomus strigaticeps</i>										
<i>Imparfinis borodini</i>	X			X	X					
<i>Imparfinis mirini</i>		X	X		X		X	X	X	X
<i>Isbrueckerichthys calvus</i>										
<i>Isbrueckerickthys duseni</i>										
<i>Ituglanis proops</i>										
<i>Kronichthys lacerta</i>										
<i>Kronichthys subteres</i>										
<i>Leporellus vittatus</i>										
<i>Leporinus friderici</i>										
Espécie (cont.)	Pir1	Pir2	Pir3	Pir4	Pir5	Pir6	Pir7	Pir8	Pir9	Pir10
<i>Mimagoniates microlepis</i>										
<i>Neoplecosotmus selenae</i>										X
<i>Neoplecostomus paranensis</i>										
<i>Neoplecostomus ribeirensis</i>										
<i>Neoplecostomus</i> sp.										
<i>Neoplecostomus yapo</i>								X		
<i>Oligossarcus paranensis</i>	X	X		X						
<i>Oreochromis niloticus</i>								X		
<i>Otothyropis biannicus</i>										
<i>Otothyropsis</i> sp.										
<i>Pareiohaphis parmula</i>										
<i>Pareiorhaphis</i> sp.										
<i>Parotocinclus</i> sp.										
<i>Phalloceros harpagos</i>				X	X	X	X		X	
<i>Phenacorhamdia tenebrosa</i>	X				X					

<i>Tricomycerus mboycei</i>	
<i>Xiphophorus</i> sp.2	
<i>Xiphophorus</i> sp.1	X



Universidade
Estadual de Londrina

COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

OF. CIRC. CEUA Nº 64/12

Londrina, 14 março de 2012

Prezado Pesquisador

O CEUA/UEL, reunido em 14 de fevereiro de 2012, avaliou o projeto de pesquisa intitulado "Estudo biogeográfico de peixes residentes em cabeceiras dos rios das bacias do rio Tibagi e do seu entorno", registrado na CEUA sob o processo nº 37751.2011.83, desenvolvido sob sua responsabilidade, julgando-o *aprovado* para execução por entender que os princípios éticos postulados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal e do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal estão respeitados.

Serão utilizados 50 animais divididos em 20 grupos, totalizando o número de 1000 animais, que compreendem diversas espécies de peixes. Os animais serão capturados nas cabeceiras dos rios pertencentes às bacias dos rios Iguaçu, Ribeira, Itararé, Cinzas, Paranapanema, Pirapó, Tibagi e Ivaí. Será realizada coleta em cada ponto amostral, com redes de arrasto e peneiras nos rios de cabeceiras. Os peixes serão anestesiados com 1mL de solução benzocaína (5mL de benzocaína diluída em 100ml de etanol à 96°GL) diluído em 1L de água durante 2 a 5 minutos. Os peixes anestesiados serão transferidos para formol a 10% para fixação, conservados em álcool a 70% na Coleção Ictiológica do Museu de Zoologia do BAV, da UEL. Há autorização do IBAMA. Os experimentos estão previstos para serem desenvolvidos em 48 meses após a aprovação pela CEUA/UEL.

Cumpra orientar que caso pretendam-se quaisquer alterações no protocolo experimental aprovado, deve-se submeter o novo protocolo à apreciação do CEUA/UEL anteriormente à execução das modificações.

Sem mais para o momento, subscrevo-me.

Cordialmente,

Waldiceu Ap. Verri Junior
Prof. Dr. Waldiceu Aparecido Verri Junior
Coordenador da CEUA/UEL

Ilmo. Sr.

Prof. Dr. Oscar Akio Shibatta
Coordenador do Projeto
Departamento de Biologia Animal e Vegetal
Centro de Ciências Biológicas

Com cópia para Srª Egle Maria de Sousa (Chefe da DCA/PROPPG)