

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E**  
**ENGENHARIA DE PESCA**

**TATIANE MARY GOGOLA**

Traços e índices funcionais aplicados à larvas como ferramenta para a avaliação da reprodução de peixes nos gradientes espaciais de reservatórios

Toledo  
2018

**TATIANE MARY GOGOLA**

Traços e índices funcionais aplicados à larvas como ferramenta para a avaliação da reprodução de peixes nos gradientes espaciais de reservatórios

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Vanderlei Sanches

Toledo  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Gogola, Tatiane Mary

Traços e índices funcionais aplicados à larvas como ferramenta para a avaliação da reprodução de peixes nos gradientes espaciais de reservatórios / Tatiane Mary Gogola; orientador(a), Paulo Vanderlei Sanches, 2018. 60 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2018.

1. Ictioplâncton. 2. Barramentos. 3. Gradientes espaciais. 4. Composição de espécies. I. Sanches, Paulo Vanderlei. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TATIANE MARY GOGOLA**

Traços e índices funcionais aplicados à larvas como ferramenta para a avaliação da reprodução de peixes nos gradientes espaciais de reservatórios

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

COMISSÃO JULGADORA

---

Prof. Dr. Paulo Vanderlei Sanches  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

---

Prof. Dr. Pitágoras Augusto Piana  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

---

Prof. Dr. Dirceu Baumgartner  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

---

Prof. Dra. Elaine Antoniassi Luiz Kashiwaqui  
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul

---

Prof. Dr. Almir Manoel Cunico  
Universidade Federal do Paraná

Aprovada em: 07 de dezembro de 2018.

Local de defesa: Auditório do GERPEL – UNIOESTE – *campus* Toledo.

Tese elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Journal of Fish Biology*. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/10958649/homepage/forauthors.html>>

## APRESENTAÇÃO

As larvas de peixes não apresentam os mesmos conjuntos de traços funcionais que seus parentais, porém a sua captura no plâncton indica que o local é utilizado como sítio reprodutivo. Desta maneira, podem funcionar como ferramentas úteis para o estudo da dinâmica reprodutiva das espécies de peixes. Assim, baseados nas ocorrências de larvas analisamos a reprodução dos peixes nos gradientes longitudinal e lateral do reservatório de Itaipu a partir da análise dos traços e índices funcionais, assim como avaliaremos as influências de algumas variáveis ambientais e do represamento sobre a reprodução das espécies.

Para a realização deste estudo foram avaliados três braços da margem esquerda do reservatório (Ocoí, São Francisco Falso e Arroio Guaçu) distribuídos ao longo do gradiente longitudinal do reservatório (zonas: lacustre, transição e fluvial), enquanto que para a análise do gradiente lateral, cada braço foi dividido em três regiões de acordo com a distância da área de influência do reservatório, sendo região I, próxima do corpo central, região II, intermediária entre o reservatório e o trecho lótico e III próximo ao trecho lótico do braço. As coletas foram realizadas mensalmente entre outubro e março, no período de 2009 a 2016 utilizando-se rede de plâncton, equipadas com fluxômetro e no período noturno. Amostras de água foram obtidas para a verificação de algumas variáveis ambientais. Em laboratório as larvas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível e classificadas em relação à algumas características funcionais dos parentais relacionadas à reprodução, alimentação e uso do hábitat.

Para a elaboração deste trabalho, assumimos o pressuposto que o grau de influência do represamento sobre a reprodução dos peixes segue o gradiente longitudinal, e que esta influência é mais pronunciada na região lacustre, sendo que os resultados obtidos foram divididos em dois capítulos. No primeiro capítulo, intitulado “*Avaliação da influência de variáveis ambientais na reprodução de peixes a partir de traços funcionais aplicados à larvas em um reservatório Neotropical*”, analisamos a influência de alguns fatores ambientais sobre a reprodução dos peixes e testamos as hipóteses: i) As variáveis ambientais influenciam nos padrões espaciais e temporais de distribuição de larvas dos diferentes grupos funcionais de peixes em reservatórios, e ii) A reprodução dos peixes no gradiente lateral segue a mesma tendência da observada no gradiente longitudinal.

Para analisar a relação das variáveis ambientais e traços funcionais foram realizadas as análises de RLQ e “fourth-corner”. Foram analisadas 51.995 larvas, com maiores abundâncias nas zonas lacustre e transição, região I e no período V. De modo geral, a turbidez

e precipitação influenciaram os táxons migradores, principalmente no período V, e o período IV foi negativamente influenciado pelos baixos valores da cota do reservatório, favorecendo espécies sedentárias e adaptadas à ambientes lênticos. A zona fluvial e a região I mostraram-se diferentes das demais. Entre os períodos, os maiores índices funcionais ocorreram nos períodos IV e V. Assim, podemos concluir que a composição dos grupos funcionais das espécies de peixes que reproduzem no reservatório de Itaipu muda ao longo do gradiente longitudinal, com influência da precipitação, turbidez e elevação da cota para as espécies migradoras e cotas menores para as sedentárias, confirmando a nossa primeira hipótese. Já em relação ao gradiente lateral esta diferenciação não foi tão evidenciada, indicando que a reprodução das espécies no gradiente lateral está mais relacionada à sua posição no gradiente longitudinal e desta maneira, refutando nossa segunda hipótese.

No segundo capítulo, intitulado “*Homogeneização biótica funcional ao longo dos gradientes de um reservatório neotropical: Índices funcionais aplicados à larvas de peixes*” tivemos o objetivo de verificar a possível ocorrência de homogeneização biótica funcional ao longo do tempo e nos gradientes longitudinal e lateral do reservatório de Itaipu, utilizando os índices de riqueza funcional, equitabilidade funcional e entropia quadrática de RaoQ, a fim de testar as seguintes hipóteses: i) Existe uma homogeneização biótica funcional ao longo do gradiente longitudinal e esta é mais pronunciada na zona lacustre e menos na zona fluvial e, ii) A homogeneização funcional, caso exista, também seguirá o mesmo padrão no gradiente lateral. Uma análise de variância (ANOVA) foi aplicada para avaliar diferenças nas densidades de larvas e índices funcionais. Para verificar a inter-relação com as variáveis ambientais aplicou-se a correlação de Pearson. Os maiores valores de riqueza funcional foram na zona fluvial e região I, de equitabilidade funcional na zona fluvial e transição e região I e entropia quadrática funcional na zona fluvial e região II. O braço localizado na zona lacustre apresentou menores valores de riqueza funcional, equitabilidade funcional e RaoQ, o que indica homogeneização biótica funcional, confirmando a nossa primeira hipótese. O mesmo padrão não foi confirmado para o gradiente lateral, pois não verificamos diferenças entre as regiões para os índices funcionais, contrariando a nossa segunda hipótese formulada.



## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 Avaliação da influência de variáveis ambientais na reprodução de peixes a partir de traços funcionais aplicados à larvas em um reservatório Neotropical

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 Área de Estudo .....	10
2.2 Coleta das Larvas de Peixes .....	11
2.3 Análise dos Dados .....	13
3 RESULTADOS .....	17
3.1 Enquadramento Taxônomico.....	17
3.2 Variáveis Ambientais .....	21
3.3 Estrutura Funcional da Assembleia de Larvas de Peixes .....	23
4 DISCUSSÃO.....	30
5 REFERÊNCIAS .....	34

CAPÍTULO 2 Simplificação biótica funcional ao longo dos gradientes de um reservatório Neotropical: índices funcionais aplicados à larvas de peixes

1 INTRODUÇÃO.....	39
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
2.1 Área de Estudo .....	40
2.2 Coleta das Larvas de Peixes .....	41
2.3 Análise dos Dados .....	43
3 RESULTADOS .....	46
3.1 Abundância de Larvas .....	46
3.2 Índices Funcionais .....	47
3.3 Correlação de Pearson .....	49
4 DISCUSSÃO.....	49
5 REFERÊNCIAS .....	53
6 ANEXO .....	57
6.1 Referências dos traços funcionais .....	59

## **CAPÍTULO 1** Avaliação da influência de variáveis ambientais na reprodução de peixes a partir de traços funcionais aplicados à larvas de um reservatório Neotropical

### **RESUMO**

Com base nas ocorrências de larvas de peixes e analisando a relação das variáveis ambientais e traços funcionais, pretendemos avaliar a dinâmica reprodutiva das espécies ao longo dos gradientes do reservatório de Itaipu. Assumindo o pressuposto que o grau de influência do represamento sobre a reprodução dos peixes segue o gradiente longitudinal, e que esta influência é mais pronunciada na região lacustre, testamos as hipóteses: i) As variáveis ambientais influenciam nos padrões espaciais e temporais de distribuição de larvas dos grupos funcionais de peixes em reservatórios. ii) A reprodução dos peixes no gradiente lateral segue a mesma tendência da observada, caso exista, no gradiente longitudinal. Foram avaliados três braços da margem esquerda, distribuídos ao longo do gradiente longitudinal do reservatório (zonas: lacustre, transição e fluvial), enquanto que para a análise do gradiente lateral, cada braço foi dividido em três regiões de acordo com a distância da área de influência do reservatório, sendo região I, próxima do corpo central, região II, intermediária entre o reservatório e o trecho lótico e III próximo ao trecho lótico do braço. As coletas foram realizadas mensalmente, entre outubro e março, no período de 2009 a 2016, totalizando cinco períodos. As amostragens foram realizadas com rede de plâncton, equipadas com fluxômetro e no período noturno. Amostras de água foram obtidas para a verificação de algumas variáveis ambientais. Em laboratório as larvas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível e avaliadas em relação à algumas características funcionais relacionadas à reprodução, alimentação e ocupação dos estrados da coluna d'água. Para analisar a relação das variáveis ambientais e traços funcionais foram realizadas as análises de RLQ e "fourth-corner". Foram analisadas 51.995 larvas, com maiores abundâncias nas zonas lacustre e transição e um maior número de táxons na zona fluvial e região I. De modo geral, a turbidez e precipitação influenciaram positivamente os táxons migradores, principalmente no período V e, o período IV foi negativamente influenciado pela cota do reservatório favorecendo espécies sedentárias e adaptadas à ambientes lênticos. As espécies migradoras também estiveram relacionadas com a diferenciação da zona fluvial. A RLQ realizada isoladamente para cada zona do gradiente longitudinal indicou uma diferenciação da região I, sendo que em cada braço as variáveis ambientais influenciaram de forma distinta. Assim, podemos concluir que a composição dos grupos funcionais das espécies de peixes que reproduzem no reservatório de Itaipu muda ao longo do gradiente longitudinal, com influência da precipitação, turbidez e elevação da cota para as espécies migradoras e cotas menores para as sedentárias, corroborando com a nossa primeira hipótese. Já em relação ao gradiente lateral esta diferenciação não foi tão evidenciada, podendo concluir que a reprodução das espécies no gradiente lateral está mais relacionada à sua posição no gradiente longitudinal e desta maneira, rejeitando nossa segunda hipótese.

**Palavras-chave:** Ictioplâncton. Barramentos. Gradientes espaciais. RLQ & *fourth corner*.

## **ABSTRACT**

Based on the occurrence of fish larvae and analyzing the relationship of environmental variables and functional traits, we intend to evaluate the reproductive dynamics of the species along the Itaipu reservoir gradients. Assuming that the degree of influence of damming on fish reproduction follows the longitudinal gradient, and that this influence is more pronounced in the lacustrine region, we test the hypotheses: i) Environmental variables influence the spatial and temporal patterns of larval distribution functional groups of fish in reservoirs. ii) The reproduction of the fish in the lateral gradient follows the same trend as observed, if any, in the longitudinal gradient. Three arms of the left margin were evaluated, distributed along the longitudinal gradient of the reservoir (zones: lacustrine, transition and fluvial), whereas for the lateral gradient analysis, each arm was divided into three regions according to the distance of the influence of the reservoir, region I, near the central body, region II, intermediate between the reservoir and the lotic stretch and III near the lotic stretch of the arm. The collections were carried out monthly, between October and March, in the period from 2009 to 2016, totaling five periods. The samplings were carried out with plankton net, equipped with flow meter and in the nocturnal period. Samples of water were obtained for the verification of some environmental variables. In the laboratory, the larvae were identified at the lowest possible taxonomic level and evaluated in relation to some functional characteristics related to reproduction, feeding and occupation of the beds of the water column. In order to analyze the relation of environmental variables and functional traits, the RLQ and fourth-corner analyzes were performed. A total of 51,995 larvae were analyzed, with higher abundances in the lacustrine and transition zones and a larger number of taxa in the fluvial zone and region I. In general, turbidity and precipitation influenced positively the migratory taxa, mainly in period V and period IV was negatively influenced by the quota of the reservoir favoring sedentary species and adapted to the lentic environments. The migratory species were also related to the differentiation of the fluvial zone. The RLQ performed separately for each zone of the longitudinal gradient indicated a differentiation of region I, and in each arm the environmental variables influenced in a different way. Thus, we can conclude that the composition of the functional groups of the fish species that reproduce in the Itaipu reservoir changes along the longitudinal gradient, with influence of precipitation, turbidity and elevation of the quota for the migratory species and smaller quotas for the sedentary ones, corroborating with our first hypothesis. In relation to the lateral gradient, this differentiation was not so evident, and we can conclude that the reproduction of the species in the lateral gradient is more related to its position in the longitudinal gradient and, thus, rejecting our second hypothesis.

**Keywords:** Ichthyoplankton. Dams. Spatial gradients. RLQ & fourth corner.

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos biológicos dos ecossistemas aquáticos continentais lóticos estão sofrendo pressões antrópicas em todo o mundo, sendo as construções de barragens constituintes de maior ameaça (Winemiller *et al.*, 2018), a qual afeta entre outros, os regimes de temperatura e transporte de sedimentos, e assim influencia as comunidades presentes nos rios (Liermann *et al.*, 2012). Entre os grupos, a comunidade íctica geralmente é a mais afetada, pois as barragens podem promover a obstrução de rotas de migração reprodutiva ou alimentar (Kruk & Penczak, 2003; McLaughlin *et al.*, 2006) e alagamento de áreas de desova e/ou desenvolvimento (Agostinho *et al.* 2007).

Em geral, as condições restritivas geradas pela transformação de um ambiente lótico em semi-lêntico reduzem drasticamente as populações de peixes, especialmente aquelas de grande porte, migradoras e de longa longevidade (k-estrategistas), e uma proliferação maciça de espécies sedentárias, principalmente de pequeno porte, que podem completar seu ciclo de vida no novo ambiente e aproveitar os recursos alimentares disponíveis, atingindo assim todo o seu potencial de proliferação (r-estrategistas) (Agostinho *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2016). Normalmente as espécies sedentárias com pré-adaptações à ambientes semi-lênticos são favorecidas no novo ambiente (Agostinho *et al.*, 2007), porém são afetadas pelas alterações hidrológicas e tendem a redistribuir-se dentro das áreas de grandes reservatórios (Araújo *et al.*, 2013).

Além disso, as mudanças decorrentes da formação de um reservatório formam gradientes espaciais, longitudinais e transversais, os quais podem influenciar a distribuição de espécies (Oliveira *et al.*, 2004). Os gradientes longitudinais, classificados em fluvial, transição e lacustre (Thornton, 1990) estão relacionados às mudanças geomorfológicas, biológicas, físicas e químicas que ocorrem ao longo do leito principal do rio, enquanto que, os gradientes transversais ocorrem nos braços do reservatório e são resultado das mudanças nos antigos leitos de tributários laterais (região tributário - reservatório) (Oliveira *et al.*, 2004).

Uma ferramenta importante para compreender a distribuição das assembleias de peixes nos gradientes espaciais de reservatórios é a análise funcional dos indivíduos. Essa ferramenta proporciona base para o entendimento das respostas da comunidade para as modificações ambientais (Weeb *et al.*, 2010). Além disso, o entendimento da relação traço funcional e variável ambiental fornece a informação de quais variáveis ambientais agem como filtro ambiental e se os traços selecionados interferem nos processos ecossistêmicos (Rosada *et al.*, 2013).

Nesse sentido, baseados nas ocorrências de larvas e da análise dos traços funcionais dos adultos, avaliamos a reprodução dos peixes, bem como determinamos quais variáveis ambientais agem sobre a dinâmica reprodutiva das espécies ao longo dos gradientes do reservatório de Itaipu. Assim, assumindo o pressuposto que o grau de influência do represamento sobre a reprodução dos peixes segue o gradiente longitudinal, e que esta influência é mais pronunciada na região lacustre (Agostinho *et al.*, 2016), testamos as hipóteses: i) As variáveis ambientais influenciam nos padrões espaciais e temporais de distribuição de larvas dos diferentes grupos funcionais de peixes em reservatórios. ii) A reprodução dos peixes no gradiente lateral segue a mesma tendência da observada no gradiente longitudinal.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O reservatório de Itaipu, localizado no rio Paraná, faz divisa natural do Brasil com o Paraguai (24°05' e 25°33'S; 54°00' e 54°37'W) e apresenta: área inundada de 1.350 km<sup>2</sup>, extensão de 151 km entre as cidades de Foz do Iguaçu e Guaíra, profundidade média de 22 m (considerando o corpo principal) e máxima de 170 m nas proximidades da barragem, tempo de residência de 40 dias e velocidade da água de até 0,6m/s (Oliveira *et al.*, 2005).

Avaliamos três braços do reservatório: Ocoí, São Francisco Falso e Arroio Guaçu. O Ocoí apresenta, próximo ao reservatório, fundo com lodo, com presença de vegetação aquática enraizada emersa nas margens (capim), sem presença de troncos e mata ciliar recomposta por reflorestamento. Nas regiões de transição e fluvial do braço verificamos, além disso, a presença de troncos submersos (paliteiro) e macrófitas flutuantes.

O São Francisco Falso apresenta, em toda sua extensão, fundo com lodo, presença de vegetação aquática enraizada emersa nas margens (*Egeria densa* e capim) e mata ciliar recomposta por reflorestamento. A medida que se distancia da influência lacustre, apresenta troncos submersos e macrófitas flutuantes (*Pistia stratiotes*, *Salvinia nutans*, *Eichornia azurea* e *Eichornia crassipes*).

E o Arroio Guaçu apresenta, na região lântica, fundo com lodo, presença de vegetação aquática enraizada emersa nas margens (*Egeria densa* e capim), macrófitas flutuantes (*Pistia stratiotes*, *Salvinia nutans*, *Eichornia azurea* e *Eichornia crassipes*), sem presença de troncos e mata ciliar recomposta por reflorestamento. Na região de transição ocorre a

presença de troncos (paliteiros) e na região fluvial, a mata ciliar é composta por vegetação nativa.

## **2.2 Coleta das Larvas de Peixes**

Para a avaliação da atividade reprodutiva das espécies, nossas análises foram realizadas sobre os gradientes longitudinal e lateral do reservatório. Para a determinação do gradiente longitudinal foi utilizada a zonação descrita em Thornton (1990) e Oliveira *et al.* (2004): zona fluvial, transição e lacustre. Nesta análise avaliamos as ocorrências de larvas em três braços (antigos leitos de tributários) do reservatório, sendo o braço Ocoí, São Francisco Falso e Arroio Guaçu, localizados nas zonas lacustre, transição e fluvial, respectivamente (Fig. 1).

Para análise no gradiente lateral foram determinadas em cada braço, três regiões sendo a região I- localizada próxima ao corpo central do reservatório, definida como a mais influenciada por ele; região II- intermediária entre o reservatório e o trecho lótico do rio; e região III- localizada mais distante do corpo central do reservatório, definida como a que recebe maior influência do rio. No braço localizado na zona lacustre, a região I foi representada por 2 pontos de amostragem e as regiões II e III, um ponto de amostragem cada. Nos braços das zonas de transição e fluvial, as regiões I e III foram representadas por dois pontos de amostragem e a região II, apenas um ponto (Fig. 1).

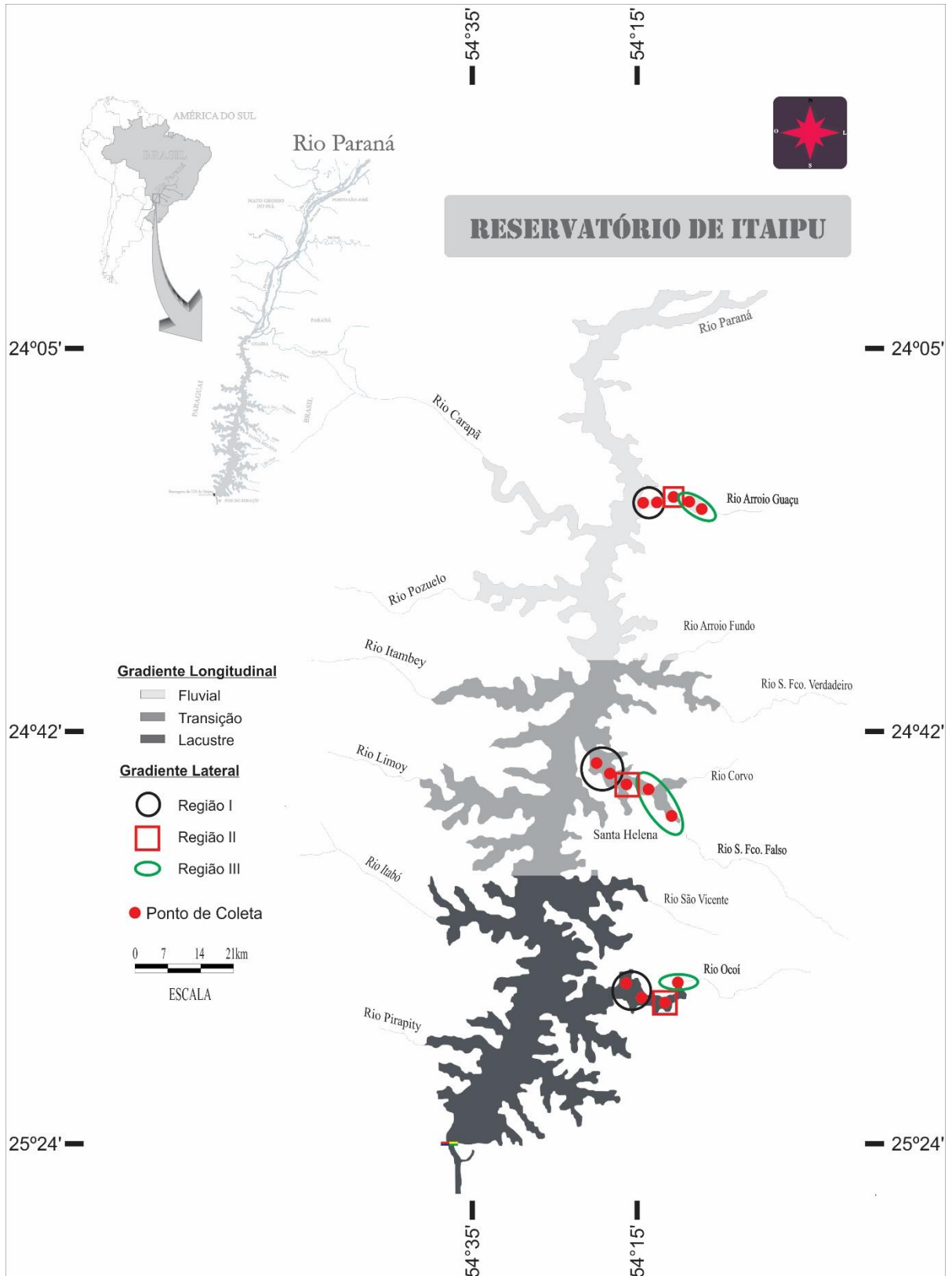


Fig. 1 – Localização dos gradientes longitudinal de acordo com Thornton (1990) e Oliveira *et al.* (2004), gradiente lateral e dos pontos de coleta no reservatório de Itaipu, rio Paraná, Brasil.

As amostragens foram realizadas mensalmente entre outubro e março, em cinco períodos reprodutivos entre os anos de 2009 e 2016 (período I - 2009 a 2010; período II – 2010 a 2011; período III – 2011 a 2012; período IV – 2014 a 2015; período V – 2015 a 2016) utilizando-se redes de plâncton cônico-cilíndricas de malha 0,5 mm equipadas com fluxômetro para a obtenção dos valores de volume de água filtrada (Nakatani *et al.*, 2001). As redes foram arrastadas com o barco em baixa velocidade (aproximadamente 5 km/h), submersas a aproximadamente 10 cm da superfície durante 10 minutos. Todas as coletas foram realizadas durante o período noturno não sendo utilizado nenhum tipo de armadilha ou atrativo luminoso.

As amostras obtidas foram acondicionadas em frascos plásticos, em seguida adicionado hidrocloreto de benzocaína (Anestésico) em conformidade com as diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA (Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal) (CONCEA, 2013) e posteriormente fixadas em formol diluído a 4,0% tamponado com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Concomitantemente às coletas do ictioplâncton foram obtidas amostras de água para a obtenção dos valores de algumas variáveis ambientais como temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), pH, condutividade elétrica (µS/cm) e turbidez (NTU). Valores de precipitação (mm) foram obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná, sendo que os dados da zona lacustre foram obtidos da estação Itacorá (Esquina Gaúcha) no município de Itaipulândia, da zona de transição obtidos da estação São Clemente no município de Santa Helena e os da zona fluvial obtidos da estação Nova Mercedes, no município de Mercedes. Valores de cota do reservatório (m) foram obtidos da própria Itaipu Binacional.

### **2.3 Análise dos Dados**

As abundâncias de larvas de peixes foram padronizadas para volume de 10 m<sup>3</sup> de água filtrada, segundo Tanaka (1973), modificado por Nakatani *et al.* (2001). As larvas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível, conforme Nakatani *et al.* (2001), e aquelas que não apresentaram características que permitissem sua identificação foram enquadradas em nível de ordem ou família. O enquadramento taxonômico seguiu a classificação proposta por Ota *et al.* (2018).

As características funcionais dos táxons das larvas foram previamente selecionadas levando em consideração as relações dos parentais com as funções ecossistêmicas e da comunidade (Rosada *et al.*, 2013). Seis classes funcionais foram analisadas sendo elas: categoria trófica, realização de migrações reprodutivas, uso do habitat, presença de cuidado



parental, tipo de fecundação e tipo de desova (Tabela I). Além disso, categorizamos a origem dos indivíduos em nativos e não nativos, que apesar de não serem traços funcionais foram incluídas nas análises pela sua importância ecológica (Vitule *et al.*, 2012). Para o enquadramento funcional das espécies utilizamos apenas larvas identificadas no mínimo em nível de gênero, ou seja, larvas identificadas apenas em nível de família ou ordem foram descartadas das análises, pois poderiam apresentar divergências de traços. Os dados foram obtidos na literatura (Anexo) ou estimadas de acordo com a anatomia das espécies (Muniz, 2017).

Tabela I – Classes e categorias dos traços funcionais e origem utilizados nas análises para os táxons de peixes no reservatório de Itaipu.

<b>Classes de Traço</b>	<b>Traço funcional</b>	<b>Sigla</b>
Categoria trófica	Detritívoro	Detr
	Herbívoro	Herb
	Insetívoro	Inse
	Invertívoro	Inve
	Onívoro	Oniv
	Piscívoro	Pisc
Migração (>100 km)	Presente	Migr
	Ausente	Sede
Uso do habitat	Bentônico	Bent
	Bentopelágico	Bepe
	Pelágico	Pela
Cuidado parental	Presente	Cpar
	Ausente	Spar
Fecundação	Externa	Fe
	Interna	Fi
Tipo de desova	Parcelada	Parce
	Total	Total
Origem	Nativo	Nat
	Não nativo	Nnat

Para analisar a relação das variáveis ambientais com os traços funcionais, a fim de encontrar padrões na composição dos traços funcionais sobre a abundância de larvas entre os períodos, gradientes longitudinais, gradientes laterais e isoladamente dentro de cada zona do gradiente longitudinal, foram realizadas a análise de RLQ (Dolédec *et al.*, 1996) e a análise *fourth-corner* (Legendre *et al.*, 1997).

O principal objetivo da RLQ é identificar a combinação de traços funcionais das espécies que varia em função das alterações nas condições ambientais. Para isso é feita uma análise simultânea de três matrizes de dados, resultando em escores para espécies, traços funcionais e

variáveis ambientais ao longo de eixos ortogonais. As matrizes utilizadas para este estudo foram a matriz  $\mathbf{R}$  ( $m \times n$ ) que possui as variáveis ambientais nas colunas e as amostras nas linhas, a matriz  $\mathbf{L}$  ( $p \times n$ ) que possui as espécies nas colunas e as amostras nas linhas e a matriz  $\mathbf{Q}$  ( $s \times p$ ) que possui os traços funcionais nas colunas e as espécies nas linhas. Cada matriz de dados passou por uma ordenação de acordo com a natureza dos dados, para a realização da análise de RLQ (Fig. 2). Primeiramente foi realizada uma análise de correspondência (CA, Greenacre, 1984) sobre a matriz de abundância (L) para sumarizar as principais estruturas, gerando a matriz ( $L'$ ), da qual foram extraídas duas matrizes diagonais, a matriz  $cw$  (frequência relativa de indivíduos de cada espécie) e a matriz  $lw$  (frequência relativa dos indivíduos por locais).

Sobre a matriz dos traços funcionais (Q) foi realizada a análise de Hill-Smith (Hill & Smith, 1976) ponderada pela matriz  $cw$ , resultando na matriz  $Q'$  e sobre a matriz das variáveis ambientais (R) foi realizada a análise de componentes principais (PCA, Gauch Jr., 1982) ponderada pela matriz  $lw$ , resultado na matriz  $R'$ . O resultado da RLQ é uma combinação linear das variáveis ambientais e traços funcionais que possuam maior covariância entre elas, mediado pela matriz de abundância.

A análise de *fourth-corner* avalia a significância das relações entre cada traço funcional e variável ambiental por meio de testes de permutação utilizando o resultado da RLQ. Esta análise realiza testes permutacionais nas matrizes de R e Q a fim de controlar o erro tipo I e nível de significância  $\alpha$ . Com esta análise pode-se concluir qual traço funcional e variável ambiental influenciam na distribuição e abundância das espécies (Legendre *et al.*, 1997). As análises de RLQ e *fourth-corner* foram realizadas com o pacote *ade4* (Dray & Dufour, 2007) do programa estatístico R (R Development Core Team, 2017).

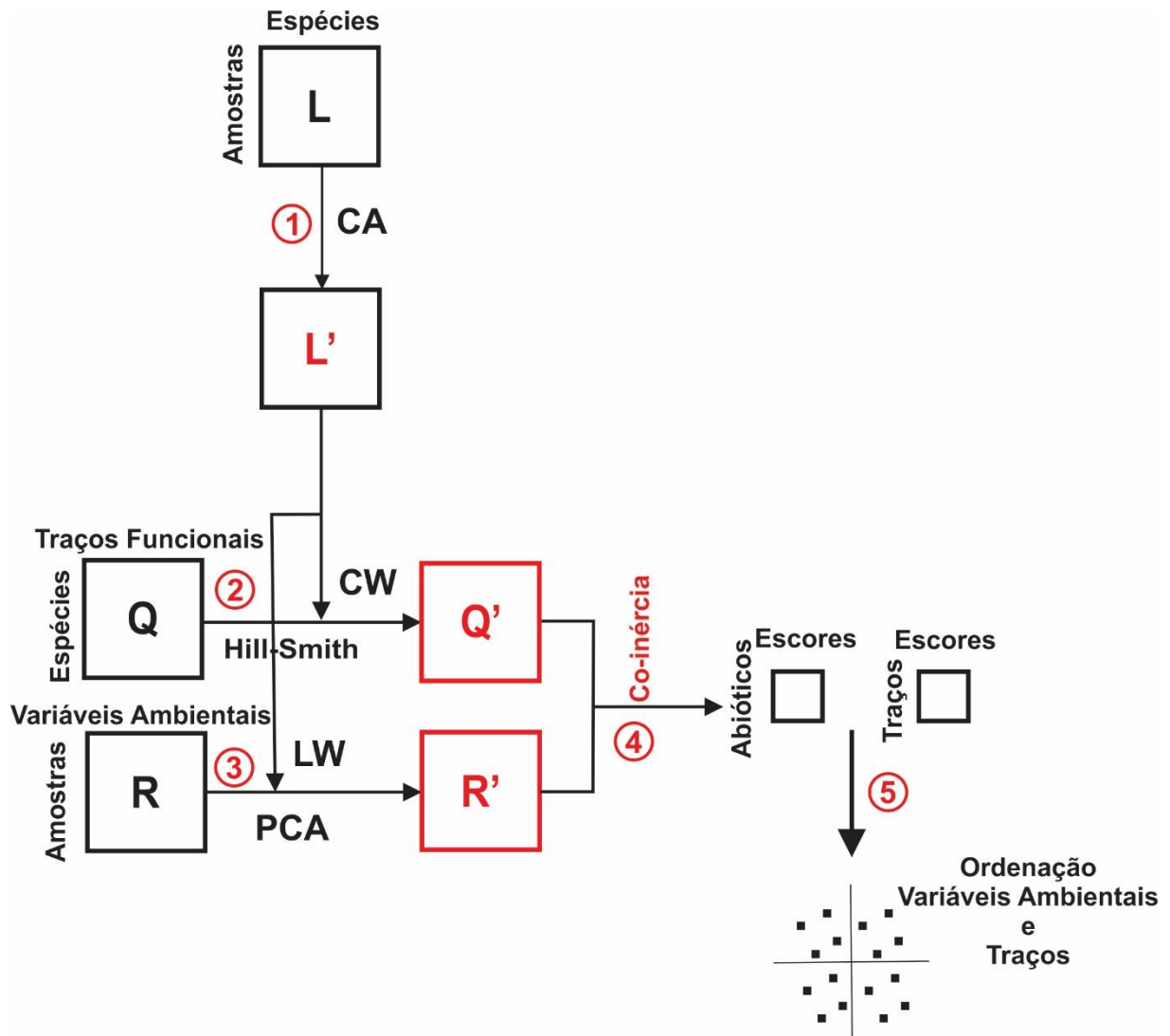


Fig. 2- Diagrama da análise RLQ. (1) A matriz de abundância ( $L$ ) foi analisada por uma análise de correspondência (CA) para sumarizar as principais estruturas ( $L'$ ). Duas matrizes diagonais foram geradas da CA, a matriz  $cw$  (frequência relativa de indivíduos de cada espécie) e a matriz  $lw$  (frequência relativa dos indivíduos por locais). (2) Sobre a matriz dos traços funcionais ( $Q$ ) foi realizada a análise de Hill- Smith ponderada pela matriz  $cw$ , resultado na matriz  $Q'$ . (3) Sobre a matriz das variáveis ambientais ( $R$ ) foi realizada a análise de PCA ponderada pela matriz  $lw$ , resultado na matriz  $R'$ . (4) Uma análise de co-inércia foi realizada de forma que os escores das variáveis ambientais e traços funcionais ponderados pela abundância de espécies tenham máxima covariância cruzada. (5) Os gráficos de ordenação foram gerados.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Enquadramento Taxonômico

Durante o período analisado foram capturadas 51.995 larvas com ocorrências em todas as amostragens, sendo identificadas larvas pertencentes a 7 ordens, 20 famílias, 6 subfamílias 33 gêneros e 24 espécies, com o maior número de táxons registrado na zona fluvial, seguido da zona de transição (gradiente longitudinal). As maiores abundâncias de larvas ocorreram nas zonas lacustre e de transição, principalmente de espécies consideradas sedentárias e forrageiras, como *Hypophthalmus oremaculatus* e os táxons incluídos na ordem Characiformes, enquanto que, na zona fluvial a maior abundância foi de larvas de *Pterodoras granulosus*, considerada uma espécie migradora (Tabela II).

Tabela II - Enquadramento taxonômico e densidades médias (ind./10m<sup>3</sup>) dos táxons de larvas de peixes capturadas nos gradientes longitudinal e lateral do reservatório de ITAIPU, no período de outubro a março de 2009 a 2016. (\*) identificação em nível de ordem; (\*\*) identificação em nível de família; (\*\*\*) não identificadas; (#) migrador de longa distância.

Táxons	Lacustre	Transição	Fluvial	Região I	Região II	Região III
<b>CLUPEIFORMES</b>						
<b>Clupeidae</b>						
<i>Platanichthys platana</i> (Regan, 1917) - “sardinha”			<0,01	<0,01		
<b>*CHARACIFORMES</b>	<b>1,23</b>	<b>4,26</b>	<b>1,97</b>	2,73	1,82	2,83
<b>**Anostomidae</b>	<0,01	0,01	0,29	0,24	<0,01	0,01
<b>Bryconinae</b>						
# <i>Brycon orbignuanus</i> (Valenciennes, 1850) - “piracanjuba”		<0,01	<0,01	<0,01		
# <i>Salminus</i> spp. - “dourado, tabarana”		<0,01		<0,01		
<b>Characidae</b>						
<b><i>Incertae sedis</i></b>						
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)- “peixe-cachorro”		0,02			0,02	<0,01
<i>Hyphessobrycon eques</i> (Steindachner, 1882) - “mato-grosso”		<0,01	<0,01	0,01	<0,01	
<i>Moenkhausia</i> spp. - “lambari”		<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01
<i>Moenkhausia</i> aff. <i>intermedia</i> Eigenmann, 1908 - “lambari”	0,05	0,07	0,08	0,06	0,04	0,10
<b>Aphyocharacinae</b>						
<i>Aphyocharax</i> spp. - “piquirá”	<0,01		0,04	<0,01	0,02	0,02
<b>Characinae</b>						
<i>Roeboides descalvadensis</i> Fowler, 1932 - “dentado”	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
<b>Cheirodontinae</b>						
<i>Serrapinus</i> sp. 2 - “piabinha”			<0,01			<0,01
<b>Stervardiinae</b>						
<i>Bryconamericus</i> spp. - “piquirá”	0,16	0,15	0,36	0,38	0,18	0,07

<b>Táxons</b>	<b>Lacustre</b>	<b>Transição</b>	<b>Fluvial</b>	<b>Região I</b>	<b>Região II</b>	<b>Região III</b>
<i>Diapoma guarani</i> (Mahnert & Géry, 1987) - “lambarizinho”	0,19	0,03	<0,01	0,13	0,04	0,01
<b>Cynodontidae</b>						
<sup>#</sup> <i>Rhaphiodon vulpinus</i> Spix & Agassiz, 1829 - “cachorra”		<0,01	<0,01	0,01		
<b>Erythrinidae</b>						
<i>Hoplias</i> spp. (grupo lacerdae) - “traíra”	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
<b>**Hemiodontidae</b>						
<i>Hemiodus orthonops</i> Eigenmann & Kennedy, 1903 - “bananinha”		<0,01	<0,01	<0,01		
<b>Parodontidae</b>						
<i>Apareiodon</i> spp. - “canivete”	0,03	0,10	0,22	0,22	0,08	0,03
<b>Prochilodontidae</b>						
<sup>#</sup> <i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836) - “curimba”			<0,01		<0,01	<0,01
<b>Serrasalmidae</b>						
<i>Serrasalmus</i> spp. - “piranha”	0,04	0,01	<0,01	0,02	0,02	0,01
<b>GYMNOTIFORMES</b>						
<b>Gymnotidae</b>						
<i>Gymnotus</i> spp. - “tuvira, morenita”		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
<b>*SILURIFORMES</b>	0,01	0,17	<0,01	0,10	0,11	
<b>Auchenipteridae</b>						
<i>Ageneiosus inermis</i> (Linnaeus, 1766) - “palmito”			<0,01	<0,01		
<i>Auchenipterus osteomystax</i> (Miranda-Ribeiro, 1918) - “palmito”	<0,01	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04
<i>Parauchenipterus galeatus</i> (Linnaeus, 1766) - “cangati”			0,03	0,02		<0,01
<b>Cetopsidae</b>						
<i>Cetopsis gobioides</i> Kner, 1858 - “candiru”			<0,01	<0,01		
<b>Doradidae</b>		<0,01		<0,01		
<sup>#</sup> <i>Pterodoras granulosus</i> (Valenciennes, 1821) - “armado”		<b>1,92</b>	<b>2,18</b>	<b>3,41</b>	0,02	<0,01
<b>Heptapteridae</b>						

<b>Táxons</b>	<b>Lacustre</b>	<b>Transição</b>	<b>Fluvial</b>	<b>Região I</b>	<b>Região II</b>	<b>Região III</b>
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824) - “jundiá”		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
<b>Loricariidae</b>						
<b>Loricariinae</b>						
<i>Loricariichthys platymetopon</i> Isbrücker & Nijssen, 1979 - “cascudo- <i>Loricariichthys</i> spp. - “cascudo-chinelo”	<0,01		<0,01	<0,01		<0,01
<b>**Pimelodidae</b>		0,11	0,02	0,11	<0,01	
<i>Hypophthalmus oremaculatus</i> Nani & Fuster, 1947- “mapará”	<b>7,49</b>	<b>15,57</b>	<b>1,68</b>	<b>16,99</b>	3,11	0,98
<i>Pimelodus</i> spp. - “mandi”		<0,01	<0,01	<0,01		
# <i>Pinirampus pirinampu</i> (Spix & Agassiz, 1829) – “barbado”		<0,01	<0,01	0,01		
# <i>Pseudoplatystoma</i> spp. - “pintado, cachara”		0,02	<0,01	0,02		
# <i>Sorubim lima</i> (Bloch & Shneider, 1801) – “surubim”		<0,01	<0,01	<0,01		
<b>SYNBRANCHIFORMES</b>						
<b>Synbranchidae</b>						
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795 - “muçum”	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01
<b>PLEURONECTIFORMES</b>						
<b>Achiridae</b>						
<i>Catathyridium jenynsii</i> (Günther, 1862) - “linguado”	0,03	0,06	0,02	0,07	0,03	0,01
<b>**Cichlidae</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>CYPRINODONTIFORMES</b>						
<b>INCERTAE SEDIS</b>						
<b>Sciaenidae</b>						
<i>Plagioscion squamosissimus</i> (Heckel, 1840) - “corvina”	<b>0,35</b>	<b>0,67</b>	0,08	<b>0,78</b>	<b>0,12</b>	0,02
<b>Larvas Recém eclodidas***</b>	<0,01	<0,01	0,03	0,03	0,01	0,01
<b>Número de táxons</b>	19	32	38	38	26	27

### 3.2 Variáveis Ambientais

De maneira geral, os valores das variáveis ambientais não apresentaram grandes oscilações durante todo o período de estudo, sendo que o pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura da água (TA) apresentaram valores médios mais elevados nos períodos IV e I. Nos gradientes longitudinais verificamos que a temperatura da água diminuiu na zona fluvial e no gradiente lateral, as três variáveis (pH, OD e TA) diminuíram na região III, região com maior influência lítica do rio (Fig. 3A, C e E).

Em relação à condutividade elétrica, turbidez e precipitação verificamos que no geral estas variáveis diminuíram os valores médios até o período III e apresentaram aumento expressivo no período V. Nos gradientes longitudinais, a condutividade elétrica diminuiu em direção a zona fluvial, a turbidez aumentou e a precipitação apresentou pequeno aumento nas zonas transição e fluvial. Já na análise lateral, verificamos aumento da condutividade elétrica e precipitação em direção à região III (Fig. 3B, D e F).



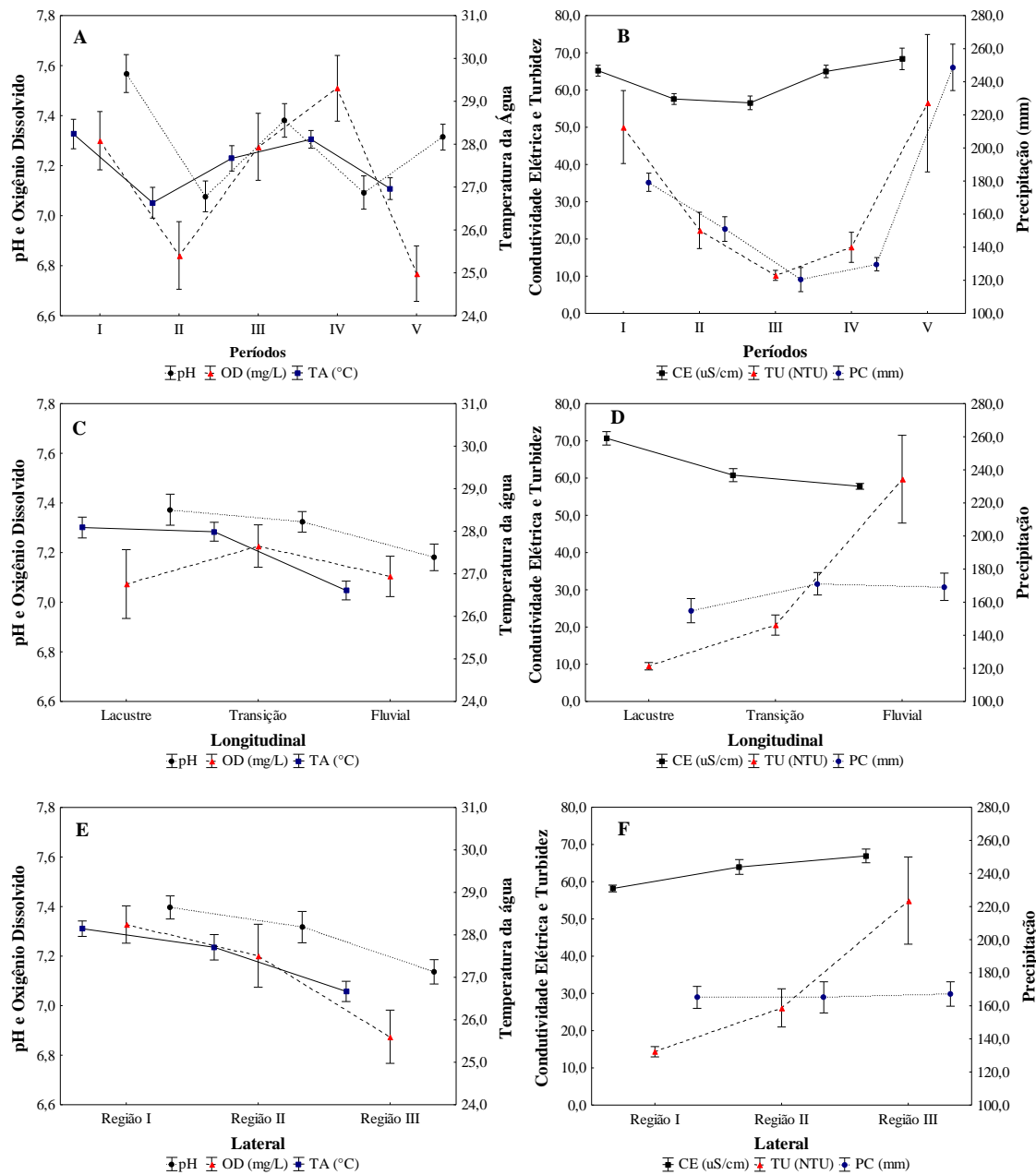


Fig. 3 - Valor médio (ícones) e erro padrão (barras) do pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez e precipitação por períodos (A e B), gradientes longitudinais (C e D) e gradientes laterais (E e F) nos braços do reservatório de Itaipu, durante o período de 2009 a 2016. (pH: pH; OD: oxigênio dissolvido (mg/L); TA: temperatura da água (°C), CE: condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); TU: turbidez da água (NTU) e PC: precipitação (mm)).

As cotas do reservatório de Itaipu apresentaram-se elavadas, com pouca variação entre os anos de 2009 e início de 2012, correspondendo aos períodos I, II e III, sendo que, os meses que antecederam o período I, principalmente o primeiro trimestre foi de cota baixa. Dê abril de 2012 à setembro de 2014 não foram realizadas coletas e o reservatório passou por grandes

variações. O período IV foi caracterizado por uma crescente elevação no nível da água e uma nova diminuição da cota ocorreu entre os períodos IV e V, sendo o período V de cotas altas (Fig. 4).

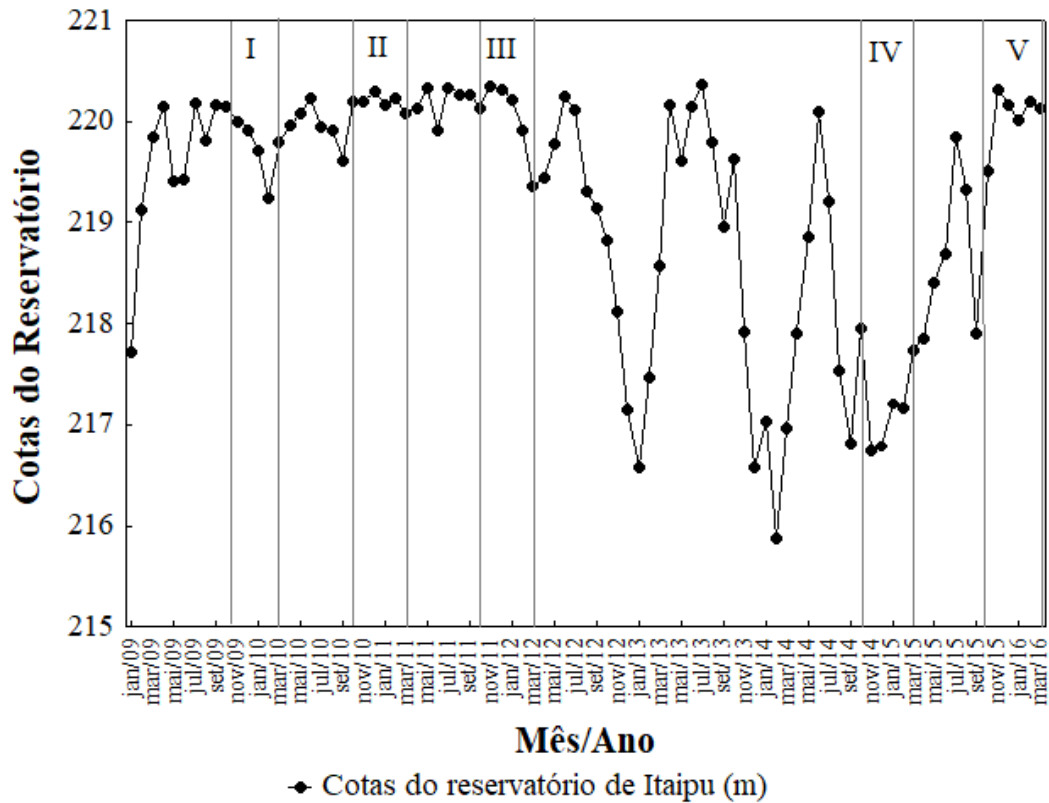


Fig. 4 – Valor médio (ícones) das cotas mensais registradas no reservatório de Itaipu durante o período de janeiro de 2009 a março de 2016.

### 3.3 Estrutura Funcional da Assembleia de Larvas de Peixes

O primeiro eixo da RLQ entre os braços do reservatório preservou 63% da co-inércia dos dados ambientais e traços funcionais, e o segundo 26% (Tabela III; Fig. 5). Pode-se observar no lado positivo do eixo 1 a correlação da turbidez e precipitação com espécies migradoras, como *Pterodoras granulosus*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Prochilodus lineatus* e *Salminus* spp. (Fig. 5A e B). No lado negativo do eixo I verificamos correlação entre o oxigênio dissolvido e espécies insetívoras, como *Bryconamericus* spp., *Roeboides descalvadensis* e *Hyphessobrycon eques*. A *fourth-corner* evidenciou relação significativa ( $p < 0,05$ ) do eixo 1 com os insetívoros.

A análise da RLQ para os períodos mostrou diferenciação total do período IV e maior excentricidade no período V (Fig. 5C). Para o gradiente longitudinal observamos

sobreposição, com pequena excentricidade na zona fluvial em direção a região da ordenação com maior concentração de migradores (Fig. 5D). Também para o gradiente lateral, verificamos uma maior excentricidade, no mesmo sentido das migradoras e onívoras, indicando uma maior disponibilidade de nichos e condições ambientais na região III, para estes traços funcionais, principalmente pela influência da zona fluvial (Fig. 5E).

Tabela III - Resultados da interação entre as tabelas de dados ambientais (**R**), abundância de espécies (**L**) e traços funcionais das espécies (**Q**) para o gradiente longitudinal do reservatório de Itaipu e para a análise dos gradientes laterais da zona lacustre, transição e fluvial. A covariância e a correlação representam a ligação entre as tabelas **R** e **Q**. A porcentagem de co-inércia dos dados ambientais (**R**) e traços funcionais (**Q**) está representada em cada eixo da **RLQ**. A **R/RLQ** e **Q/RLQ** representam a porcentagem de variância das variáveis ambientais e traços das espécies, respectivamente, que foram computadas para os dois primeiros eixos da **RLQ**.

Resultados/Eixos	Geral		Longitudinal/Lateral					
			Lacustre		Transição		Fluvial	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Autovalor	0,42	0,17	1,13	0,27	0,72	0,22	0,37	0,31
Covariância	0,65	0,41	1,06	0,52	0,85	0,46	0,61	0,56
Correlação	0,32	0,24	0,47	0,24	0,35	0,28	0,27	0,40
Inercia Projetada (%)	63,11	25,75	65,44	15,41	67,30	20,45	47,13	39,71
R/RLQ	1,58	2,41	1,79	3,16	1,78	2,58	1,78	2,46
Q/RLQ	2,61	6,24	2,82	6,32	3,32	6,88	2,87	5,80

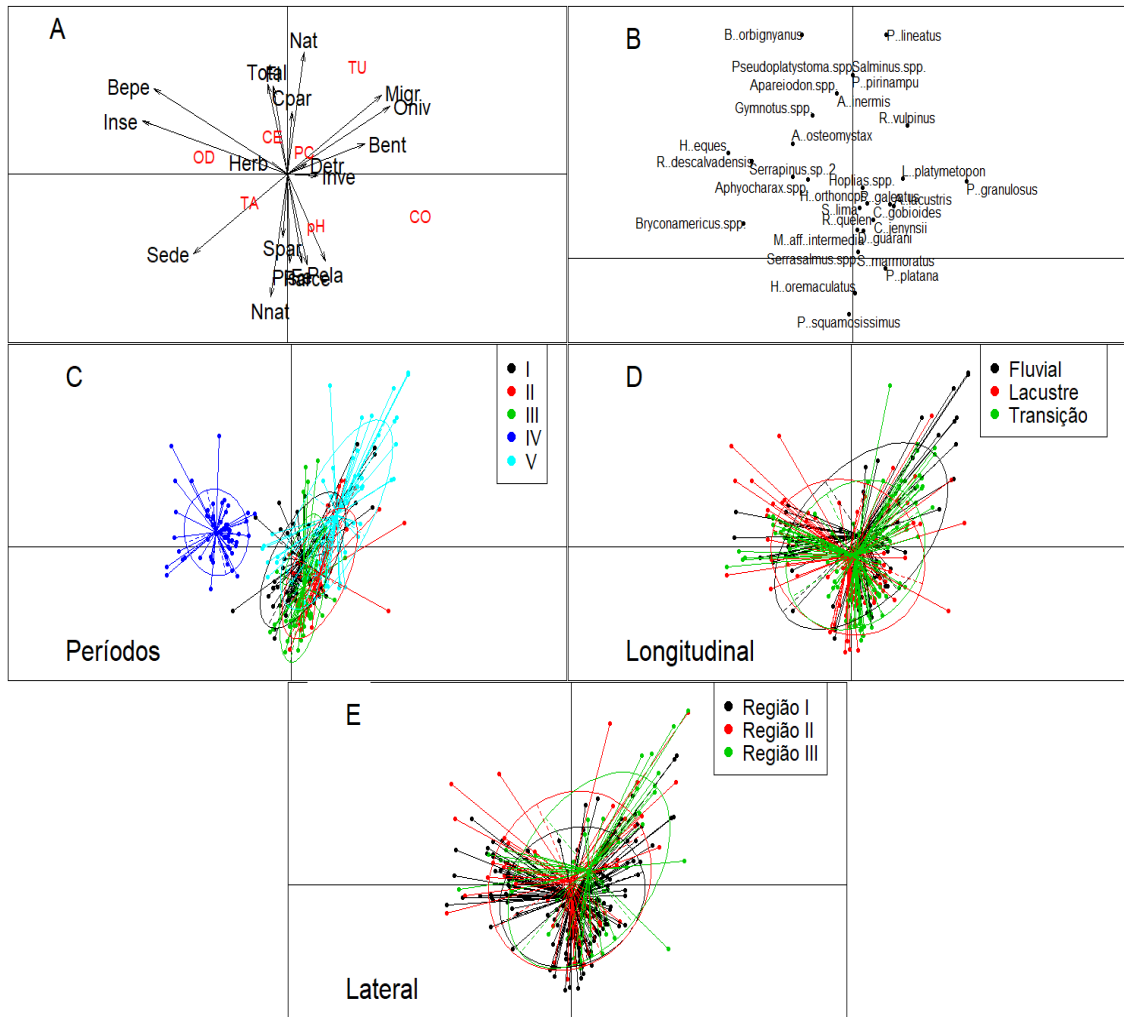


Fig. 5- Resultados da RLQ referentes ao gradiente longitudinal no reservatório de Itaipu. a) Ordenação simultânea das variáveis ambientais e traços das espécies (setas); b) Ordenação das espécies resultante da interpretação simultânea dos conjuntos de dados ambientais (R), abundância de espécies (L) e traços (Q); c) Ordenação entre os períodos, d) Ordenação entre as zonas do gradiente longitudinal e e) Ordenação entre as regiões do gradiente lateral. (Detr = detritívoro; Herb = herbívoro; Inse = insetívoro; Inve = invertívoro; Oniv = onívoro; Pisc = piscívoro; Migr = migrador; Sede = sedentário; Bent = bentônico; Bepe = bentopelágico; Pela = pelágico; Spar = sem cuidado parental; Cpar = com cuidado parental; Fe = fecundação externa; Fi = fecundação interna; Parce = desova parcelada; Total = desova total; Nat = nativo; Nnat = não nativo) (TA = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = pH; CE = condutividade elétrica; TU = turbidez; PC = precipitação; CO = cota do reservatório)

Especificamente dentro da zona lacustre, o primeiro eixo da RLQ preservou 65% da co-inércia dos dados ambientais e traços funcionais e o segundo, 15% (Tabela III; Fig. 6). No lado negativo do eixo 1 verificamos correlação entre o oxigênio dissolvido e as espécies bentopelágicas e insetívoras (*Bryconamericus* spp. e *Roeboides descalvadensis*) (Fig. 6A e B). A *fourth-corner* evidenciou relação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as espécies insetívoras, bentopelágicas e pelágicas com o eixo 1. A análise da RLQ entre os períodos (Fig. 6C) novamente diferenciou o período IV e mostrou diferenciação no período I e entre as regiões da zona lacustre (Fig. 6D) mostrou diferenciação na região I.

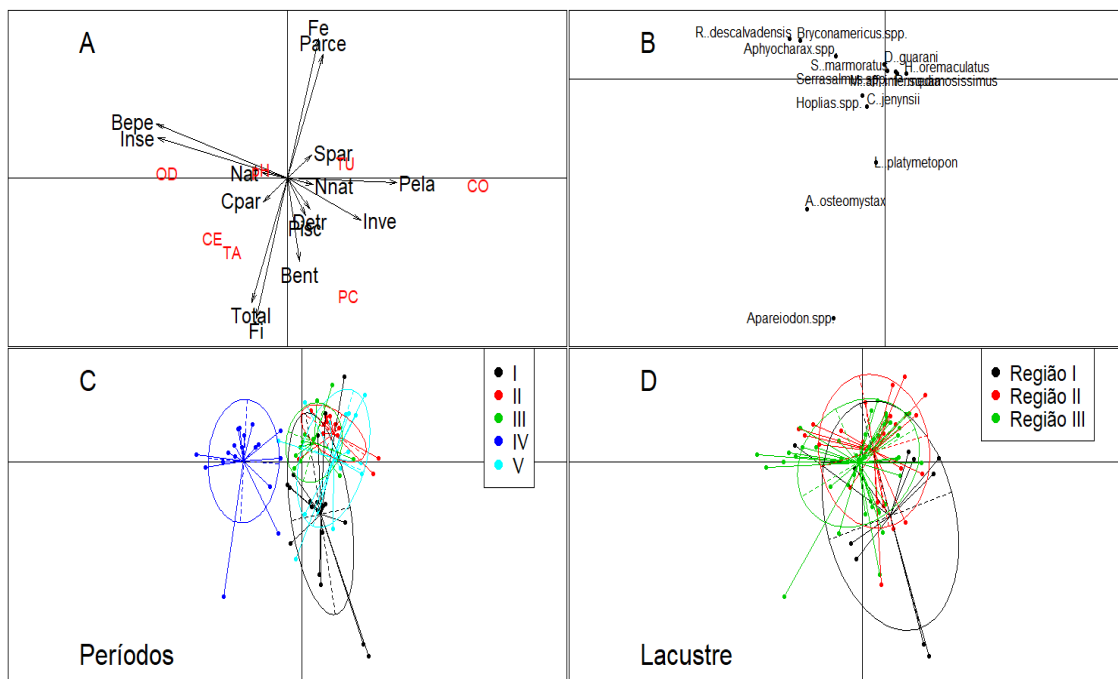


Fig. 6 - Resultados da RLQ referentes ao braço localizado na zona lacustre do gradiente longitudinal na região do reservatório de Itaipu. a) Ordenação simultânea das variáveis ambientais e traços das espécies (setas); b) Ordenação das espécies resultante da interpretação simultânea dos conjuntos de dados ambientais (R), abundância de espécies (L) e traços (Q); c) Ordenação entre os períodos e d) Ordenação entre as regiões da zona lacustre. (Detr = detritívoro; Herb = herbívoro; Inse = insetívoro; Inve = invertívoro; Oniv = onívoro; Pisc = piscívoro; Migr = migrador; Sede = sedentário; Bent = bentônico; Bepe = bentopelágico; Pela = pelágico; Spar = sem cuidado parental; Cpar = com cuidado parental; Fe = fecundação externa; Fi = fecundação interna; Parce = desova parcelada; Total = desova total; Nat = nativo; Nnat = não nativo) (TA = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = pH; CE = condutividade elétrica; TU = turbidez; PC = precipitação; CO = cota do reservatório)

O primeiro eixo da RLQ dentro da análise da zona de transição preservou 67% da co-inércia dos dados ambientais e traços funcionais, e o segundo, 20% (Tabela III; Fig. 7). No lado positivo do eixo 1 verificamos correlação entre as espécies migradoras e onívoras (*P. granulosus*) com a turbidez da água (Fig. 7A e B). A análise *fourth-corner* não evidenciou relação significativa ( $p < 0,05$ ). Na análise espacial da ordenação verificamos que houve diferenciação entre os períodos, principalmente no período IV, influenciado pelo oxigênio dissolvido e no período V, influenciado pela turbidez (Fig. 7C). Entre as regiões da zona de transição, visualizamos diferenciação na região I (Fig. 7D).

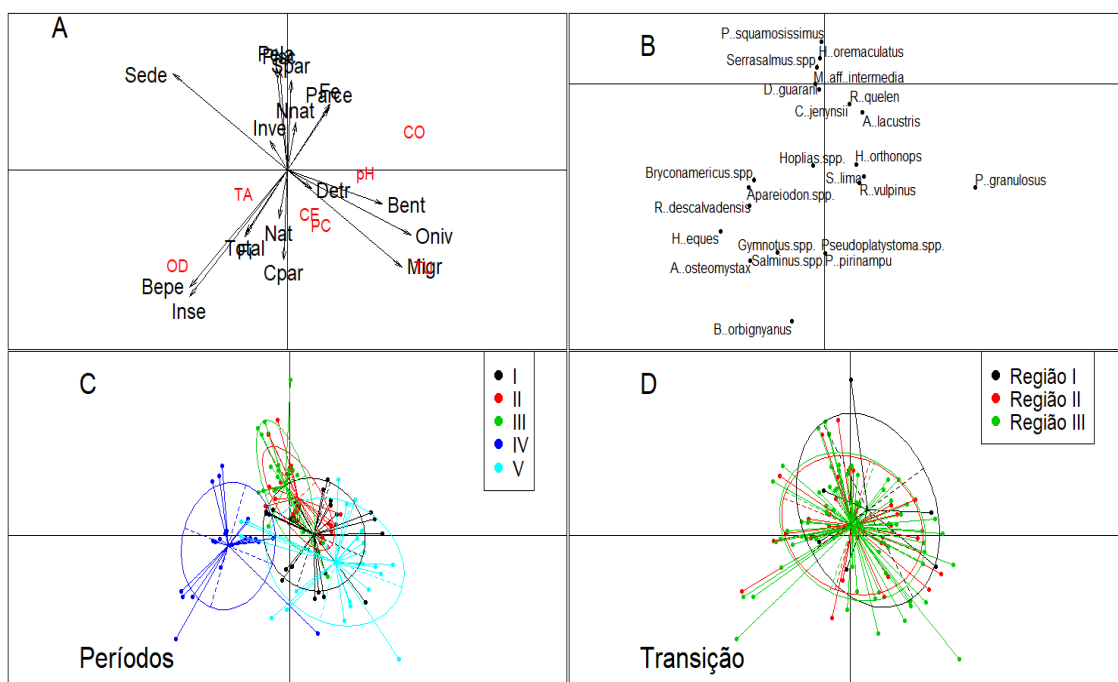


Fig. 7 - Resultados da RLQ referentes ao braço localizado na zona de transição do gradiente longitudinal na região do reservatório de Itaipu. a) Ordenação simultânea das variáveis ambientais e traços das espécies (setas); b) Ordenação das espécies resultante da interpretação simultânea dos conjuntos de dados ambientais (R), abundância de espécies (L) e traços (Q); c) Ordenação entre os períodos e d) Ordenação entre as regiões da zona de transição. (Detr = detritívoro; Herb = herbívoro; Inse = insetívoro; Inve = invertívoro; Oniv = onívoro; Pisc = piscívoro; Migr = migrador; Sede = sedentário; Bent = bentônico; Bepe = bentopelágico; Pela = pelágico; Spar = sem cuidado parental; Cpar = com cuidado parental; Fe = fecundação externa; Fi = fecundação interna; Parce = desova parcelada; Total = desova total; Nat = nativo; Nnat = não nativo) (TA = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = pH; CE = condutividade elétrica; TU = turbidez; PC = precipitação; CO = cota do reservatório)

Na zona fluvial, o primeiro eixo da RLQ preservou 47% da co-inércia dos dados ambientais e traços funcionais, e o segundo 40% (Tabela III; Fig. 8). As espécies nativas ficaram relacionadas com a turbidez, no lado positivo do eixo 1 e as espécies pelágicas foram mais relacionadas pela cota do reservatório, no lado positivo do eixo 2 (Fig. 8A e B). A análise de *fourth-corner* resultou em diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para as espécies bentopelágicas com o eixo 2. Na análise espacial da ordenação novamente verificamos diferença no período IV (Fig. 8C) e entre as regiões verificamos que a região I apresentou uma ordenação diferente das demais (Fig. 8D).

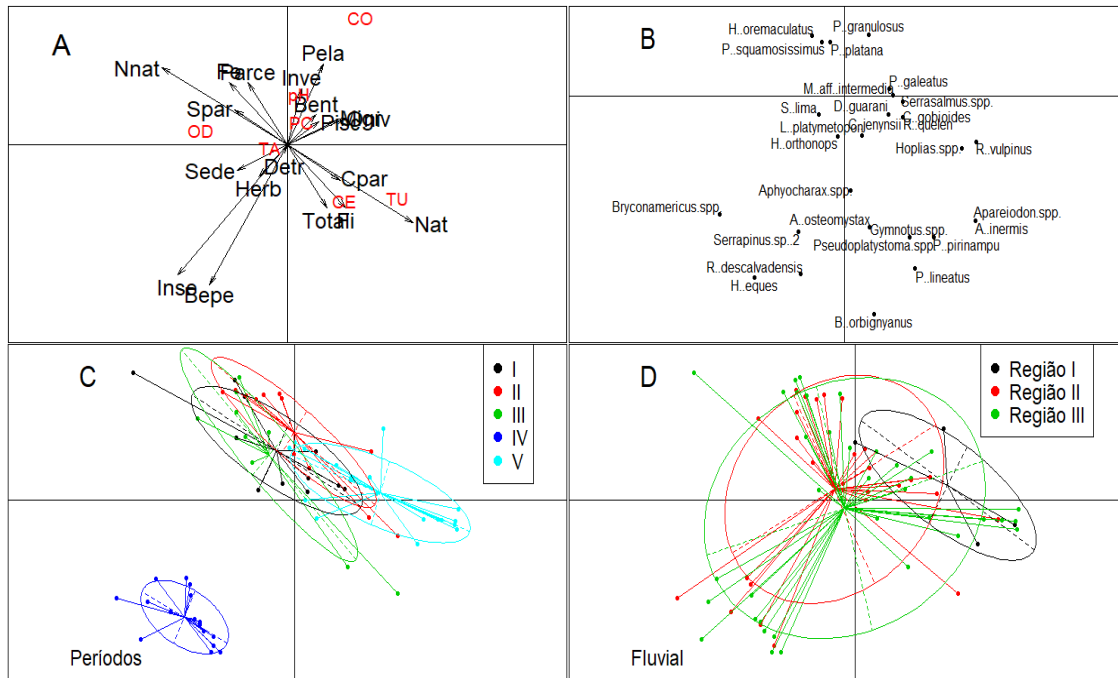


Fig. 8 - Resultados da RLQ referentes ao braço localizado na zona fluvial do gradiente longitudinal na região do reservatório de Itaipu. a) Ordenação simultânea das variáveis ambientais e traços das espécies (setas); b) Ordenação das espécies resultante da interpretação simultânea dos conjuntos de dados ambientais (R), abundância de espécies (L) e traços (Q); c) Ordenação entre os períodos e d) Ordenação entre as regiões da zona fluvial. (Detr = detritívoro; Herb = herbívoro; Inse = insetívoro; Inve = invertívoro; Oniv = onívoro; Pisc = piscívoro; Migr = migrador; Sede = sedentário; Bent = bentônico; Bepe = bentopelágico; Pela = pelágico; Spar = sem cuidado parental; Cpar = com cuidado parental; Fe = fecundação externa; Fi = fecundação interna; Parce = desova parcelada; Total = desova total; Nat = nativo; Nnat = não nativo) (TA = temperatura da água; OD = oxigênio dissolvido; pH = pH; CE = condutividade elétrica; TU = turbidez; PC = precipitação; CO = cota do reservatório)



## 4 DISCUSSÃO

Considerando os gradientes espaciais do reservatório, a composição de espécies mostrou-se distinta tanto nas zonas do gradiente longitudinal quanto nas regiões do gradiente lateral, com maior número de táxons na zona fluvial e na região I. Em termos de densidade, os maiores valores foram de espécies adaptadas à ambientes lênticos, como *H. oremaculatus* e *P. squamosissimus* (Agostinho *et al.*, 2008 e 2016; Panarari-Antunes *et al.*, 2012).

Com um maior número de táxons, a zona fluvial destacou-se pela presença de vários migradores, como *P. granulatus* (a mais abundante), *B. orbignyana* e *Pseudoplatystoma* spp. (em menores densidades). Esse maior número de táxons da zona fluvial está relacionado à influência do trecho lótico remanescente da planície de inundação logo acima do reservatório (região do Parque Nacional de Ilha Grande) (Oliveira *et al.*, 2005). De acordo com Agostinho *et al.* (2016), as condições da zona fluvial são semelhantes às da região de planície com relação às características de fluxo, menor profundidade, entrada de matéria alóctone, elevada turbidez, condutividade elétrica e predomínio de processos de transporte de sedimentos (características limnológicas do rio formador). Tais características favorecem a presença de espécies reofílicas e migradoras, que no período reprodutivo possivelmente procuram o interior do braço para desovar, o que está relacionado com maior riqueza de espécies (Agostinho *et al.*, 2007).

Ressaltamos que não é possível descartar a hipótese de que as larvas de peixes migradores capturadas neste braço sejam oriundas também de populações residentes no trecho lótico remanescente do seu rio formador que, nesse caso, estariam desovando nesses trechos e os seus ovos e larvas derivariam para jusante. Essa hipótese ganha força e poderia ser a explicação da presença de larvas de peixes migradores no braço São Francisco Falso (zona de transição), onde é praticamente nula a influência da planície e a presença de espécies reofílicas e migradoras seria menos favorecida devido à ausência de estímulos externos. Como velocidade de fluxo e nível, consideradas essenciais para iniciar a desova de peixes migradores (Lopes *et al.*, 2018).

No trecho lacustre, em termos de abundância, os resultados foram similares aos obtidos para o trecho de transição com ocorrência de espécies adaptadas à ambientes lênticos (*H. oremaculatus* e *P. squamosissimus*, conforme discutido anteriormente) e sedentárias de pequeno porte (Characiformes), espécies favorecidas em reservatórios (Eloranta *et al.*, 2016).

A influência dos fatores ambientais sobre as abundâncias foi evidenciada pelas análises de ordenação da RLQ, que avaliaram simultaneamente os conjuntos de dados ambientais (R),

abundância das espécies (L) e traços funcionais (Q). Esta análise demonstrou a relação das variáveis ambientais precipitação e turbidez, principalmente no período V (no qual foi verificada as maiores médias dessas variáveis) com a reprodução das espécies migradoras. O regime de chuvas é descrito como umas das mais importantes variáveis ambientais modulatórias da reprodução dos peixes tropicais (Vazzoler & Menezes, 1992), enquanto que, o aumento da turbidez torna-se favorável à sobrevivência das fases iniciais pois fornece proteção contra predadores visuais (Rowe *et al.*, 2003).

Estudos afirmam que rios modificados em ambientes lênticos podem trazer impactos negativos para a reprodução de peixes migradores (Arantes *et al.*, 2010), no entanto, a existência de larvas destas espécies comprova a ocorrência de desova. Vários autores discutem a importância das amplitudes e duração das enchentes para a reprodução de espécies migradoras (Suzuki *et al.*, 2009), mas estas espécies respondem de formas diferentes às mudanças do ciclo hidrológico e à regulação de fluxo, sendo tais mudanças uma das principais ameaças à estas espécies (Oliveira *et al.*, 2015).

As condições ambientais que mais influenciaram o período V, como maior precipitação, turbidez e elevação da cota do reservatório também influenciaram a ordenação da RLQ, com separação da zona fluvial em relação às demais. Esses resultados indicam que não existe uma diferenciação clara entre as zonas lacustre e transição em relação à abundância e categorias funcionais nestes locais, ou seja, as mesmas espécies utilizam essas regiões para a desova. Já a diferenciação da zona fluvial indica a maior ocorrência de determinadas espécies e grupos funcionais, o que estaria relacionado às maiores abundâncias de *P. granulatus*, que apresenta grande capacidade migratória (Makrakis *et al.*, 2007).

As ordenações da RLQ para as três zonas do gradiente longitudinal mostraram uma diferenciação nítida do período IV, o que pode estar relacionada aos baixos níveis da cota do reservatório juntamente com menor precipitação e turbidez da água. Neste período foi observada influência nas ocorrências de grupos funcionais sedentários e insetívoros, composto por espécies como *H. eques*, *Bryconamericus* spp. e *Apareiodon* spp. O favorecimento destas espécies pode estar relacionado à maior disponibilidade de nichos e recursos junto às margens do reservatório gerados devido ao menor nível, que com menor profundidade permite o desenvolvimento de vegetação marginal, e juntamente com a redução da turbidez da água, proporciona também o aumento na produtividade primária e secundária. A regulação do fluxo não altera apenas a disponibilidade de recursos, mas também indiretamente as condições abióticas sob as quais os recursos são utilizados (Hirsch *et al.*, 2017).

Quando analisamos isoladamente as distribuições de larvas em cada braço, a RLQ indica que as variáveis ambientais influenciam de modo distinto a reprodução das espécies. Na zona lântica não verificamos a influência da cota e precipitação nas distribuições, possivelmente pelas capturas predominantes de espécies sedentárias. Já na zona de transição, notamos a influência da turbidez para as espécies migradoras (*S. lima*, *R. vulpinus*, *P. granulosus*, *Pseudoplatystoma* spp. e *P. pirinampu*) e na zona lótica, a turbidez favoreceu *P. lineatus* e também, juntamente com a precipitação, espécies migradoras e piscívoras *P. pirinampu*, *Pseudoplatystoma* spp. e *R. vulpinus*.

Já a análise espacial do gradiente lateral observamos padrão oposto ao gradiente longitudinal, no qual o maior número de táxons foi registrado na zona fluvial. Nossos resultados mostraram diferenciação da região I dos braços localizados nas três zonas analisadas, o que pode estar relacionado às maiores ocorrências de larvas neste trecho, tanto em número de indivíduos quanto em composição dos grupos funcionais.

Devido à maior influência dos trechos lóticos dos tributários, era esperada maior presença de desova das espécies migradoras na região III, à exemplo do verificado no braço localizado na zona fluvial, uma vez que a maior disponibilidade de ambientes heterogêneos nos trechos lóticos aumenta a disponibilidade de nichos a serem explorados pelos peixes. Entretanto, somente larvas de *P. lineatus* foram capturadas na região III, no trecho fluvial.

De maneira geral, a região III apresentou a mesma influência das variáveis ambientais que predominaram no período V, no entanto, neste caso não observamos relação com as espécies migradoras, já que estas foram mais abundantes na região I. Este fato não indica necessariamente a ocorrência de desova destas espécies nesse local de maior influência lântica, já que estas precisam de vários estímulos externos como velocidade de fluxo e nível para iniciar as desovas (Lopes *et al.*, 2018). Neste caso, é mais provável que a desova esteja ocorrendo nas áreas lóticas remanescentes dos rios e as larvas derivem para os trechos mais lânticos (região I e II), onde encontram ambientes estruturados que lhes fornecem abrigo e alimento. Embora a regulação do nível da água em reservatórios resulte na perda de locais adequados para a desova e desenvolvimento inicial de peixes aumentando a mortalidade do ictioplâncton (Hirsch *et al.*, 2017), a presença de vegetação aquática e troncos submersos (paliteiros) ao longo das áreas amostradas podem conferir a estruturação necessária para o fornecimento de abrigo para as larvas (Gogola *et al.*, 2016).

A ausência de informações sobre as velocidades de fluxo/vazões impedem maiores conclusões acerca da dispersão das larvas nos braços analisados, porém avaliando o grau de desenvolvimento das larvas capturadas (observação pessoal) é possível pressupor que elas

estão se dispersando ao longo dos braços. A grande maioria das larvas de espécies migradoras capturadas nas regiões intermediárias e lênticas (regiões II e I, respectivamente) estava em estágios mais avançados de desenvolvimento, nos quais a capacidade locomotora é maior e, neste caso, a combinação de maior capacidade locomotora e menores velocidades de fluxo nestas regiões aparentemente favorecem a dispersão ativa das larvas dentro dos braços. Lechner *et al.* (2017), encontraram influência significativa do fluxo do rio na deriva das larvas, em que menores descargas e velocidades de fluxo forneceram condições hidráulicas para movimentos ativos e orientados a jusante de larvas e juvenis de *Chondrostoma nasus*.

Dessa maneira, baseado nas ocorrências de larvas de peixes, podemos concluir que a composição dos grupos funcionais das espécies de peixes que reproduzem no reservatório de Itaipu muda ao longo do gradiente longitudinal e que a presença do trecho lótico à montante influencia favoravelmente a reprodução dos peixes dos diversos grupos funcionais analisados.

Verificamos também a influência das variáveis ambientais de forma diferente espacial e temporalmente, mas alguns padrões permaneceram, como a influência da precipitação, turbidez e elevação da cota para as espécies migradoras e cotas mais baixas para as sedentárias e insetívoras, confirmando a nossa primeira hipótese. Já em relação ao gradiente lateral esta diferenciação não foi tão evidenciada, não repetindo o padrão encontrado no gradiente longitudinal. Embora existam mudanças na composição de espécies, estas provavelmente estão mais relacionadas à dispersão das larvas ao longo do braço, podendo concluir que a reprodução das espécies no gradiente lateral está mais relacionada à sua posição no gradiente longitudinal e desta maneira, rejeitando nossa segunda hipótese.

## 5 REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Pelicice, F. M. (2007). *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Eduem, Maringá.
- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M. & Gomes, L. C. (2008) Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* **68**: 1119–1132. doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Santos, N. C. L., Ortega, J. C. G., Pelicice, F. M. (2016) Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research* **173**, 26–36. doi.org/10.1016
- Arantes, C. C., Castello, L., Stewart, D. J., Cetra, M. & Queiroz, H. L. (2010) Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. *Ecology of Freshwater Fish* **19**: 455-465. doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00431.x
- Araújo, E. S., Marques, E. E., Freitas, I. S., Neuberger, A. L., Fernandes, R., Pelicice, F. M. (2013) Changes in distance decay relationships after river regulation: similarity among fish assemblages in a large Amazonian river. *Ecology of Freshwater Fish* **22**:543–552. doi: 10.1111/eff.12054
- Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA). (2013) *Diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
- Dolédéc, S., Chessel, D., Braak, C. J. F., Champely, S. (1996) Marching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics* **3**:143-166.
- Dray, S., & Dufour, A. B. (2007) The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* **22**:1–20. doi:10.18637/jss.v022.i04
- Eloranta, A. P., Sánchez-Hernández, J., Amundsen, P. A., Skoglund, S., Brush, J. M., Henriksen, E. H. & Power, M. (2016) Water level regulation affects niche use of a lake top predator, Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Ecohydrology* **10**: e1766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.268>
- Gauch Jr., H. C. (1982) *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge: Cambridge University.
- Gogola, T. M., Daga, P. S., Gubiani, É. A., Silva, P. R. L. & Sanches, P. V. (2016) The role of submerged trees in the early development of fishes in a Neotropical reservoir. *Journal of Fish Biology* **89**: 355-368. doi:10.1111/jfb.12966
- Greenacre, M. J. (1984) *Theory and applications of correspondence analysis*. London: Academic Press.
- Hill, M. O., & Smith, A. J. E. (1976) Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. *Taxon* **25**: 249-255.
- Hirsch, P. E., Eloranta, A. P., Amundsen, P. A., Brabrand, Å., Charmasson, J., Helland, I. P. & Yang, H. (2017) Effects of water level regulation in alpine hydropower reservoirs: an ecosystem perspective with a special emphasis on fish. *Hydrobiologia* **794**, 287–301. doi: 10.1007/s10750-017-3105-7
- Kruk, A. & Penczak, T. (2003) Impoundment impact on populations of facultative riverine fish. *International Journal of Limnology* **39**: 197–210. doi: 10.1051/limn/2003016

- Lechner, A., Keckeis, H., Glas, M., Tritthart, M., Habersack, H., Andorfer, L. & Humphries, P. (2017) The influence of discharge, current speed, and development on the downstream dispersal of larval nase (*Chondrostoma nasus*) in the River Danube1. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **75**: 247-259. doi.org/10.1139/cjfas-2016-0340
- Legendre, P., Galzin, R. & Harmelin-Vivien, M. L. (1997) Relating behavior to habitat: solutions to the fourth-corner problem. *Ecology*, **78**, 547–562. doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[0547:RBTHST]2.0.CO;2
- Liermann, C. R., Nilsson, C., Robertson, J. & NG, R. Y. (2012) Implications of Dam Obstruction for Global Freshwater Fish Diversity. *BioScience* **62**, 539-548. doi:10.1525/bio.2012.62.6.5
- Lopes, J. de M., Alves, C. B. M., Peressin, A. & Pompeu, P. S. (2018) Influence of rainfall, hydrological fluctuations, and lunar phase on spawning migration timing of the Neotropical fish *Prochilodus costatus*. *Hydrobiologia* **818**:145-161. doi.org/10.1007/s10750-018-3601-4
- Makrakis, M. C., Miranda, L. E., Makrakis, S., Fernandez, D. R., Garcia, J. O. & Dias, J. H. P. (2007) Movement patterns of armado, *Pterodoras granulosus*, in the Parana´ River Basin. *Ecology of Freshwater Fish* **16**: 410–416. doi: 10.1111/j.1600-0633.2007.00238.x
- McLaughlin, R. L., Porto, L., Noakes, D. L. G., Baylis, J. R., Carl, L. M., Dodd, H. R., Goldstein, J. D., Hayes, D. B., Randall, R. G. (2006) Effects of low-head barriers on stream fishes: Taxonomic affiliations and morphological correlates of sensitive species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **63**: 766–779. doi: 10.1139/f05-256
- Muniz, C. M. (2017) Composição funcional em reservatórios: Seleção de traços da assembleia de peixes com o envelhecimento. <http://ictioparasito.nupelia.uem.br/Teses%20e%20dissertacoes.html>
- Nakatani, K., Agostinho, A. A., Baumgartner, G., Bialezki, A., Sanches, P. V., Makrakis, M. C. & Pavanelli, C. S. (2001) *Ovos e larvas de peixes de água doce*: desenvolvimento e manual de identificação. Maringá: EDUEM.
- Oliveira, E. F., Goulart, E. & Minte-Vera, C. V. (2004) Fish diversity along spatial gradients in the Itaipu reservoir, Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Biology* **64**: 447-458. doi.org/10.1590/S1519-69842004000300008
- Oliveira, E. F. de, Minte-Vera, C. V. & Goulart, E. (2005) Structure of fish assemblages along spatial gradients in a deep subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay border). *Environmental Biology of Fishes* **72**: 283–304. doi:10.1007/s10641-004-2582-5
- Oliveira, A. G. Suzuki, H. I., Gomes, L. C. & Agostinho, A. A. (2015) Interspecific variation in migratory fish recruitment in the Upper Paraná River: effects of the duration and timing of floods. *Environmental Biology of Fishes* **98**:1327–1337 doi: 10.1007/s10641-014-0361-5
- Ota, R. R., Deprá, G. de C., Graça, W. J., Pavanelli, C. S. (2018) Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes: revised, annotated and updated. *Neotropical Ichthyology* **16**: e170094. doi:10.1590/1982-0224-20170094.
- Panarari-Antunes, R. S., Prioli, A. J., Prioli, S. M., Gomes, V. N., Júlio, H. F. Jr., Agostinho, C. S., Silva Filho, J. P., Boni, T. A. & Prioli, L.M. (2012) Genetic divergence among invasive and native populations of *Plagioscion squamosissimus* (Perciformes, Sciaenidae) in Neotropical regions. *Journal of Fish Biology* **80**:2434-47. doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03290.x.
- R Core Team (2017) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>

- Rosada, B. H. P., Dias, A. T. C & Mattos, E. A. (2013) Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying Communities and Ecosystems. *Natureza e Conservação* **11**:15-22. doi.org/10.4322/natcon.2013.002
- Rowe, D., Graynoth, E., James, G., Taylor, M. & Hawke, L. (2003) Influence of turbidity and fluctuating water levels on the abundance and depth distribution of small, benthic fish in New Zealand alpine lakes. *Ecology of Freshwater Fish* **12**: 216–227. doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00024.x
- Suzuki, H. I., Agostinho, A. A., Bailly, D., Gimenes, M. F., Júlio-Junior, H. F. & Gomes, L. C. (2009) Inter-annual variations in the abundance of young-of-the-year of migratory fishes in the Upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. *Brazilian Journal of Biology* **69**: 649-660. doi.org/10.1590/S1519-69842009000300019
- Tanaka, S. (1973) Stock assessment by means of ichthyoplankton surveys. *FAO Fisheries Technical Paper* **122**: 33-51.
- Thornton, K. W. (1990) Perspectives on reservoir limnology. In *Reservoir limnology: ecological perspectives* (Thornton, K. W., Kimmel, B. L. & Payne F. E. eds.), New York: John Wiley & Sons.
- Vazzoler, A. E. A. de M. & Menezes, N. A. (1992) Síntese do conhecimento sobre o comportamento reprodutivo dos Characiformes da América do Sul (Teleostei, Ostariophysi). *Revista Brasileira de Biologia* **52**: 627-640.
- Vitule, J. R. S., Sko´ra, F. & Abilhoa, V. (2012) Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. *Diversity and Distributions* **18**: 111–120. doi: 10.1111/j.1472-4642.2011.00821.x
- Weeb, C. T.; Hoeting, J. A., Ames, G. M., Pyne, M. I & Poff, N. L. (2010) A structured and framework to advance traits-based theory and prediction in ecology. *Ecology Letters* **13**:267-283. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01444.x
- Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Baird, I. G., Darwall, W., Lujan, N. K., Harrison, I., Stiassny, M. L. J., Silvano, R. A. M., Fitzgerald, D. B., Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Albert, J. S., Baran, E., Petrere Jr., M., Zarfl, C., Mulligan, M., Sullivan, J. P., Arantes, C. C., Sousa, L. M., Koning, A. A., Hoeinghaus, D. J., Sabaj, M., Lundberg, J. G., Armbruster, J., Thieme, M. L., Petry, P., Zuanon, J., Torrente Vilara, G., Snoeks, J., Ou, C., Rainboth, W., Pavanelli, C. S., Akama, A., Soesbergen, A. van. & Sáenz, L. (2018) Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong: Basin-scale planning is needed to minimize impacts in mega-diverse rivers. *Science* **351**, 128-129. doi: 10.1126/science.aac7082

## **CAPÍTULO 2 - Simplificação biótica funcional ao longo dos gradientes de um reservatório Neotropical: índices funcionais aplicados à larvas de peixes**

### **RESUMO**

Com base nas ocorrências espaciais e temporais de larvas de peixes e na análise de índices funcionais, avaliamos a possível ocorrência de simplificação biótica funcional ao longo do tempo e nos gradientes longitudinal e lateral do reservatório de Itaipu, a fim de responder as seguintes hipóteses: i) Existe simplificação biótica funcional ao longo do gradiente longitudinal em direção a zona lacustre, ii) A simplificação funcional, caso exista, também seguirá o mesmo padrão no gradiente lateral. Foram avaliados três braços da margem esquerda, distribuídos ao longo do gradiente longitudinal do reservatório de Itaipu (zonas: lacustre, transição e fluvial), enquanto que para a análise do gradiente lateral, cada braço foi dividido em três regiões de acordo com a distância da área de influência do reservatório, sendo região I, próxima do corpo central, região II, intermediária entre o reservatório e o trecho lótico e III próximo ao trecho lótico do braço. As coletas foram realizadas mensalmente, entre outubro e março, no período de 2009 a 2016, totalizando cinco períodos. As amostragens foram realizadas com rede de plâncton, equipadas com fluxômetro e no período noturno. Amostras de água foram obtidas para a verificação de algumas variáveis ambientais. Em laboratório as larvas foram avaliadas em relação à algumas características funcionais relacionadas à reprodução, alimentação e ocupação dos estrados da coluna d'água. Os índices funcionais analisados foram riqueza funcional, equitabilidade funcional e entropia quadrática funcional (RaoQ). Análise de variância (ANOVA) foi aplicada para avaliar as densidades de larvas e índices funcionais. Para verificar a inter-relação com as variáveis ambientais aplicou-se a correlação de Pearson. Foram analisadas 51.995 larvas, sendo que as maiores abundâncias ocorreram no período V, nas zonas lacustre e de transição e na região I. Entre os períodos, os maiores índices funcionais ocorreram nos períodos IV e V. Os maiores valores de riqueza funcional foram na zona fluvial e região I, de equitabilidade funcional na zona fluvial, transição e na região I e entropia quadrática funcional na zona fluvial e região II. A precipitação e os níveis do reservatório apresentaram correlação de Pearson significativa. A análise das densidades de larvas revelou que a reprodução dos peixes está altamente influenciada pelas condições ambientais. A posição que o braço ocupa dentro do gradiente longitudinal reflete o grau de impacto dos represamentos sobre a reprodução das populações de peixes, uma vez que o braço localizado na zona lacustre apresentou menores valores de riqueza funcional, equitabilidade funcional e RaoQ, o que indica simplificação biótica funcional, confirmando a nossa primeira hipótese. Já em relação ao gradiente lateral, a ausência de diferença significativa entre as regiões dos braços para os atributos de equitabilidade funcional e RaoQ, mostra que a ocorrência de larvas nos braços não apresenta o mesmo padrão que no gradiente longitudinal, já que a influência do trecho lótico a montante não foi evidente. Assim, verificamos que a composição e distribuição de espécies no gradiente lateral de cada braço está mais relacionada à posição do braço no gradiente longitudinal, e desta maneira, rejeitamos a nossa segunda hipótese formulada.

**Palavras-chave:** Ictioplâncton. Impacto de barramentos. Composição de espécies.



## **ABSTRACT**

Based on the spatial and temporal occurrences of fish larvae and functional index analysis, we evaluated the possible occurrence of functional biotic simplification over time and on the longitudinal and lateral gradients of the Itaipu reservoir, in order to answer the following hypotheses: i ) There is functional biotic simplification along the longitudinal gradient towards the lacustrine zone, ii) Functional simplification, if any, will also follow the same pattern in the lateral gradient. Three arms of the left bank were evaluated, distributed along the longitudinal gradient of the Itaipu reservoir (zones: lacustrine, transition and fluvial), while for the lateral gradient analysis, each arm was divided into three regions according to the distance of the area of influence of the reservoir, region I, near the central body, region II, intermediate between the reservoir and the lotic stretch and III near the lotic stretch of the arm. The collections were carried out monthly, between October and March, in the period from 2009 to 2016, totaling five periods. The samplings were carried out with plankton net, equipped with flow meter and in the nocturnal period. Samples of water were obtained for the verification of some environmental variables. In the laboratory the larvae were evaluated in relation to some functional characteristics related to reproduction, feeding and occupation of the beds of the water column. The functional indexes analyzed were functional richness, functional equitability and functional quadratic entropy (RaoQ). Analysis of variance (ANOVA) was applied to evaluate larval densities and functional indexes. Pearson's correlation was applied to verify the interrelationship with environmental variables. A total of 51,995 larvae were analyzed, with the highest abundances occurring in the V period, in the lacustrine and transition zones, and in the I region. Among the periods, the highest functional indexes occurred in periods IV and V. The highest values of functional wealth were in the zone fluvial and I region, functional equitability in the fluvial zone, transition and region I and functional quadratic entropy in the fluvial zone and region II. Precipitation and reservoir levels showed a significant Pearson correlation. Analysis of larval densities revealed that fish reproduction is highly influenced by environmental conditions. The position that the arm occupies within the longitudinal gradient reflects the degree of impact of the impoundments on the reproduction of the fish populations, since the arm located in the lacustrine zone presented smaller values of functional richness, functional equitability and RaoQ, which indicates simplification functional biotic, confirming our first hypothesis. In relation to the lateral gradient, the absence of significant difference between the arms regions for the functional equitability attributes and RaoQ, shows that the occurrence of larvae in the arms does not present the same pattern as in the longitudinal gradient, since the influence of the stretch upstream was not evident. Thus, we verified that the composition and distribution of species in the lateral gradient of each arm is more related to the position of the arm in the longitudinal gradient, and in this way, we reject our second formulated hypothesis.

**Keywords:** Ichthyoplankton. Impact of dams. Species composition

## 1 INTRODUÇÃO

As alterações físicas provocadas pelos barramentos causam mudanças no regime ecológico, onde um sistema altamente dinâmico e complexo torna-se relativamente homogêneo e menos produtivo (Winemiller *et al.*, 2018). Em geral, as mudanças nas características hidrológicas oriundas da formação de um reservatório trazem consequências negativas para toda a biodiversidade (Fahrig, 2003). Esta condição pode se configurar em um processo de simplificação ecológica, derivada da modificação nos nichos ecológicos que controlam a biodiversidade, e redução das funções do ecossistema que transformam ambientes complexos em homogêneos (Peipoch *et al.*, 2015).

Mudanças ambientais como a formação de reservatórios de usinas hidrelétricas, que é considerada um dos principais impactos em rios, causam alterações drásticas em seu funcionamento (Webb *et al.*, 2010). Neste sentido, a análise dos índices funcionais pode ser útil na avaliação de indicadores dos processos de composição de assembleias, impactos de perturbações e gradientes ambientais oriundos da formação de reservatórios (Villéger *et al.*, 2008; Laliberté & Legendre, 2010).

A análise da diversidade funcional, que é medida pelos traços funcionais das espécies (Violle *et al.*, 2007), é uma das formas de verificar como os impactos das perturbações ambientais afetam as assembleias de peixes (Carmona *et al.*, 2016). Os traços, assim como a diversidade funcional, refletem as relações espécie-ambiente e podem fornecer uma visão considerável das respostas da comunidade frente às mudanças ambientais (Mouillot *et al.*, 2013).

Sabe-se que para a manutenção de populações viáveis é necessário que ocorra o sucesso na reprodução, a qual é dependente da desova, do desenvolvimento larval e do recrutamento (Silva *et al.*, 2017). No entanto, nos ambientes represados ocorre a formação de uma barreira que impede o deslocamento das espécies migradoras para as áreas de desova bem como afeta a deriva das larvas de peixes para as áreas de desenvolvimento (Agostinho *et al.*, 2012; Pelicice *et al.*, 2017). Áreas estas normalmente caracterizadas por serem ambientes complexos e estruturados que oferecem abrigo e alimento abundante para as fases iniciais de desenvolvimento. Neste sentido, a regulação de fluxo e o alagamento de áreas podem se configurar em perturbação ambiental que compromete a reprodução das espécies. Como os peixes serão afetados pela alteração de fluxo dependerá da espécie, época de desova e habitat (Linlökken & Sandlund, 2016).

Além disso, as mudanças decorrentes da formação de grande reservatório também levam a formação de gradientes espaciais, longitudinais e transversais, os quais podem influenciar a composição de espécies (Oliveira *et al.*, 2004). Os gradientes longitudinais, classificados em fluvial, transição e lacustre (Thornton, 1990) estão relacionados às mudanças geomorfológicas, biológicas, físicas e químicas que ocorrem ao longo do leito principal do rio. Enquanto que, os gradientes transversais ocorrem nos braços do reservatório e são resultados das mudanças nos antigos leitos de tributários laterais (região tributário - reservatório) (Oliveira *et al.*, 2004).

Desta maneira, baseados nas ocorrências de larvas e na análise dos índices funcionais das espécies de peixes adultos avaliamos a possível ocorrência de simplificação biótica funcional ao longo do tempo e nos gradientes longitudinal e lateral do reservatório de Itaipu, a fim de responder as seguintes hipóteses: i) existe simplificação biótica funcional ao longo do gradiente longitudinal e esta é mais pronunciada na zona lacustre e menos na zona fluvial ii) a simplificação funcional, caso exista, também seguirá o mesmo padrão no gradiente lateral.

Para buscar responder a essas hipóteses avaliamos as abundâncias de captura de larvas e dos índices funcionais de riqueza, equitabilidade e entropia quadrática de Rao, de modo a verificar os padrões reprodutivos das espécies de peixes ao longo do tempo em três braços distribuídos de acordo com o gradiente longitudinal do reservatório de Itaipu.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

O reservatório de Itaipu, localizado no rio Paraná, faz divisa natural do Brasil com o Paraguai (24°05' e 25°33'S; 54°00' e 54°37'W) e apresenta: área inundada de 1.350 km<sup>2</sup>, extensão de 151 km entre as cidades de Foz do Iguaçu e Guaíra, profundidade média de 22 m (considerando o corpo principal) e máxima de 170 m nas proximidades da barragem, tempo de residência de 40 dias e velocidade da água de até 0,6m/s (Oliveira *et al.*, 2005).

Avaliamos três braços do reservatório: Ocoí, São Francisco Falso e Arroio Guaçu. O Ocoí apresenta, próximo ao reservatório, fundo com lodo, com presença de vegetação aquática enraizada emersa nas margens (capim), sem presença de troncos e mata ciliar recomposta por reflorestamento. Nas regiões de transição e fluvial do braço verificamos, além disso, a presença de troncos submersos (paliteiro) e macrófitas flutuantes.

O São Francisco Falso apresenta, em toda sua extensão, fundo com lodo, presença de vegetação aquática enraizada emersa nas margens (*Egeria densa* e capim) e mata ciliar recomposta por reflorestamento. A medida que se distancia da influência lacustre, apresenta troncos submersos e macrófitas flutuantes (*Pistia stratiotes*, *Salvinia nutans*, *Eicchornia azurea* e *Eicchornia crassipes*).

E o Arroio Guaçu apresenta, na região lântica, fundo com lodo, presença de vegetação aquática enraizada emersa nas margens (*Egeria densa* e capim), macrófitas flutuantes (*Pistia stratiotes*, *Salvinia nutans*, *Eicchornia azurea* e *Eicchornia crassipes*), sem presença de troncos e mata ciliar recomposta por reflorestamento. Na região de transição ocorre a presença de troncos (paliteiros) e na região fluvial, a mata ciliar é composta por vegetação nativa.

## **2.2 Coleta das Larvas de Peixes**

Para a avaliação da atividade reprodutiva das espécies, nossas análises foram realizadas sobre os gradientes longitudinal e lateral do reservatório. Para a determinação do gradiente longitudinal foi utilizada a zonação descrita em Thornton (1990) e Oliveira *et al.* (2004): zona fluvial, transição e lacustre. Nesta análise avaliamos as ocorrências de larvas em três braços (antigos leitos de tributários) do reservatório, sendo o braço Ocoí, São Francisco Falso e Arroio Guaçu, localizados nas zonas lacustre, transição e fluvial, respectivamente (Fig. 1).

Para análise no gradiente lateral foram determinadas em cada braço, três regiões sendo a região I- localizada próxima ao corpo central do reservatório, definida como a mais influenciada por ele; região II- intermediária entre o reservatório e o trecho lótico do rio; e região III- localizada mais distante do corpo central do reservatório, definida como a que recebe maior influência do rio. No braço localizado na zona lacustre, a região I foi representada por 2 pontos de amostragem e as regiões II e III, um ponto de amostragem cada. Nos braços das zonas de transição e fluvial, as regiões I e III foram representadas por dois pontos de amostragem e a região II, apenas um ponto (Fig. 1).

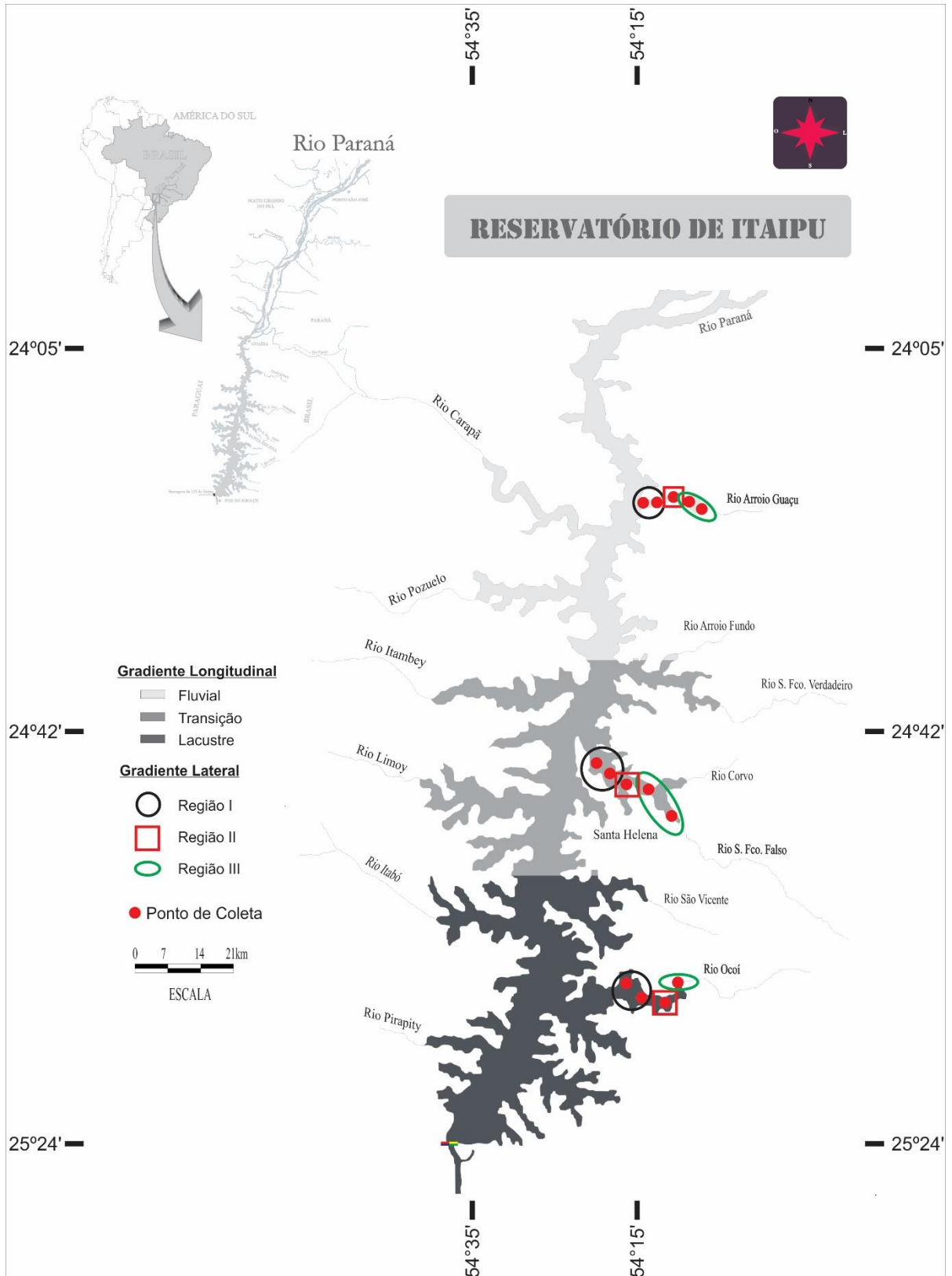


Fig. 1 – Localização dos gradientes longitudinal de acordo com Thornton (1990) e Oliveira *et al.* (2004), gradiente lateral e dos pontos de coleta no reservatório de Itaipu, rio Paraná, Brasil.

As amostragens foram realizadas mensalmente entre outubro e março, em cinco períodos reprodutivos entre os anos de 2009 e 2016 (período I - 2009 a 2010; período II – 2010 a 2011; período III – 2011 a 2012; período IV – 2014 a 2015; período V – 2015 a 2016) utilizando-se redes de plâncton cônico-cilíndricas de malha 0,5 mm equipadas com fluxômetro para a obtenção dos valores de volume de água filtrada (Nakatani *et al.*, 2001). As redes foram arrastadas com o barco em baixa velocidade (aproximadamente 5 km/h), submersas a aproximadamente 10 cm da superfície durante 10 minutos. Todas as coletas foram realizadas durante o período noturno não sendo utilizado nenhum tipo de armadilha ou atrativo luminoso.

As amostras obtidas foram acondicionadas em frascos plásticos, em seguida adicionado hidrocloreto de benzocaína (Anestésico) em conformidade com as diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA (Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal) (CONCEA, 2013) e posteriormente fixadas em formol diluído a 4,0% tamponado com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Concomitantemente às coletas do ictioplâncton foram obtidas amostras de água para a obtenção dos valores de algumas variáveis ambientais como temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), pH, condutividade elétrica (µS/cm) e turbidez (NTU). Valores de precipitação (mm) foram obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná, sendo que os dados da zona lacustre foram obtidos da estação Itacorá (Esquina Gaúcha) no município de Itaipulândia, da zona de transição obtidos da estação São Clemente no município de Santa Helena e os da zona fluvial obtidos da estação Nova Mercedes, no município de Mercedes. Valores de cota do reservatório (m) foram obtidos da própria Itaipu Binacional.

### **2.3 Análise dos Dados**

As abundâncias de larvas de peixes foram padronizadas para volume de 10 m<sup>3</sup> de água filtrada, segundo Tanaka (1973), modificado por Nakatani *et al.* (2001). As larvas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível, conforme Nakatani *et al.* (2001), e aquelas que não apresentaram características que permitissem sua identificação foram enquadradas em nível de ordem ou família.

As características funcionais dos táxons das larvas foram previamente selecionadas levando em consideração as relações dos parentais com as funções ecossistêmicas e da comunidade (Rosada *et al.*, 2013). Seis classes funcionais foram analisadas sendo elas: categoria trófica, realização de migrações reprodutivas, uso do habitat, presença de cuidado parental, tipo de fecundação e tipo de desova (Tabela I). Além disso, categorizamos a origem

dos indivíduos em nativos e não nativos, que apesar de não serem traços funcionais foram incluídas nas análises pela sua importância ecológica (Vitule *et al.*, 2012). Para o enquadramento funcional das espécies utilizamos apenas larvas identificadas no mínimo em nível de gênero, ou seja, larvas identificadas apenas em nível de família ou ordem foram descartadas das análises, pois poderiam apresentar divergências de traços. Os dados foram obtidos na literatura (Anexo) ou estimadas de acordo com a anatomia das espécies (Muniz, 2017).

Tabela I – Classes e categorias dos traços funcionais e origem utilizados nas análises para os táxons de peixes no reservatório de Itaipu.

<b>Classes de Traço</b>	<b>Traço funcional</b>	<b>Sigla</b>
Categoria trófica	Detritívoro	Detr
	Herbívoro	Herb
	Insetívoro	Inse
	Invertívoro	Inve
	Onívoro	Oniv
	Piscívoro	Pisc
Migração (>100 km)	Presente	Migr
	Ausente	Sede
Uso do habitat	Bentônico	Bent
	Bentopelágico	Bepe
	Pelágico	Pela
Cuidado parental	Presente	Cpar
	Ausente	Spar
Fecundação	Externa	Fe
	Interna	Fi
Tipo de desova	Parcelada	Parce
	Total	Total
Origem	Nativo	Nat
	Não nativo	Nnat

Os índices funcionais analisados neste trabalho (Fig. 2) foram Riqueza Funcional (Fric), Equitabilidade Funcional (Feve) e Entropia Quadrática de Rao Funcional (RaoQ). A riqueza funcional é o número de atributos ou categorias de um atributo apresentado pela comunidade, não leva em consideração a abundância das espécies e é altamente relacionada com a riqueza de espécies (Villéger *et al.*, 2008). A equitabilidade funcional ou uniformidade funcional mede o grau em que a densidade da comunidade é distribuída no espaço para permitir o uso eficiente de todos os recursos de que dispõe (Villéger *et al.*, 2008). Já a entropia quadrática de Rao funcional (diversidade funcional) representa a soma dos quadrados das distâncias entre

todas as unidades funcionais, no espaço multidimensional e considera a densidade das espécies como ponderador da distância entre um par de unidades funcionais (Botta-Dukát, 2005).

Os índices funcionais foram calculados no software R (R Development Core Team, 2017), com a função dbFD (Distance-based Functional Diversity) do pacote FD proposta por Laliberté & Legendre (2010). Foi utilizada a dissimilaridade de Gower com a correção de Cailliez (Legendre & Legendre, 1998) para os autovalores negativos dos eixos da ordenação gerada durante a análise, pois a matriz dos traços funcionais é mista (variáveis contínuas e categóricas).

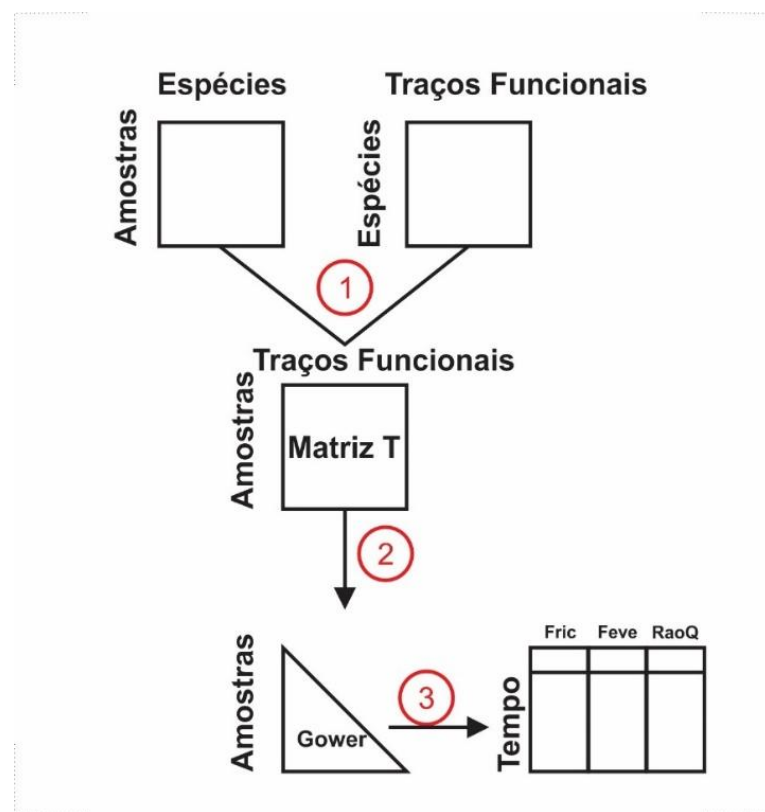


Fig. 2- Diagrama das análises dos Índices Funcionais: (1) Multiplicação das matrizes de Espécies x Amostras e Traços funcionais x Espécies para a obtenção da Matriz T; (2) Cálculo da matriz de dissimilaridade entre as amostras (coeficiente de similaridade de Gower); (3) Cálculo dos Índices Riqueza Funcional (Fric), Equitabilidade Funcional (Feve) e Entropia Quadrática Funcional (RaoQ).

Os dados da raiz quadrada da densidade de larvas, riqueza funcional, equitabilidade funcional e entropia quadrática de Rao funcional foram analisados entre períodos, gradiente longitudinal e gradiente lateral através da análise de variância bifatorial (ANOVA) entre blocos, sendo que os períodos foram as medidas repetidas. Se identificadas diferenças significativas na



análise de variância ( $p < 0,05$ ), o teste de tukey foi aplicado *à posteriori*, tendo como base a DMS (diferença mínima significativa).

Para verificarmos a inter-relação entre as variáveis ambientais (temperatura da água, turbidez, precipitação e cota do reservatório) e a raiz quadrada da densidade de larvas, riqueza funcional, equitabilidade funcional e entropia quadrática de Rao funcional, aplicou-se uma Correlação de Pearson (Pearson, 1901). Diferenças significativas implicaram em  $p < 0,05$ .

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Abundância de Larvas

De maneira geral, observamos redução nas densidades de larvas até o período III e aumento gradativo nos períodos IV e V, sendo que o período III foi significativamente diferente do V. Em relação a zonação longitudinal, as maiores densidades ocorreram na região de transição, com diferença significativa em relação as demais. Já em relação a zonação lateral, verificamos maior densidade na região I, considerada a de maior influência do reservatório, diferindo significativamente das regiões II e III (Fig. 3).

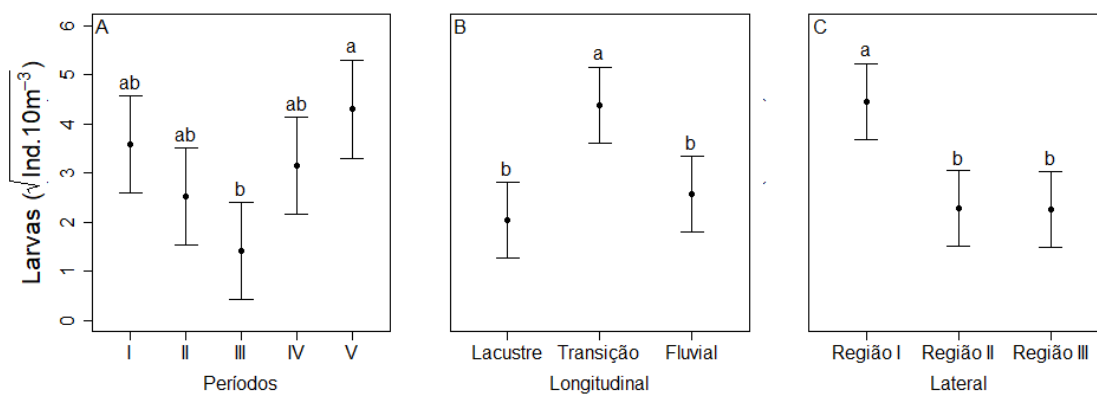


Fig. 3 - Valores médios (ícones) e a DMS (diferença mínima significativa de Tukey) (barras) da raiz quadrada da densidade de larvas de peixes por períodos (a), zonação longitudinal (b) e zonação lateral (c) no reservatório de Itaipu, entre os anos de 2009 e 2016. (Período I - 2009 a 2010; Período II – 2010 a 2011; Período III – 2011 a 2012; Período IV – 2014 a 2015; Período V – 2015 a 2016). Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

### 3.2 Índices Funcionais

Entre os períodos, verificamos que a riqueza funcional (FRic) seguiu a mesma tendência da densidade, com diminuição até o período III e maiores valores médios nos períodos IV e V, sendo observadas diferenças significativas. Já na análise longitudinal, os valores médios de riqueza funcional apresentaram aumento crescente em direção à zona fluvial. Em relação ao gradiente lateral verificamos decréscimo em direção a região III, sendo que a região I foi diferente significativamente da região III (Fig. 4).

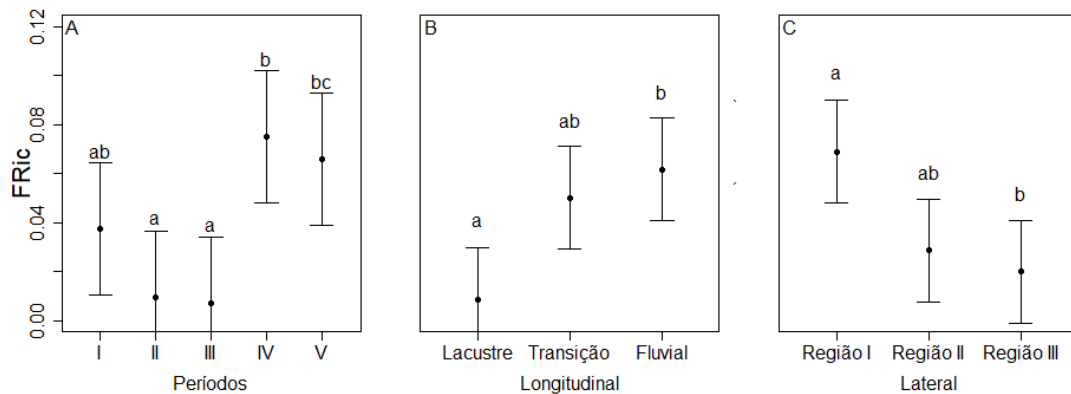


Fig. 4 - Valores médios (ícones) e a DMS (diferença mínima significativa de Tukey) (barras) da riqueza funcional (FRic) das larvas de peixes por períodos (a), zonação longitudinal (b) e zonação lateral (c) no reservatório de Itaipu, entre os anos de 2009 e 2016. (Período I - 2009 a 2010; Período II - 2010 a 2011; Período III - 2011 a 2012; Período IV - 2014 a 2015; Período V - 2015 a 2016). Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

A equitabilidade funcional (FEve) novamente apresentou a mesma tendência da densidade e riqueza funcional para os períodos, em que os períodos II e III foram significativamente diferentes do período IV. Na zona lacustre do reservatório (longitudinal), observamos o menor valor médio deste índice funcional com diferença significativa para os demais, indicando uma baixa uniformidade na distribuição de espécies e, na análise lateral, verificamos valores similares em todas as regiões (Fig. 5).

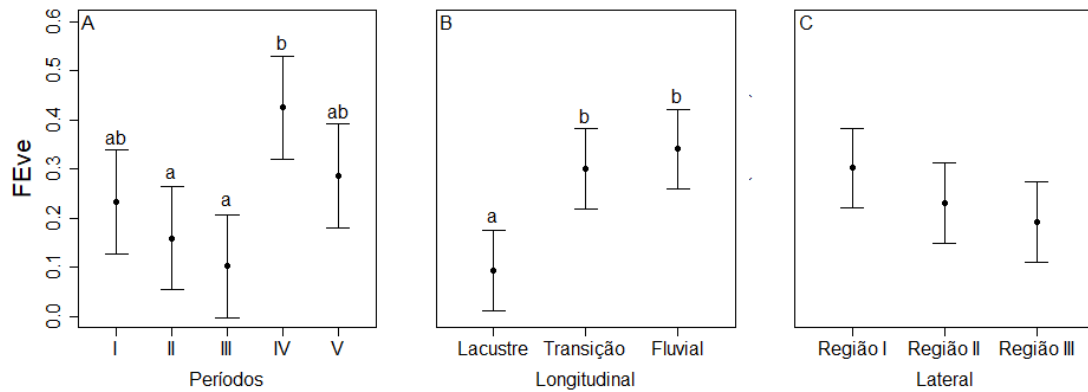


Fig. 5 - Valores médios (ícones) e a DMS (diferença mínima significativa de Tukey) (barras) da equitabilidade funcional (FEve) das larvas de peixes por períodos (a), zonação longitudinal (b) e zonação lateral (c) no reservatório de Itaipu, entre os anos de 2009 e 2016. (Período I - 2009 a 2010; Período II – 2010 a 2011; Período III – 2011 a 2012; Período IV – 2014 a 2015; Período V – 2015 a 2016. Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

A série temporal da entropia quadrática (RaoQ) (diversidade funcional) mostrou diferenças entre os períodos, sendo que o período IV apresentou maiores valores médios e o contrário foi observado para os períodos I e III. Um aumento crescente deste índice foi verificado em direção à zona fluvial, sendo que esta diferiu das zonas lacustre e transição. Já em relação às regiões delimitadas no gradiente lateral, verificamos valores similares, com valor médio levemente maior na região II (Fig. 6).

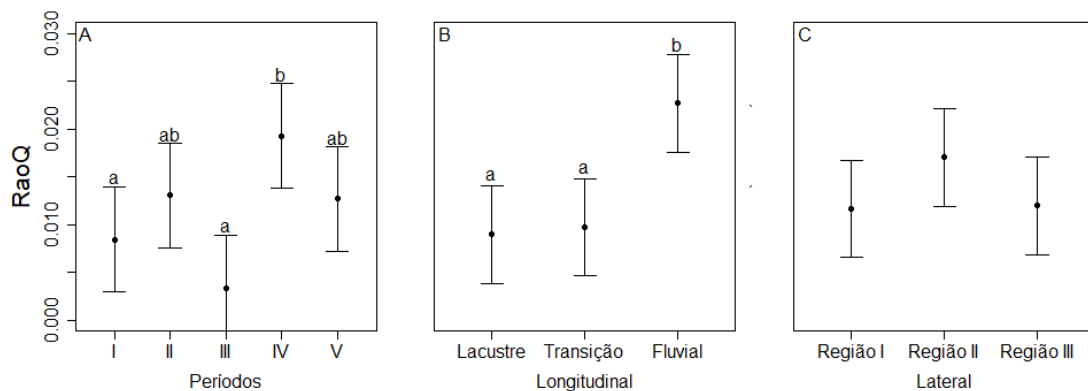


Fig. 6 - Valores médios (ícones) e a DMS (diferença mínima significativa de Tukey) (barras) da Entropia quadrática de Rao (RaoQ) das larvas de peixes por períodos (a), zonação longitudinal (b) e zonação lateral (c) no reservatório de Itaipu, entre os anos de 2009 e 2016. (Período I - 2009 a 2010; Período II – 2010 a 2011; Período III – 2011 a 2012; Período IV – 2014 a 2015; Período V – 2015 a 2016. Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

### 3.3 Correlação de Pearson

A análise de Correlação de Pearson apresentou correlação positiva fraca entre a precipitação e a raiz quadrada de densidade de larvas e a riqueza funcional, indicando a influência desta variável sobre a reprodução das espécies, e correlação negativa fraca entre a cota do reservatório e os índices funcionais (Fric, Feve e RaoQ) (Tabela II) (Fig. 7).

Tabela II - Valor do coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais (temperatura da água, turbidez, precipitação e cota do reservatório) e raiz quadrada da densidade de larvas, riqueza funcional, equitabilidade funcional e entropia quadrática de Rao funcional, no reservatório de Itaipu, entre os anos de 2009 e 2016. Valores em negrito indicam correlação significativa.

Densidade e Índices/Variáveis ambientais	Temperatura da água	Turbidez	Precipitação	Cota do Reservatório
Raiz quadrada da densidade	-0,0113	-0,0093	<b>0,1577</b>	0,0338
Riqueza Funcional (Fric)	0,1105	0,0094	<b>0,1657</b>	<b>-0,182</b>
Equitabilidade Funcional (Feve)	0,0751	0,0814	0,0483	<b>-0,233</b>
Entropia quadrática de Rao (RaoQ)	0,0185	0,0907	-0,0123	<b>-0,255</b>

## 4 DISCUSSÃO

Elevadas densidades de larvas foram registradas nos braços do reservatório de Itaipu durante todo o período de estudo demonstrando que o reservatório é um importante ambiente para a manutenção das desovas e desenvolvimento das formas iniciais de vida dos peixes. Os valores dos índices funcionais foram diretamente proporcionais aos da densidade em nossa análise temporal, ou seja, o período de menor densidade (período III), também apresentou os menores valores dos índices funcionais e nos períodos de maiores capturas ( I, IV e V) observamos os maiores valores. Isto corrobora com as informações que a reprodução dos peixes é altamente influenciada pelas condições ambientais as quais estão expostos e amplamente discutidos na literatura como primordiais para o desencadeamento das desovas e sobrevivência larval, onde a busca por melhores condições ambientais é essencial para que as desovas ocorram, visando à sobrevivência e o crescimento da prole (Vazzoler, 1996; Gogola *et al.*, 2016).

Nas análises do gradiente espacial, em relação à zonação longitudinal e lateral, as maiores abundâncias ocorreram no braço localizado na região de transição (SFF) e na região I

(maior influência lêntica) respectivamente, indicando que as áreas com maior característica lêntica de um reservatório favorecem a reprodução dos peixes. No entanto, a análise isolada das densidades de captura podem criar essa impressão de condições ambientais favoráveis à reprodução da maioria das espécies presentes, o que não necessariamente reflete a realidade do grau de impacto gerado pelo represamento. Neste sentido, a análise a partir dos valores dos atributos funcionais de riqueza, equitabilidade e entropia quadrática de Rao (RaoQ) podem fornecer uma visão mais abrangente sobre as respostas da comunidade frente a mudanças temporais e espaciais, já que estes índices podem determinar diferentes aspectos da similaridade entre comunidades, possibilitando a quantificação de uma possível simplificação biótica (Petsch, 2016).

Os resultados das análises dos atributos funcionais demonstraram que a posição a que o braço ocupa dentro do gradiente longitudinal reflete o grau de impacto dos represamentos sobre as populações de peixes. Os braços localizados nas zona lacustre e transição apresentaram menores valores de todos os índices funcionais analisados, quando comparados com o braço localizado na zona fluvial. Tal fato indica a ocorrência de uma possível simplificação biótica funcional, pois as elevadas densidades de larvas ocorrem para um baixo número de espécies com traços funcionais restritos.

Como já é conhecido, as barragens regulam o nível da água (Eloranta *et al.*, 2016), que interfere nos padrões de fluxo (Antonio *et al.*, 2007) e diferem das flutuações naturais do nível da água em termos de magnitude, frequência e duração (Hirsch *et al.*, 2017). Essa regulação do fluxo e a diminuição da heterogeneidade ambiental, podem favorecer espécies oportunistas e limitar as especialistas, levando a simplificação biótica funcional (Gámez-Virúés *et al.*, 2015), ou seja, o aumento da similaridade na composição de espécies (Olden & Rooney, 2006), pode ser visualizado especialmente na zona lacustre. Este fato é comum de ocorrer na composição de peixes em reservatórios, quando comparados aos de rios (Clavero & Hermoso, 2011), e esta simplificação pode limitar a comunidade de responder à pressões humanas (Clavel *et al.*, 2011; Gámez-Virúés *et al.*, 2015).

Nossos resultados mostraram ainda diferenças significativas entre a zona lacustre e fluvial, indicando que a proximidade com o trecho à montante do reservatório favoreceu a reprodução dos peixes na zona fluvial, que apresentou maiores valores dos índices funcionais. Um aumento da riqueza funcional indica que mais nichos são preenchidos por diferentes táxons (Castro *et al.*, 2018), ou seja, a zona fluvial recebe maior influência lótica do rio Paraná e com isso garante condições que proporcionam nichos adequados para um maior número de espécies.

Os impactos da regulação de nível podem variar de acordo com os gradientes do reservatório (Eloranta *et al.*, 2018) e a zona fluvial mostra-se menos impactada. Já a zona de transição, a qual apresentou as maiores densidades, teve baixo valor do índice de RaoQ, indicando que embora favoreça um grande número de espécies (alta riqueza funcional), que estão igualmente distribuídas (alta equitabilidade funcional) não apresenta condições favoráveis para uma distribuição espacial que possibilite o melhor uso dos recursos disponíveis, ou seja, as espécies estão distribuídas de forma desigual nesta zona do reservatório.

Outra possível causa das simplificação bióticas em reservatórios é a introdução de espécies não nativas (Petsch, 2016), já que muitas introduções levam à extinção de espécies, aumentando a similaridade entre as comunidades (Rahel, 2002; Olden & Poff, 2003). Do total de táxons de larvas identificadas neste estudo, aproximadamente 35% foram não nativas. No reservatório de Itaipu, análises da ictiofauna apontam que 60 espécies não nativas (69%) foram introduzidas com o represamento (Gubiani *et al.*, 2018).

Em relação ao gradiente lateral, verificamos um resultado oposto ao observado no gradiente longitudinal, com menores valores dos índices funcionais na região de influência lótica, entretanto não houve diferença significativa entre as regiões analisadas para os índices funcionais RaoQ e equitabilidade, sendo que somente o índice riqueza funcional apresentou diferenças significativas para a região I.

Os maiores valores de riqueza funcional observados no trecho de influência lântica são indicativos que um maior número de espécies utiliza esta região como local de desova, indicando ainda uma aparente tendência de simplificação biótica funcional em direção ao trecho de influência lótica, entretanto se fazem necessárias algumas considerações. Embora as regiões lânticas sejam utilizadas como área de desova e desenvolvimento de espécies sedentárias adaptadas à estas condições, é possível que os peixes estejam desovando ao longo de todo o braço e suas larvas derivem até o trecho lântico. Esta hipótese é especialmente válida para as espécies migradoras, que necessitam das condições abióticas providas por ambientes lóticos para a realização de suas desovas.

Neste caso as espécies podem utilizar todo o trecho, incluindo o trecho lótico do rio formador, porém, infelizmente não existem dados hidrológicos de velocidade e direção de fluxo nos braços analisados, mas Gentilini (2018) (dados ainda não publicados) demonstrou a ocorrência de velocidades de fluxo acima de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  no trecho de influência lótica no braço São Francisco Verdadeiro (não avaliado neste estudo), o que pode ser indício da ocorrência de

fato semelhante nos demais braços do reservatório, o que explicaria a deriva de larvas, inclusive de espécies migradoras, para os trechos de influência lântica.

Além disso, os valores próximos e ausência de diferenças significativas de equitabilidade funcional e RaoQ nas três áreas, não nos permite afirmar com certeza que exista simplificação nos braços. Neste caso, é provável que os resultados das análises dos atributos funcionais tenham sido influenciados pelos padrões hidrológicos de transporte e que a ocorrência de desovas nos braços do reservatório é mais influenciada pela posição em relação ao gradiente longitudinal do que pela influência do rio abastecedor. Resultados semelhantes foram verificados para os peixes adultos do reservatório de Itaipu por Oliveira *et al.* (2004).

A análise de correlação revelou influência negativa do nível do reservatório (cota) sobre os atributos funcionais, a qual está relacionada a um possível favorecimento de um determinado grupo funcional, como insetívoras e sedentárias de pequeno porte. As espécies sedentárias são favorecidas pela disponibilidade de recursos (Agostinho *et al.*, 2016). Com a redução do nível, as margens do reservatório ficam mais rasas e expostas, favorecendo o desenvolvimento da vegetação marginal e a disponibilidade de nichos para serem explorados por elas. Essas espécies que ocupam as margens de reservatórios são favorecidas com a presença de alimento e proteção contra predadores (Fischer & Öhl 2005; Naiman *et al.* 2008; Pease *et al.* 2012), o que está relacionado com um aumento da abundância (Lewin *et al.* 2004; Suzuki *et al.* 2009).

Dessa maneira, baseado nas ocorrências de larvas e nas análises dos traços e atributos funcionais das espécies, podemos concluir que a posição que o braço ocupa dentro do gradiente longitudinal reflete o grau de impacto dos represamentos sobre a reprodução das populações de peixes, uma vez que o braço localizado na zona lacustre apresentou menores valores de riqueza funcional, equitabilidade funcional e RaoQ, o que indica uma simplificação biótica funcional, confirmando a nossa primeira hipótese. Já em relação ao gradiente lateral, a ausência de diferença significativa entre as regiões dos braços para os atributos de equitabilidade funcional e RaoQ, mostra que a ocorrência de larvas nos braços não apresenta o mesmo padrão que no gradiente longitudinal, já que a influência do trecho lótico a montante não foi evidente. Assim, verificamos que a composição e distribuição de espécies no gradiente lateral de cada braço está mais relacionada à posição do braço no gradiente longitudinal, e desta maneira, contraria a nossa segunda hipótese formulada.

## 5 REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., Agostinho, C. S., Pelicice, F. M., Marques, E. E. (2012) Fish ladders: safe fish passage or hotspot for predation? *Neotropical Ichthyology* **10**: 687–696. doi.org/10.1590/S1679-6225012000400001
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Santos, N. C. L., Ortega, J. C. G., Pelicice, F. M. (2016) Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research* **173**, 26–36. doi.org/10.1016
- Antonio, R. R., Agostinho, A. A., Pelicice, F. M., Bailly, D. Okada, E. K. & Dias, J. H. P. (2007) Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes? *Neotropical Ichthyology* **5**: 177–184. doi.org/10.1590/S1679-62252007000200012
- Botta-Dukát, Z. (2005) Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science* **16**: 533–540. doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02393.x
- Carmona, C.P., Bello, F. de., Mason, N. W. H. & Leps, J. (2016) Traits Without Borders: Integrating Functional Diversity Across Scales. *Trends in Ecology & Evolution* **31**: 382–394.
- Castro, D. M. P., Dolédec, S. & Callisto, M. (2018) Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savanna streams *Ecological Indicators* **84**: 573–582. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.09.030
- Clavel, J., Julliard, R. & Devictor, V. (2011) Worldwide decline of specialist species: toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment* **9**: 222–228. doi:10.1890/080216
- Clavero, M. & Hermoso, V. (2011) Reservoirs promote the taxonomic homogenization of fish communities within river basins. *Biodiversity and Conservation* **20**: 41–57. doi: 10.1007/s10531-010-9945-3.
- Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA). (2013) *Diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
- Eloranta, A. P., Sánchez-Hernández, J., Amundsen, P. A., Skoglund, S., Brush, J. M., Henriksen, E. H. & Power, M. (2016) Water level regulation affects niche use of a lake top predator, Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Ecohydrology* **10**: e1766. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.268
- Eloranta, A. P., Finstada, A. G., Helland, I. P., Ugedal, O. & Power, M. (2018) Hydropower impacts on reservoir fish populations are modified by environmental variation. *Science of the Total Environment* **618**: 313–322. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.268
- Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* **34**: 487–515. doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419
- Fischer, P. & Öhl, U. (2005) Effects of water-level fluctuations on the littoral benthic fish community in lakes: a mesocosm experiment. *Behav Ecology* **16**: 741–746. https://doi.org/10.1093/beheco/ari047
- Gámez-Virués, S., Perovic, D. J., Gossner, M. M., Börschig, C., Blüthgen, N., Jong, H., Simons, N. K., Klein, A. M., Krauss, J., Maier, G., Scherber, C., Steckel, J., Rothenwöhrer, C., Steffan-Dewenter, I., Weiner, C. N., Weisser, W., Werner, M., Tschamtké, T. & Westphal, C. (2015) Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. *Nature Communications* **6**: 8568. doi: 10.1038/ncomms9568



- Gentelini, A. L. (2018). Modelagem hidrodinâmica e definição da capacidade de suporte do rio São Francisco Verdadeiro tributário do reservatório de Itaipu. Trabalho de Conclusão de Curso (Tese) Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.
- Gogola, T. M., Daga, P. S., Gubiani, É. A., Silva, P. R. L. & Sanches, P. V. (2016) The role of submerged trees in the early development of fishes in a Neotropical reservoir. *Journal of Fish Biology* **89**: 355-368. doi:10.1111/jfb.12966
- Gubiani, É. A., Ruaro, R., Ribeiro, V. R., Eichelberger, A. C. A., Bogoni, R. F., Lira, A. D., Cavalli, D., Piana, P. A. & Graça, W. J. (2018) Non-native fish species in Neotropical freshwaters: how did they arrive, and where did they come from? *Hydrobiologia*. doi.org/10.1007/s10750-018-3617-9
- Hirsch, P. E., Eloranta, A. P., Amundsen, P. A., Brabrand, Å., Charmasson, J., Helland, I. P. & Yang, H. (2017) Effects of water level regulation in alpine hydropower reservoirs: an ecosystem perspective with a special emphasis on fish. *Hydrobiologia* **794**, 287–301. doi: 10.1007/s10750-017-3105-7
- Laliberté, E. & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* **91**: 299-305. doi:10.1890/08-2244.1
- Legendre, P. & Legendre, L. (1998) *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier.
- Lewin, W.C., Okun, N. & Mehner, T. (2004) Determinants of the distribution of juvenile fish in the littoral area of a shallow lake. *Freshwater Biology* **49**:410–424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01193.x>
- Linløkken, A. N. & Sandlund, O. T. (2016) Recruitment of sympatric vendace (*Coregonus albula*) and whitefish (*C. lavaretus*) is affected by different environmental factors. *Ecology of Freshwater Fish* **25**: 652–663. doi: 10.1111/eff.12243
- Mouillot, D., Graham, N. A. J., Villéger, S., Mason, N. W. H., & Bellwood, D. R. (2013) A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution* **28**: 167–177. doi: 10.1016/j.tree.2012.10.004
- Muniz, C. M. (2017) Composição funcional em reservatórios: Seleção de traços da assembleia de peixes com o envelhecimento. <http://ictoparasito.nupelia.uem.br/Teses%20e%20dissertacoes.html>
- Naiman, R. J., Latterell, J. J., Pettit, N. E. & Olden, J. D. (2008) Flow variability and biophysical vitality of rivers systems. *Comptes Rendus Geoscience* **340**:629–643. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.01.002>
- Nakatani, K., Agostinho, A. A., Baumgartner, G., Bialletzki, A., Sanches, P. V., Makrakis, M. C. & Pavanelli, C. S. (2001) *Ovos e larvas de peixes de água doce*: desenvolvimento e manual de identificação. Maringá: EDUEM.
- Olden, J. D. & Poff, N. L. (2003) Toward a mechanistic understanding and prediction of biotic homogenization. *The American Naturalist* **162**: 442–460. doi:10.1086/378212
- Olden, J. D. & Rooney, T. P. (2006) On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography* **15**: 113–120. doi: 10.1111/j.1466-822x.2006.00214.x
- Oliveira, E. F., Goulart, E. & Minte-Vera, C. V. (2004) Fish diversity along spatial gradients in the Itaipu reservoir, Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Biology* **64**: 447-458. doi.org/10.1590/S1519-69842004000300008

- Oliveira, E. F. de, Minte-Vera, C. V. & Goulart, E. (2005) Structure of fish assemblages along spatial gradients in a deep subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay border). *Environmental Biology of Fishes* **72**: 283–304. doi:10.1007/s10641-004-2582-5
- Pearson, K. (1901) On the correlation of characters not quantitatively measurable. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. **195**. London
- Pease, A. A., González-Díaz, A. A., Rodiles-Hernández, R. & Winemiller, K.O. (2012) Functional diversity and trait-environment relationships of stream fish assemblages in a large tropical catchment. *Freshwater Biology* **57**:1060–1075. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02768.x>
- Peipoch, M., Brauns, F. M., Hauer, R., Weitere, M. & Valett, H. M. (2015) Ecological Simplification: Human Influences on Riverscape Complexity. *BioScience* **65**:1057-1065. doi:10.1093/biosci/biv120
- Pelicice, F. M., Azevedo-Santos, V. M., Vitule, J. R. S., Orsi, M. L., Lima Junior, D. P., Magalhães, A. L. B., Pompeu, P. S., Petrere Jr, M. & Agostinho, A. A. (2017) Neotropical freshwater fishes imperilled by unsustainable policies. *Fish and Fisheries* **18**:1119–1133. doi: 10.1111/faf.12228
- Petsch, D. K. (2016) Causes and consequences of biotic homogenization in freshwater ecosystems. *International Review of Hydrobiology* **101**: 113–122. doi: 10.1002/iroh.201601850
- R Core Team (2017) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org/>
- Rahel, F. J. (2002) Homogenization of freshwater faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics* **33**: 291–315. doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150429
- Rosada, B. H. P., Dias, A. T. C & Mattos, E. A. (2013) Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying Communities and Ecosystems. *Natureza e Conservação* **11**:15-22. doi.org/10.4322/natcon.2013.002
- Silva, C. B., Dias, J. D., Bialezki, A. (2017) Fish larvae diversity in a conservation area of a neotropical floodplain: influence of temporal and spatial scales. *Hydrobiologia* **787**:141–152. doi: 10.1007/s10750-016-2953-x
- Suzuki, H. I., Agostinho, A. A., Bailly, D., Gimenes, M. F., Julio-Junior, H. F. & Gomes, L. C. (2009) Inter-annual variations in the abundance of young-of-the-year of migratory fishes in the upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. *Brazilian Journal of Biology* **69**:649–660. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000300019>
- Tanaka, S. (1973) Stock assessment by means of ichthyoplankton surveys. *FAO Fisheries Technical Paper* **122**: 33-51.
- Thornton, K. W. (1990) Perspectives on reservoir limnology. In *Reservoir limnology: ecological perspectives* (Thornton, K. W., Kimmel, B. L. & Payne F. E. eds.), New York: John Wiley & Sons.
- Vazzoler, A. E. A. de M. (1996) *Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática*. Maringá: EDUEM.
- Villéger, S., Mason, N. W. & Mouillot, D. (2008) New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, **89**: 2290-2301.

- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007) Let the concept of trait be functional!. *Oikos* **116**: 882–892. doi: 10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x
- Vitule, J. R. S., Sko´ra, F. & Abilhoa, V. (2012) Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. *Diversity and Distributions* **18**: 111–120. doi: 10.1111/j.1472-4642.2011.00821.x
- Weeb, C. T.; Hoeting, J. A., Ames, G. M., Pyne, M. I & Poff, N. L. (2010) A structured and framework to advance traits-based theory and prediction in ecology. *Ecology Letters* **13**:267-283. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01444.x
- Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Baird, I. G., Darwall, W., Lujan, N. K., Harrison, I., Stiassny, M. L. J., Silvano, R. A. M., Fitzgerald, D. B., Pelicice, F. M., Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Albert, J. S., Baran, E., Petrere Jr., M., Zarfl, C., Mulligan, M., Sullivan, J. P., Arantes, C. C., Sousa, L. M., Koning, A. A., Hoeninghaus, D. J., Sabaj, M., Lundberg, J. G., Armbruster, J., Thieme, M. L., Petry, P., Zuanon, J., Torrente Vilara, G., Snoeks, J., Ou, C., Rainboth, W., Pavanelli, C. S., Akama, A., Soesbergen, A. van. & Sáenz, L. (2018) Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong: Basin-scale planning is needed to minimize impacts in mega-diverse rivers. *Science* **351**, 128-129. doi: 10.1126/science.aac7082

## 6 ANEXO

Anexo - Traços funcionais dos táxons de peixes da região dos braços do Reservatório de Itaipu. (Detr = detritívoro; Herb = herbívoro; Inse = insetívoro; Inve = invertívoro; Oniv = onívoro; Pisc = piscívoro; Migr = migrador; Sede = sedentário; Bent = bentônico; Bepe = bentopelágico; Pela = pelágico; Spar = sem cuidado parental; Cpar = com cuidado parental; Fe = fecundação externa; Fi = fecundação interna; Parce = desova parcelada; Total = desova total; Nat = nativo; Nnat = não nativo)

Taxons	Detr	Herb	Inse	Inve	Oniv	Pisc	Migr	Sede	Bent	Bepe	Pela	Spar	Cpar	Fe	Fi	Parce	Total	Nat	Nnat
<i>Acestrorhynchus lacustres</i>					X			X			X	X		X		X		X	
<i>Ageneiosus inermis</i>				X				X			X	X			X		X	X	
<i>Apareiodon</i> spp.	X							X		X		X		X		X		X	
<i>Aphyocharax</i> spp.				X				X		X		X		X		X		X	
<i>Auchenipterus osteomystax</i>			X					X			X		X	X	X				X
<i>Brycon orbignyanus</i>			X				X			X		X		X			X	X	
<i>Bryconamericus</i> spp.			X					X		X		X		X		X			X
<i>Catathyridium jenynsii</i>						X		X	X			X		X		X		X	
<i>Cetopsis gobioides</i>						X		X	X			X		X		X		X	
<i>Diapoma guarani</i>								X			X	X		X		X		X	
<i>Gymnotus</i> spp.				X				X		X			X	X		X		X	
<i>Hemiodus orthonops</i>	X							X			X	X		X			X		X
<i>Hoplias</i> spp.						X		X			X		X	X		X		X	
<i>Hyphessobrycon eques</i>			X					X		X		X		X			X		X
<i>Hyphophtalmus oremaculatus</i>				X				X			X	X		X		X			X
<i>Loricariichthys platymetopon</i>	X							X	X				X	X		X			X
<i>Moenkhausia</i> spp.				X				X			X	X		X		X		X	
<i>Moenkhausia</i> aff. <i>intermedia</i>				X				X			X	X		X		X		X	
<i>Parauchenipterus galeatus</i>					X			X			X		X	X		X			X
<i>Pinirampus pirinampu</i>						X	X			X		X		X			X	X	
<i>Plagioscion squamosissimus</i>						X		X			X	X		X		X			X

<i>Platanichthys platana</i>		X			X		X	X	X	X			X
<i>Prochilodus lineatus</i>	X			X		X		X	X		X	X	
<i>Pseudoplatystoma</i> spp.			X	X		X		X	X		X	X	
<i>Pterodoras granulosus</i>		X		X		X		X	X	X			X
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>			X	X			X	X	X		X	X	
<i>Rhamdia quelen</i>			X		X	X		X	X	X			X
<i>Roeboides descavadensis</i>					X	X		X	X	X			X
<i>Salminus</i> spp.			X	X		X		X	X		X	X	
<i>Serrapinus</i> sp. 2		X			X		X	X	X	X			X
<i>Serrasalmus</i> spp.			X		X		X	X	X	X			X
<i>Sorubim lima</i>			X	X		X		X	X	X			X
<i>Synbranchus marmoratus</i>			X		X		X	X	X	X			X

## 6.1 Referências dos Traços Funcionais

- Agostinho, A. A., Agostinho, C. S., Pelicice, F. M., Marques, E. E. (2012) Fish ladders: safe fish passage or hotspot for predation? *Neotropical Ichthyology* **10**: 687–696. doi.org/10.1590/S1679-6225012000400001
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Pelicice, F. M. (2007) *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Eduem, Maringá.
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Santos, N. C. L., Ortega, J. C. G., Pelicice, F. M. (2016) Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research* **173**, 26–36. doi.org/10.1016
- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M. & Gomes, L. C. (2008) Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* **68**: 1119–1132. doi.org/10.1590/S1519-69842008000500019
- Araújo, E. S., Marques, E. E., Freitas, I. S., Neuberger, A. L., Fernandes, R., Pelicice, F. M. (2013) Changes in distance decay relationships after river regulation: similarity among fish assemblages in a large Amazonian river. *Ecology of Freshwater Fish* **22**:543–552. doi: 10.1111/eff.12054
- Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* **34**: 487–515. doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419
- Hsieh, C., Reiss, C., Hunter, J. R., Beddington, J. R., May, & Sugihara, G. (2006) Fishing elevates variability in the abundance of exploited species. *Nature* **443**: 859–862. doi: 10.1038/nature05232
- Kruk, A. & Penczak, T. (2003) Impoundment impact on populations of facultative riverine fish. *International Journal of Limnology* **39**: 197–210. doi: 10.1051/limn/2003016
- Laliberté, E. & Legendre, P. (2010) A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* **91**: 299–305. doi:10.1890/08-2244.1
- Liermann, C. R., Nilsson, C., Robertson, J. & NG, R. Y. (2012) Implications of Dam Obstruction for Global Freshwater Fish Diversity. *BioScience* **62**, 539–548. doi:10.1525/bio.2012.62.6.5
- McLaughlin, R. L., Porto, L., Noakes, D. L. G., Baylis, J. R., Carl, L. M., Dodd, H. R., Goldstein, J. D., Hayes, D. B., Randall, R. G. (2006) Effects of low-head barriers on stream fishes: Taxonomic affiliations and morphological correlates of sensitive species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **63**: 766–779. doi: 10.1139/f05-256
- Oliveira, E. F., Goulart, E. & Minte-Vera, C. V. (2004) Fish diversity along spatial gradients in the Itaipu reservoir, Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Biology* **64**: 447–458. doi.org/10.1590/S1519-69842004000300008
- Peipoch, M., Brauns, F. M., Hauer, R., Weitere, M. & Valett, H. M. (2015) Ecological Simplification: Human Influences on Riverscape Complexity. *BioScience* **65**:1057–1065. doi:10.1093/biosci/biv120
- Rosada, B. H. P., Dias, A. T. C & Mattos, E. A. (2013) Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying

Communities and Ecosystems. *Natureza e Conservação* **11**:15-22.  
doi.org/10.4322/natcon.2013.002

Silva, C. B., Dias, J. D., Bialetzki, A. (2017) Fish larvae diversity in a conservation area of a neotropical floodplain: influence of temporal and spatial scales. *Hydrobiologia* **787**:141–152. doi: 10.1007/s10750-016-2953-x

Thornton, K. W. (1990) Perspectives on reservoir limnology. In *Reservoir limnology: ecological perspectives* (Thornton, K. W., Kimmel, B. L. & Payne F. E. eds.), New York: John Wiley & Sons.

Villéger, S., Mason, N. W. & Mouillot, D. (2008) New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, **89**: 2290-2301.

Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C. & Davies, P. M. (2010) Global trends in human water security and river biodiversity. *Nature* **467**, 555-561.  
doi:10.1038/nature09440