

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

Variação da ictiofauna ao longo de um trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil e adaptação do Índice de Integridade Biótica

Bianca de Freitas Terra

2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**VARIAÇÃO DA ICTIOFAUNA AO LONGO DE UM TRECHO
LONGITUDINAL DO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL –
RESERVATÓRIO DA UHE DO FUNIL E ADAPTAÇÃO DO
ÍNDICE DE INTEGRIDADE BIÓTICA**

BIANCA DE FREITAS TERRA

Sob a Orientação do Professor
Francisco Gerson Araújo

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

BIANCA DE FREITAS TERRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM / / 2009

Francisco Gerson Araújo Prof. Dr. UFRRJ

(Orientador)

Maria Letizia Petesse Dr^a UNESP

Francisco Leonardo Tejerina-Garro Prof. Dr. UCG

Dedico

*A minha mãe, que doou seu suor e trabalho para a educação de seus filhos,
Aos meus queridos irmãos Rafael e Diogo,
E ao meu Príncipe, Philippe.*

AGRADECIMENTOS

Obrigada, Prof. Dr. Francisco Gerson Araújo pelos ensinamentos, paciência e confiança.

Obrigada, mãe (Maria Aparecida), pela dedicação de uma vida inteira para que eu chegasse até aqui.

Obrigada, meus irmãos (Rafael e Diogo) que nunca entenderam que trabalho era esse que não acabava nunca e, é claro, pela compreensão em desligar o som pelo menos, na reta final da dissertação.

Obrigada, meu padrasto (Wilson) que foi o único que não me perturbou quando eu estava concentrada.

Obrigada, meu príncipe Philippe, que com certeza foi quem mais aturou meus ataques de nervos, e resistiu às longas viagens até Seropédica!!

Obrigada, meus companheiros de jornada Tatiana e Leonardo, amigos de todas as horas, que eu ganhei de presente. Se todo o trabalho realizado até aqui não valesse nada, certamente, a amizade desse casal compensaria todo o esforço.

Obrigada, minha companheira de kitnet, amiga Paula Guedes pelo apoio e pelas chamadas para que eu não dormisse em cima do computador!! Depois de tanto tempo, ganhei uma irmã que mesmo me abandonando no próximo ano, vou levar para sempre no meu coração.

Obrigada, Alex, um estagiário que me acompanhou em grande parte dessa jornada e se tornou um amigo.

Obrigada a todos os amigos do Laboratório de Ecologia de Peixes, André Pessanha, Joaquim, Márcio, Débora, Antônio, Ruan, Rafael, Márcia, Marcelo, Tainara, Luciana, Igor, Paulo, Adeilton, Iracema, Wagner, Eduardo, Hamilton, pelo companheirismo e amizade.

Obrigada, ao CNPq/CT-Hidro pela concessão da bolsa.

Obrigada, meu Deus, por guiar meus caminhos e dar-me forças para seguir sempre.

RESUMO

TERRA, Bianca de Freitas. **Variação da ictiofauna ao longo de um trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil e adaptação do Índice de Integridade Biótica**. 2009. 85p Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Área de Concentração em Conservação da Natureza, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) do Funil é um importante represamento do rio Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro para geração de energia hidrelétrica. Esse estudo objetivou analisar as alterações na estrutura da assembléia de peixes e suas relações com variáveis físico-químicas ao longo de um trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil. Também foi adaptado o Índice de Integridade Biótica (IIB), com base na assembléia de peixes, visando avaliar a qualidade ambiental deste sistema. Amostragens mensais padronizadas foram realizadas entre outubro de 2006 e setembro de 2007 em quatro zonas: 1 - rio a montante do reservatório; 2 - parte superior do reservatório; 3 - parte inferior do reservatório, e 4 - rio a jusante do reservatório. Em cada zona, quatro locais foram amostrados. Em cada local, foram colocadas três redes de espera (30 m por 2,5 m) com diferentes tamanhos de malhas (2,5 cm, 4,5 cm e 6,5 cm entre nós opostos) totalizando uma área de 900m² de rede por zona. As variáveis físico-químicas (temperatura, porcentagem de saturação de oxigênio, pH, condutividade e potencial redox) da água foram tomadas juntamente com a amostragem da ictiofauna. Um total de 4.548 indivíduos em 35 espécies foi coletado. As espécies introduzidas (*Metynnis maculatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Plagioscion squamosissimum*, *Cichla monoculus* e *Oreochromis niloticus*) foram mais abundantes nas zonas do reservatório, correspondendo a 22% (zona 2) e 23% (zona 3) do número total de peixes. O período de cheia apresentou tendência de maiores Capturas por Unidade de Esforço em número (CPUE_n) e biomassa (CPUE_b) para todas as zonas, embora diferenças significativas ($p < 0,05$) tenham sido encontradas apenas para as zonas de rio (1 e 4). Uma tendência de aumento no número de indivíduos e de espécies carnívoras foi observada ao longo do trecho longitudinal da zona 1 para a zona 3, acompanhado por uma diminuição de herbívoros. Os maiores valores de oxigênio e pH foram registrados no reservatório nos dois períodos estudados. A zona 4 apresentou valores mais baixos de pH e saturação de oxigênio e elevado potencial de redox, enquanto a zona 1 apresentou maiores porcentagens de saturação de oxigênio e condutividade. O IIB foi adaptado para o sistema em estudo assumindo a denominação de Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR). Um total de 24 métricas foi proposto para as zonas de rio (1 e 4), e 23 para as zonas do reservatório (2 e 3). Em todos os meses estudados, nenhuma zona foi classificada como de qualidade ambiental “aceitável”. Considerando as médias do IAPR por períodos (cheia e seca) foi possível verificar que, ao longo do perfil longitudinal houve diminuição da qualidade ambiental no sentido rio-reservatório, com ligeira melhora logo após a barragem, na zona 4. Diferenças significativas nas notas do IAPR foram detectadas entre os menores valores da zona 3 em relação às outras zonas, apesar de todas terem sido classificadas como “impactadas”. Os resultados sugerem que ao longo do perfil longitudinal rio-reservatório (zona 1 – 3) há um decréscimo da qualidade ambiental. A qualidade da água a jusante da barragem varia em função das atividades de manutenção da usina hidrelétrica, com a melhoria do IAPR sendo relacionada a outros fatores como complexidade do habitat, determinando a estrutura das assembléias de peixes.

Palavras-chave: reservatório, assembléia de peixes, qualidade ambiental, IIB.

ABSTRACT

TERRA, Bianca de Freitas. **Variação da ictiofauna ao longo de um trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil e adaptação do Índice de Integridade Biótica.** 2009. 85p Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Área de Concentração em Conservação da Natureza, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

The Hydroelectric Power Plant of the Funil reservoir is an important impoundment in the Rio de Janeiro State, being the major antropic interference in the Paraíba do Sul River, for hydroelectric power generation purposes. This study aimed to assess changes in fish assemblages structure and their spatial and temporal variation, and their relation with their physico-chemical environmental variables along the longitudinal gradient in the stretches Paraíba do Sul river – Funil reservoir. Furthermore, the Index of Biotic Integrity (IBI) was adapted for this system. Standardized monthly samples were carried out between October 2006 and September 2007 in four zones: 1 – river upstream the reservoir; 2 – upper reaches of the reservoir; 3 – lower reaches of the reservoir, and 4 – river downstream the reservoir. Four sites were sampled within each zone. At each site, three gill nets (30 m per 2,5 m) with different mesh size (2.5 cm, 4.5 cm and 6.5cm between opposite knots) were used, amounting an average area of 900m² of net per zone. Physico-chemical variables (temperature, percentage of oxygen saturation, pH, conductivity and redox potential) were measured in each fish sampling occasion at the four sites within the four zones. A total of 4,548 specimens and 35 species were collected. The introduced species (*Metynnis maculatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Plagioscion squamosissimum*, *Cichla monoculus* e *Oreochromis niloticus*) were more abundant in the reservoir zones, corresponding to 22% (zone 2) and 23% (zone 3) of the total number of fishes. The wet season showed the higher values of Capture per Unite Effort in both number (CPUEn) and biomass (CPUEb) for all zone, although significant differences ($p < 0.05$) have been shown for the river zones (1 and 4). A trend for increased number of carnivores individuals and species along the longitudinal gradient from zone 1 to zone 3 was observed, accompanied by a decreasing in the number of herbivores. Higher percentage of oxygen and pH were recorded in the reservoir, compared with the river during both season. The zone 4 had lower pH and oxygen saturation and higher redox potential, while the river zone upstream the reservoir showed higher oxygen saturation and conductivity. The IBI was adapted for the system, assuming the denomination of Index of Fish Assemblages for Reservoir (IFAR). A total of candidates 24 metrics of fish assemblages were tested for the river zones (1 e 4) and 23 metric for the reservoir. Throughout all studied months, no zones was classified as having “acceptable” quality. According to RFAI seasonal averages (wet and dry) it was possible to depict along the longitudinal profile, a decreasing in environmental quality from river upstream the dam to reservoir, with a slight increased trend in the river zone downstream the reservoir, at zone 4; Significant differences in RFAI scores were detected between the lower values at zone 3 compared to the other zones, although all of them were classified as impacted. The results suggests that there is a decreasing trend in environmental quality along the longitudinal profile river-reservoir (zone 1 to zone 3). Water quality downstream the dam change according to hydroelectric plant operations, and increased environmental quality indicate by RFAI was linked to other features such as habitat complexity, determining fish assemblage structure.

Key words: reservoir, fish assemblages, environmental quality, IBI.

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO GERAL

Tabela 1: Características físicas da barragem e do reservatório da UHE do Funil (Fonte: Furnas Centrais Elétricas S/A).....3

Tabela 2: Características físicas e geográficas das quatro zonas estudadas no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.....9

CAPÍTULO I

Tabela 1: Lista de espécies agrupadas por ordem e família, coletadas no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório do Funil. (* espécies introduzidas).....20

Tabela 2: Número total de indivíduos (N), número de indivíduos por zona, constância de Dajoz e amplitude de comprimento total (CT em mm) no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil. Cn = Constante; Ac = Acessória; Ai = Acidental.22

Tabela 3: Comparações entre as distribuições de espécies observadas e as séries teóricas para cada zona, utilizando o teste χ^2 . NA – não ajustado e AJ – ajustado. α - índice de diversidade; k-proporção do espaço de nicho disponível; x = parâmetro da série logarítmica.....27

Tabela 4: Parâmetros de diversidade local estimados para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil. H – estatístico do teste de Kruskal – Wallis; * significativo ao nível de 95%. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre pares.....27

Tabela 5: Valores significativos da análise de espécies indicadores das assembleias de peixes para as quatro zonas.28

Tabela 6: Valores de R-estatístico e seus níveis de significância por comparações par a par entre a estrutura das assembleias de peixes das zonas sem discriminar o período e dentro de cada período (cheia e seca) calculados pelo teste de ANOSIM. (valores significativos $p < 0,01$).....31

Tabela 7: Percentagem de contribuição das espécies mais abundantes para a similaridade dentro das zonas e dissimilaridade entre as zonas.33

CAPÍTULO II

Tabela 1: Resultado da Análise de Variância (F) e do Teste de Tukey, avaliando o efeito das zonas de coleta, dos períodos do ano e da interação dos fatores sobre as variáveis ambientais nas quatro zonas em estudo. * $p > 0,05$ e ** $p > 0,01$. C = Cheia, S= Seca.....46

Tabela 2: Peso dos componentes principais das variáveis ambientais nos dois primeiros eixos nas quatro zonas em estudo. * Valores significativos ($p < 0,05$).....46

Tabela 3: Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e as espécies com abundância relativa superior a 1,0% do número total de peixes. Correlações significativas, indicadas em negrito ($p < 0,05$).49

Tabela 4: Sumário da análise de correspondência canônica para os dados bióticos e abióticos das zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório do Funil.....49

CAPÍTULO III

Tabela 1: Atributos funcionais das espécies de peixes coletadas no sistema rio Paraíba do Sul- reservatório da UHE do Funil usados para a classificação das métricas. * Origem imprecisa; N, nativa; I, introduzida; O, onívoro; H, herbívoro; C, carnívoro; I, invertívoro; D, detritívoro; Col, coluna d'água; Fun, fundo; Tol, tolerante; Int, tolerância intermediária; IN, intolerante.....61

Tabela 2: Métricas propostas para a aplicação do IAPR contínuo no Sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.....63

Tabela 3: As métricas propostas para a aplicação do Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR) no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, resposta esperada a poluição da água e destruição do hábitat e passo do processo de seleção pelo qual foram rejeitadas: red – redundância e var – variabilidade. Métricas finais (F).....66

Tabela 4: Matriz de correlação de Spearman entre as métricas candidatas para o IAPR nas zonas de rio (zonas 1 e 4). Métricas com forte correlação foram excluídas ($r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$). Métricas excluídas e valores de $r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$ estão sublinhados68

Tabela 5: Matriz de correlação de Spearman entre as métricas candidatas para o IAPR nas zonas de reservatório (zonas 2 e 3). Métricas com forte correlação foram excluídas ($r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$). Métricas excluídas e valores de $r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$ estão sublinhados.....69

Tabela 6: Métricas selecionadas, melhores (M) e piores (P) valores observados e os percentis 5° e 95° identificados para a pontuação do IAPR nos dois ambientes estudados.....70

Tabela 7: Valores observados das 13 métricas selecionadas para zonas de rio (Z1 = zona 1 e Z4 = zona 4), por meses de coleta (out/2006 a set/2007) com valores das notas em negrito, IAPR final e classes de qualidade (M=moderadamente impactado e I=Impactado). O = observado; N = nota; Código das métricas conforme tabela 3.....71

Tabela 8: Valores observados das 11 métricas selecionadas para as zonas de reservatório (Z2 = zona 2 e Z3 = zona 3), por meses de coleta (out/2006 a set/2007) com valores das notas em

negrito, IAPR final e classes de qualidade (I=Impactado). O = observado; N = nota; Código das métricas conforme tabela 3.....72

Tabela 9: Valores de F (ANOVA bi fatorial) para comparações do IAPR entre zonas e períodos.....74

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1: Área de estudo – reservatório da UHE do Funil, RJ. Seta indicando o sentido do rio.....4

Figura 2: Precipitação mensal (mm), série — 2006 e — 2007 – reservatório da UHE do Funil. Fonte: Furnas Centrais Elétricas S/A.....5

Figura 3: Variação do nível diário (m) nas cotas do reservatório da UHE do Funil. (a) série 2006 e (b) série 2007. Fonte: Furnas Centrais Elétricas S/A.....6

Figura 4: Sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil com círculos pretos indicando as zonas de amostragem, os quadrados indicando as principais cidades e as setas indicando o sentido do rio.....8

Figura 5: Vista geral das quatro zonas do Sistema do rio Paraíba do Sul-reservatório da UHE do Funil: a- Zona 1 (margem desmatada); b- Zona 2 (paredão de pedras); c- Zona 3 (margem erodida e barragem) e d- Zona 4 (presença de ilhas e vegetação ripária).....9

CAPÍTULO I

Figura 1: Abundancia e biomassa (CPUE) das oito espécies mais abundantes por zonas. Código das Abundancia e biomassa (CPUE) das oito espécies mais abundantes por zonas. Código das espécies: Astbim – *Astyanax bimaculatus*; Astpar – *Astyanax parahybae*; Metmac – *Metynnis maculatus*; Hypaur – *Hypostomus auroguttatus*; Pimmac – *Pimelodus maculatus*; Hoplit – *Hoplosternum littorale*; Cicmon – *Cichla monoculus*; Plasqu – *Plagioscion squamosissimus*.....21

Figura 2: Curvas de rarefação (Coleman) estimadas para a assembléia de peixes das quatro zonas (1=zona 1, 2=zona 2, 3= zona 3 e 4= zona 4).....23

Figura 3: Curvas de espécies-abundâncias para cada zona (1=zona 1, 2=zona 2, 3= zona 3 e 4= zona 4).23

Figura 4: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 1 e modelo teórico da série geométrica (linha).....24

Figura 5: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 2 e modelo teórico da série geométrica (linha).....24

Figura 6: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 3 e modelo teórico da série geométrica (linha).....	24
Figura 7: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 4 e modelo teórico da série geométrica (linha).....	24
Figura 8: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 1 e modelo teórico da série logarítmica (linha).....	25
Figura 9: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 2 e modelo teórico da série logarítmica (linha).....	25
Figura 10: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 3 e modelo teórico da série logarítmica (linha).....	25
Figura 11: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (pontos) na zona 4 e modelo teórico da série logarítmica (linha).....	25
Figura 12: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (barras) na zona 1 e modelo teórico da série log-normal (linha).....	26
Figura 13: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (barras) na zona 2 e modelo teórico da série log-normal (linha).....	26
Figura 14: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (barras) na zona 3 e modelo teórico da série log-normal (linha).....	26
Figura 15: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (rank) das espécies (barras) na zona 4 e modelo teórico da série log-normal (linha).....	26
Figura 16: Proporções relativas dos indivíduos (a) e espécies (b) por guilda trófica nas quatro zonas amostradas no sistema rio Paraíba do Sul –reservatório da UHE do Funil.....	28
Figura 17: Variação especial em número e biomassa de peixes no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil.	29
Figura 18: Valores médios de CPUE _n (Número de indivíduos/100m ² /dia) para os períodos de cheia e seca nas quatro zonas amostradas.....	30
Figura 19: Valores médios de CPUE _b (kg/100m ² /dia) para os períodos de cheia e seca nas quatro zonas amostradas.....	30
Figura 20: Representação da ordenação MDS por zonas (1 = zona 1, 2 = zona 2, 3 = zona 3 e 4 = zona 4).....	32
Figura 21: Representação da ordenação MDS por períodos (C = cheia e S = seca).....	32

CAPÍTULO II

- Figura 1:** Valores médios e erro padrão de temperatura para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).43
- Figura 2:** Concentrações médias e erro padrão de oxigênio dissolvido para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).44
- Figura 3:** Valores médios e erro padrão de pH para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).44
- Figura 4:** Valores médios e erro padrão de condutividade elétrica para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).45
- Figura 5:** Valores médios e erro padrão de potencial redox para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).45
- Figura 6:** Diagrama de ordenação dos dois principais eixos das variáveis ambientais do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório do Funil, codificado por período do ano (C= Cheia e S= Seca).47
- Figura 7:** Diagrama de ordenação dos dois principais eixos das variáveis ambientais do sistema rio Paraíba do Sul-reservatório do Funil, codificado por zona (1= zona 1, 2=zona 2, 3=zona 3 e 4= zona 4).....48
- Figura 8:** Diagrama de ordenação da análise de correspondência canônica da abundância de espécies em função das variáveis ambientais para as zonas do sistema rio Paraíba do Sul-reservatório do Funil (1= zona 1, 2= zona 2, 3= zona 3 e 4= zona 4). Espécies mais abundantes indicadas em verde. Código das espécies: Aspar- *Astyanax paraguayae*; Astxsp- *Astyanax sp*; Astbim-*Astyanax bimaculatus*; Astgit- *Astyanax giton*; Brycon- *Brycon insigni*; Cicmon -*Cichla monoculus*; Calcal- *Callichthys callichthys*; Cyphgilb- *Cyphocarax gilbert*; Crelac- *Crenicichla lacustris*; Calaur-*Characidium lauroi*; Eigvirie- *Eigenmannia virescens*; Geobra- *Geophagus brasiliensis*; Glanalbc- *Glanidium albescens*; Gymcar- *Gymnotus carapo*; Hopuni-*Hoplerethrinus unitaeniatus*; Hopmal- *Hoplias malabaricus*; Hypaur- *Hypostomus auroguttatus*; Hoplit- *Hoplosternum littorale*; Hypaff -*Hypostomus affinis*; Lepcop- *Leporinus copelandii*; Lepcon- *Leporinus conirostris*; Lepmor- *Leporinus mormyrops*; Metmac-*Metynnis maculatus*; Olihep- *Oligossarcus hepsetus*; Orenil- *Oreochromis niloticus*; Piarmes- *Piaractus mesopotamicus*; Pimfur-*Pimelodus fur*; Pimmac-*Pimelodus maculatus*; Plasqu- *Plagioscion squamosissimus*; Pacads - *Pachyurus adspersus*; Prolhter-*Probolodus heterostomus*; Rhans- *Rhamdia sp*; Rhinasp-*Rhinelepis aspera*; Rinesp-*Rineloricaria sp*; Synmar-*Synbranchus marmoratus*.....50

CAPÍTULO III

Figura 1: Valores do IAPR contínuo nas zonas de rio (zonas 1 e 4) ao longo dos meses de estudo (outubro/2006 a setembro/2007), com exceção de maio e julho de 2007. Classes de qualidade ambiental: 1= Aceitável; 2= Moderadamente impactado e 3= Impactado.....73

Figura 2: Valores do IAPR contínuo nas zonas de reservatório (zonas 2 e 3) ao longo dos meses de estudo (outubro/2006 a setembro/2007), com exceção de maio e julho de 2007. Classes de qualidade ambiental: 1= Aceitável; 2= Moderadamente impactado e 3= Impactado.74

Figura 3: Valores médios do IAPR para as quatro zonas estudadas nos períodos: cheia e seca. Classes de qualidade ambiental: 1= Aceitável; 2= Moderadamente impactado e 3= Impactado.74

Figura 4: Valores do IAPR contínuo (período de cheia) para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.75

Figura 5: Valores do IAPR contínuo (período de seca) para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 ÁREA DE ESTUDOS	2
2.1 Precipitação e Níveis Altimétricos (Cotas)	5
3 METODOLOGIA GERAL	7
3.1 Amostragem	10
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10

CAPÍTULO I

RESUMO	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 MATERIAL E MÉTODO	17
2.1 Área de Estudos	17
2.2 Amostragem	17
2.3 Análise dos Dados	17
2.3.1 <i>CPUE</i>	17
2.3.2 <i>Riqueza de espécies</i>	17
2.3.3 <i>Heterogeneidade</i>	17
2.3.4 <i>Constância de ocorrência</i>	18
2.3.5 <i>Espécies indicadoras</i>	18
2.3.6 <i>Guildas tróficas</i>	19
2.4 Tratamento Estatístico	19
3 RESULTADOS	19
4 DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÕES	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

CAPÍTULO II

RESUMO	40
ABSTRACT	41
1 INTRODUÇÃO	42
2 MATERIAL E MÉTODO	42
2.1 Área de Estudos	42
2.2 Amostragem	43

2.3 Análise dos Dados	43
3 RESULTADOS	43
3.1 Variáveis Ambientais	43
3.2 Padrões das Variáveis Ambientais	46
3.3 Interação Peixes -Variáveis Ambientais	48
4 DISCUSSÃO	51
5 CONCLUSÃO	53
6 REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS	53
CAPÍTULO III	
RESUMO	57
ABSTRACT	58
1 INTRODUÇÃO	59
2 MATERIAL E MÉTODOS	60
2.1 Área de Estudos	60
2.2 Amostragem	60
2.3 Construção do Índice de Assembléia de Peixes em Reservatório (IAPR)	60
2.3.1 <i>Condição de referência</i>	60
2.3.2 <i>Proposição de métricas potenciais</i>	61
2.3.3 <i>Seleção das métricas</i>	65
2.3.4 <i>Pontuação Contínua</i>	65
3 RESULTADOS	66
3.1 Seleção das Métricas	66
3.1.1 <i>Amplitude de variação</i>	66
3.1.2 <i>Redundância</i>	67
3.2 Pontuação das Métricas	70
3.3 Classes de Qualidade	70
3.4 Variações espaço-temporais	73
4 DISCUSSÃO	76
5 CONCLUSÕES	79
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	84

1 INTRODUÇÃO GERAL

A construção de reservatórios artificiais atingiu seu máximo desenvolvimento nas décadas de 1960 e 1970 e, atualmente, faz parte das metas para a expansão econômica do país. O objetivo principal da retomada da construção desses empreendimentos é a geração de energia. Além disso, o represamento promove, secundariamente, o controle de cheias, cria oportunidades de recreação, turismo, navegação continental e aquicultura e, fornece suprimento de água (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2003; OLDANI et al., 2007). Desta forma, a construção de reservatórios resulta em marcantes modificações nas bacias em que são instalados, visíveis na paisagem local e também, em aspectos de ordem econômica, social e ambiental (STRASKRABA & TUNDISI, 1999; AGOSTINHO et al., 2007).

Dentre as modificações de larga escala, o alagamento de grandes áreas altera o curso dos rios e o fluxo da água tem sua velocidade reduzida alterando a condição de um sistema lótico para lântico (HENRY, 1999). As conseqüências dessas mudanças afetam o rio tanto a montante quanto a jusante do reservatório. O trecho do rio imediatamente a montante da barragem sofre influências da inundação, perdendo áreas marginais que funcionavam como locais de inundação sazonal, prejudicando as áreas de criação e desenvolvimento de peixes jovens. O transporte de nutrientes e a distribuição dos organismos aquáticos também são alterados em função da variação do fluxo. O trecho do rio a jusante perde sua conexão com rio acima e recebe água pobre em nutrientes, de maior transparência e sem os pulsos naturais de variação sazonal; periodicamente recebe sedimentos acumulados próximo à barragem, como decorrência de atividades de manutenção das usinas (AGOSTINHO et al., 2007).

A área alagada tem características ditadas pelas condições da bacia, porém, bem diferentes do rio original. A condição lântica, favorece a sedimentação e conseqüentemente aumenta a transparência da água. Dependendo do grau de degradação do rio a montante, o aporte de nutrientes que chega ao reservatório pode desencadear um processo de eutrofização alterando as condições físico-químicas da água. Esses processos implicam no aparecimento de um novo sistema com marcada heterogeneidade espacial (zona lótica, de transição e lacustre), com um gradiente longitudinal das variáveis físicas, químicas e bióticas (THORNTON et al., 1990).

A distribuição de peixes em rios represados segue esse padrão de zonação longitudinal (BHAT, 2004; HABIT et al., 2006) com as espécies sendo distribuídas ao longo de gradientes ambientais. Portanto, as assembléias de peixes de reservatórios são resultantes de um processo de reestruturação das populações de peixes que originalmente ocupavam os rios, com alterações na composição e na abundância de espécies. Entretanto, como os novos nichos criados a partir do represamento não são ocupados pela maioria das espécies nativas, as espécies introduzidas se estabelecem influenciando na composição e estrutura da assembléia, principalmente por competição e predação (GOMIERO & BRAGA, 2004).

Os estudos a cerca da evolução desses sistemas tem se expandido ao longo dos anos, principalmente, pela necessidade de monitorar as conseqüências desses empreendimentos no ecossistema aquático e poder gerar subsídios para seu manejo adequado e sustentável. No Brasil, grupos de estudos acompanham o desenvolvimento de grandes reservatórios nas regiões Sul e Sudeste (AGOSTINHO et al., 1999; AGOSTINHO et al., 2007). Entretanto poucas são as iniciativas de monitorar esses ambientes, com índices bióticos, capazes de gerar informações mais detalhadas e consistentes sobre a qualidade ambiental.

O rio Paraíba do Sul se destaca por ser um dos principais corpos hídricos do país e estar inserido no eixo industrial entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Desde a

década de 90 estudos pioneiros têm adaptado o Índice de Integridade Biótica ao seu canal principal (ARAÚJO 1998; ARAÚJO et al., 2003; PINTO et al., 2006). Entretanto, nenhum desses trabalhos adaptou o índice aos reservatórios do rio Paraíba do Sul. Ao longo de seu curso, o rio Paraíba do Sul possui nove barragens das quais se destaca a barragem da UHE do Funil, localizado no limite do trecho médio inferior e receptor das águas com baixa qualidade do Vale do Paraíba paulista, que representa o trecho mais alterado deste sistema INEA (2009).

Deste modo, o presente estudo objetivou analisar as alterações na estrutura da assembléia de peixes e suas relações com as variáveis físico-químicas ao longo do trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil. Além disso, foi adaptado para esse trecho o Índice de Integridade Biótica com o intuito de avaliar a qualidade ambiental deste sistema. Os objetivos específicos definidos para cada um dos três capítulos que compõem essa dissertação, são:

Capítulo I: Analisar os padrões espaciais e temporais de distribuição da assembléia de peixes ao longo do trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul (ambiente lótico) – reservatório da UHE do Funil (ambiente lêntico).

Capítulo II: Caracterizar as variações físico-químicas da água e suas influência na distribuição da ictiofauna.

Capítulo III: Adaptar o Índice de Integridade Biótica para o sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.

O rio Paraíba do Sul

O rio Paraíba do Sul é o maior rio de várzea da região sudeste do Brasil, situado entre os paralelos 20°26' e 23°38' Sul e os meridianos 41°00' e 46°30' Oeste, com 1.100 km de extensão. A área de drenagem é de aproximadamente 55.500 km², estendendo-se pelos estados de São Paulo (13.900 km²), Rio de Janeiro (20.900 km²) e Minas Gerais (20.700 km²). O clima é caracterizado como subtropical, com temperatura média anual oscilando entre 18 °C e 24 °C. O período de verão é caracterizado como chuvoso com precipitação acumulada entre 200 e 250 mm/mês nos meses com máxima precipitação (dezembro e janeiro), enquanto no inverno ocorre o período mais seco (maio a julho), com precipitação acumulada inferior a 50 mm/mês (MARENGO & ALVES, 2005).

A região da bacia do rio Paraíba do Sul é intensamente urbanizada, principalmente por conectar grandes centros industriais do país. A população da bacia é estimada em 5,5 milhões de habitantes, sendo 1,8 milhão no estado de São Paulo, 2,4 milhões no Rio de Janeiro e 1,3 em Minas Gerais (IBGE, 2000). O principal uso da água é o abastecimento para consumo humano, que além da população da bacia, abrange cerca de 8,7 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, abastecida pelas águas transpostas pelo Sistema Light/CEDAE. A diluição de esgotos, irrigação e geração de energia hidroelétrica e, em menor escala, a pesca, aquicultura, recreação e navegação, são outros usos que se destacam na bacia. As principais usinas hidrelétricas na bacia são no estado de São Paulo: Paraibuna/Paraitinga, Jaguari (CESP), Santa Branca (LIGHT); no estado do Rio de Janeiro: Funil (FURNAS), Nilo Peçanha, Fonte Velha, Fontes Nova, Pereira Passos e Ilha Pombos (LIGHT).

2 ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo abrangeu parte do canal principal do rio Paraíba do Sul, na área de influência da UHE do Funil, administrada por Furnas Centrais Elétricas S/A. O Reservatório da UHE do Funil (22°30S, 44°45S) (Tabela 1) situa-se em sua maior parte nos municípios de

Itatiaia e Resende, margeando pequenas áreas dos municípios paulistas de Queluz, Areias e São José do Barreiro (Figura 1). Sua construção foi concluída em 1969, visando à geração de energia elétrica e atenuação do impacto das cheias sobre as áreas urbanas, além de, eventualmente, compor o abastecimento de água do município do Rio de Janeiro (ÁVILA & BICUDO, 1982). Entretanto, recebe água com elevado grau de poluição advinda do trecho médio-superior da bacia do rio Paraíba do Sul, considerado poluído, principalmente pelas atividades industriais do Vale do Paraíba Paulista (KLAPPER, 1998).

A vegetação ao redor do reservatório é pobre, um resultado da anterior utilização agrícola para plantio de café e pasto. A constante oscilação do nível da água contribui para a erosão e sedimentação marginais no reservatório. Um programa de reflorestamento está sendo desenvolvido pela empresa de geração de energia responsável pelo reservatório (BRANCO et al., 2002).

Tabela 1: Características físicas da barragem e do reservatório da UHE do Funil (Fonte: Furnas Centrais Elétricas S/A).

Características do reservatório da UHE do Funil	
Área da bacia hidrográfica	6.800 km ²
Área do espelho de água no nível máximo útil	40 km ²
Cota de coroamento	468,00m
Nível altimétrico (N.A.) máximo <i>maximorum</i>	468,00m
N. A. máximo útil	466,50m
N. A. acumulado mínimo útil	444,00m
Localização da tomada de água para as turbinas	77,83m
Perímetro do nível máximo útil	320 km
Volume útil	605 X 10 ⁶ m ³
Volume total	888 X 10 ⁶ m ³
Vazão média de longo termo (período)	220 m/s
Tempo de retenção da água	10 a 50 dias
Profundidade Média	22 m
Formato	dendrítico

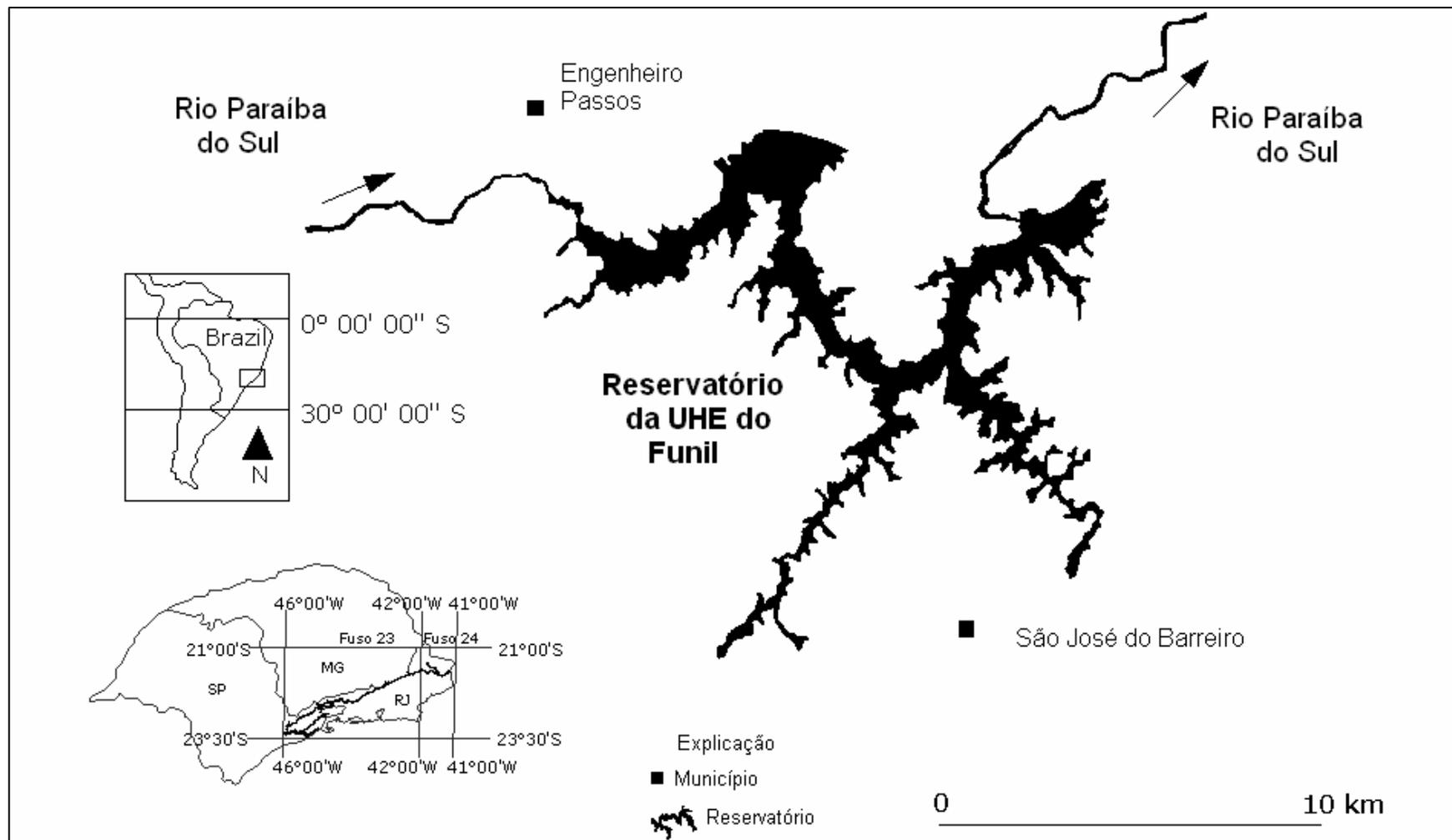


Figura 1. Área de estudo – reservatório da UHE do Funil, RJ. Seta indicando o sentido do rio.

2.1 Precipitação e Níveis Altimétricos (Cotas)

A precipitação anual registrada para a região do reservatório da UHE do Funil, nos dois anos deste estudo (2006 e 2007) foi de 1.726,5 mm e 1.014,9 mm respectivamente. Estes anos foram caracterizados por maiores precipitações nos meses de janeiro, fevereiro e no período de outubro a dezembro (Figura 2), com o ano de 2007 apresentando menores valores quando comparados a 2006.

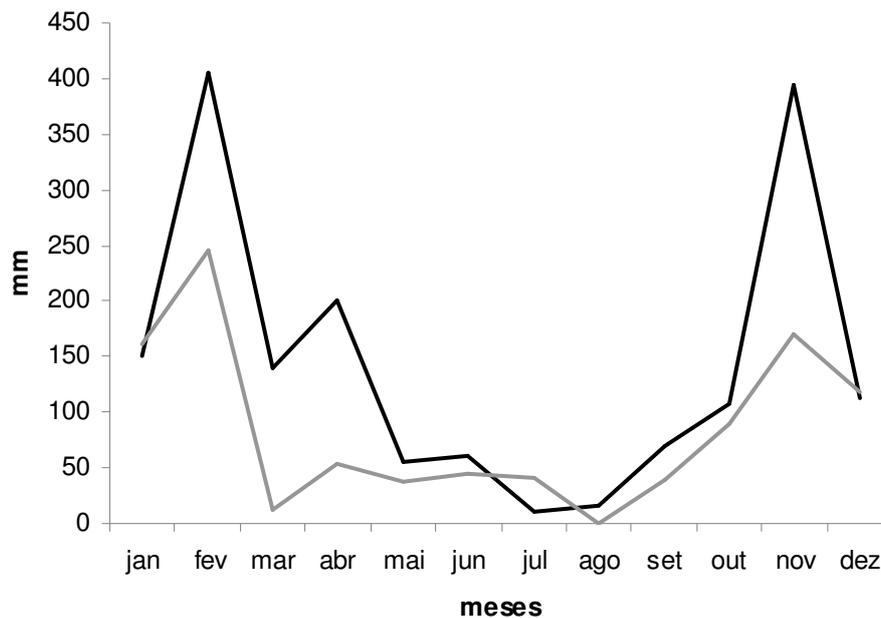


Figura 2: Precipitação mensal (mm), séries — 2006 e — 2007 – reservatório da UHE do Funil. Fonte: Furnas Centrais Elétricas S/A.

O nível do reservatório variou ao longo do ano e apresentou padrões distintos entre os anos estudados. Em 2006 os níveis mais baixos foram registrados nos meses de setembro a novembro (Figura 3-a), enquanto que em 2007 esses níveis foram registrados de junho a outubro (Figura 3-b).

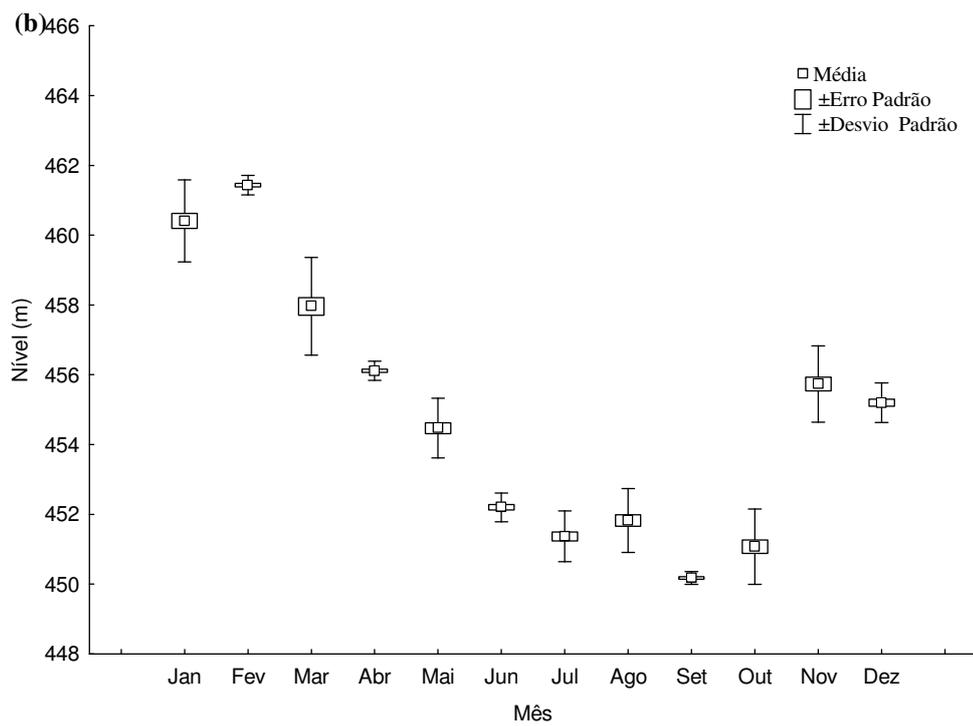
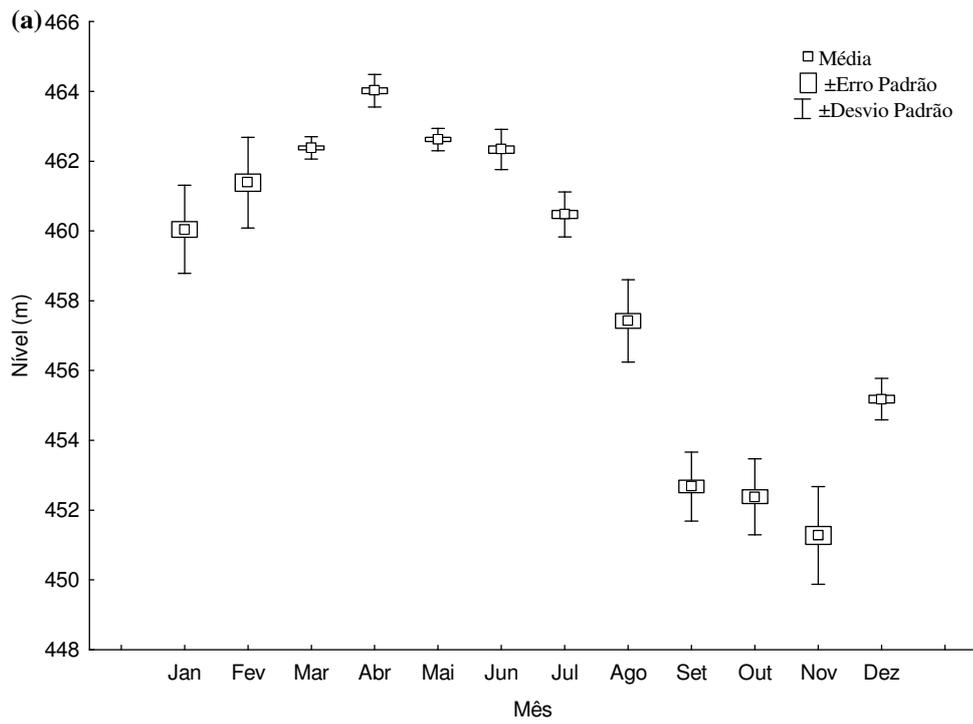


Figura 3: Variação do nível diário (m) nas cotas do reservatório da UHE do Funil. (a) série 2006 e (b) série 2007. Fonte: Furnas Centrais Elétricas S/A.

3 METODOLOGIA GERAL

Quatro zonas de amostragem foram selecionadas para este estudo (Figura 4), com duas delas apresentando características lóticicas (uma a montante do reservatório e outra a jusante da barragem) e duas no reservatório (Tabela 2). A escolha destas zonas objetivou representar diferentes condições ecológicas do sistema visando avaliar a variação ao longo do trecho longitudinal, segundo Thornton et al. (1990):

Zona 1 - rio Paraíba do Sul, a montante do reservatório, com mudanças no fluxo ditado pela estação das chuvas. Durante o período de cheia, a água atinge uma parte da zona ripária, aumentando a disponibilidade de abrigo e alimento para os peixes (Figura 5-a).

Zona 2 - parte superior do reservatório, próxima a um paredão de pedras, que aumenta a complexidade do habitat. Nesta localidade ocorre a transição entre dois tipos de sistema (lótico/lêntico) (Figura 5-b).

Zona 3 - parte inferior do reservatório, caracterizada por maior transparência e profundidade, substrato arenoso e ampla zona litoral desprotegida (Figura 5-c).

Zona 4 - rio Paraíba do Sul, a jusante do reservatório, com alta complexidade de habitat devido a presença de substrato composto de pedras, areia, lama, presença de ilhas e de mata ciliar contribuindo para formação de abrigos. O fluxo é estável, ditado pela vazão de água turbinada, com forte correnteza (Figura 5-d).

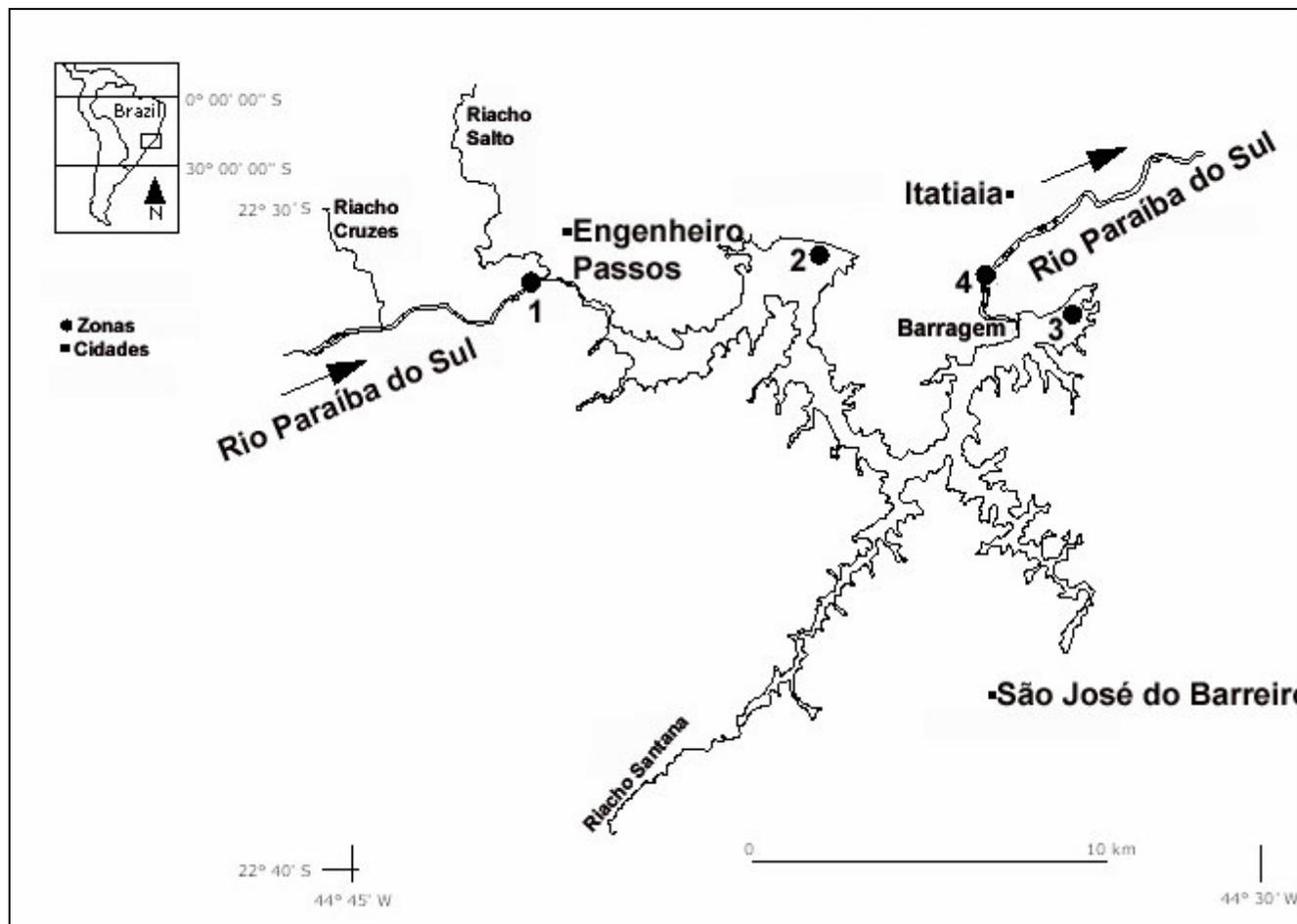


Figura 4: Sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil com círculos pretos indicando as zonas de amostragem, os quadrados indicando as principais cidades e as setas indicando o sentido do rio.

Tabela 2: Características físicas e geográficas das quatro zonas estudadas no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.

Zonas	Coordenadas	Tipo de ambiente	Substrato predominante	Profundidade	Vegetação Ripária
1	22°31'50,7" S 44°42'64,0" O	Lótico	Argila	~ 4m	Expressiva durante a estação chuvosa
2	22°31'63,0" S 44°40'83,0" O	Semi-lêntico	pedras, cascalhos	~ 11m	Ausente
3	22°31'64,6" S 44°34'00,8" O	Lêntico	Areia, argila	~ 20m	Ausente
4	22°31'33,4" S 44°34'65,1" O	Lótico	Areia, argila, pedras,	~ 3 m	Expressiva durante todas as estações

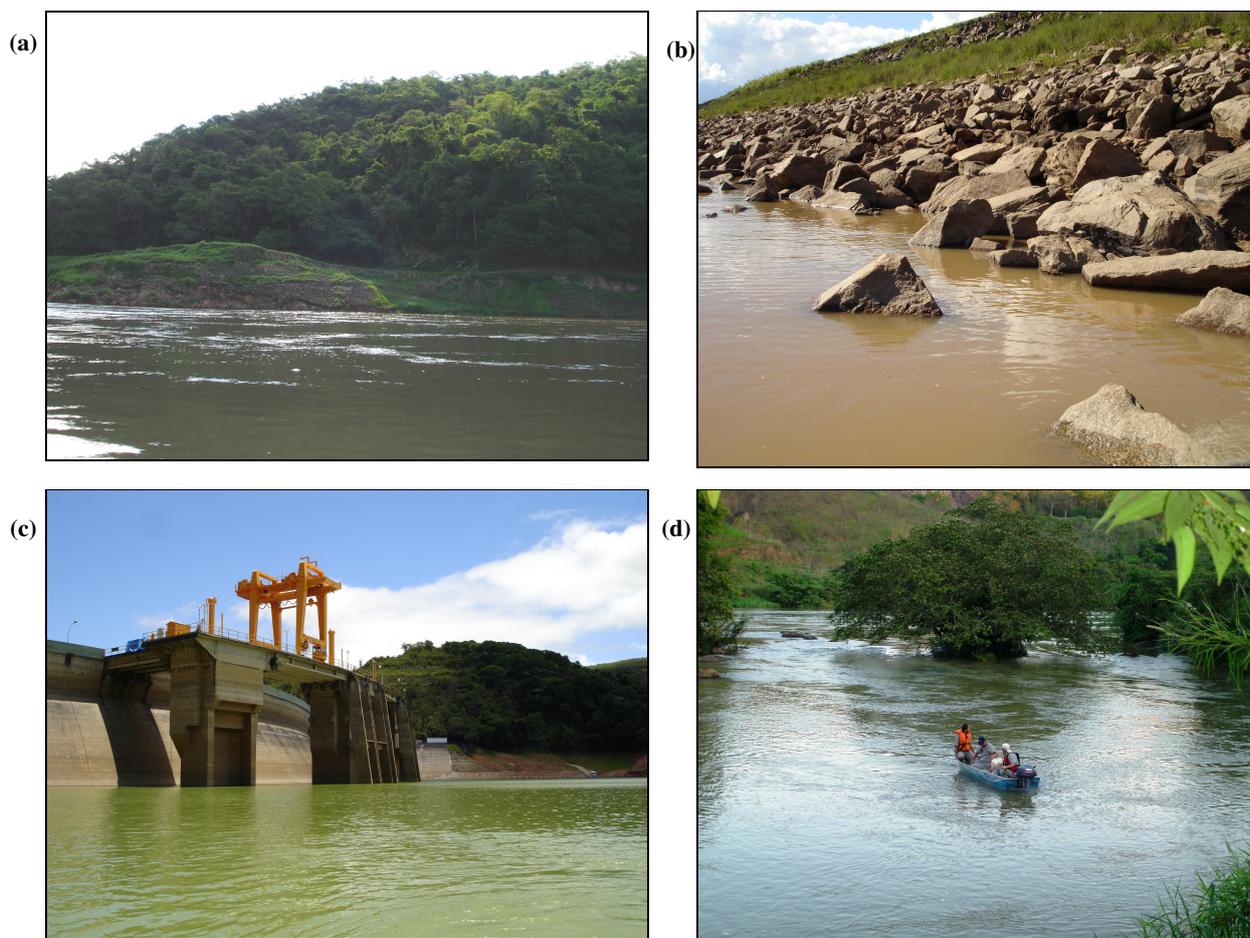


Figura 5: Vista geral das quatro zonas do Sistema do rio Paraíba do Sul-reservatório da UHE do Funil: a- Zona 1 (margem desmatada); b- Zona 2 (paredão de pedras); c- Zona 3 (margem erodida e barragem) e d- Zona 4 (presença de ilhas e vegetação ripária).

3.1 Amostragem

A amostragem da ictiofauna e das variáveis ambientais, nas quatro zonas descritas, foi realizada mensalmente entre outubro de 2006 e setembro de 2007 (exceto maio e julho de 2007). Os meses amostrados foram agrupados em dois períodos (cheia e seca), de acordo com os padrões de precipitação na região do reservatório da UHE do Funil registrados durante o estudo. Assim, o período de cheia foi caracterizado por precipitação mensal variando de 100 a 400 mm, correspondendo aos meses de outubro de 2006 a fevereiro de 2007, enquanto o período de seca, caracterizado por precipitação mensal de 0 a 57 mm, correspondendo aos meses de março a setembro de 2007.

Ictiofauna

A amostragem da ictiofauna ocorreu em quatro locais dispostos aleatoriamente dentro de cada zona. Em cada local foram colocadas três redes (30 m por 2,5 m) com diferentes tamanhos de malha (2,5, 4,5 e 6,5 cm entre nós opostos) totalizando uma área de 900 m² de rede por zona. As redes foram colocadas ao entardecer e retiradas ao amanhecer do dia seguinte, tendo permanecido em operação por aproximadamente 15 horas.

Os peixes coletados foram identificados em campo, contados, pesados (em gramas) e medidos no comprimento total (mm). Todos os indivíduos foram fixados em formalina 10%, durante 48 horas e posteriormente, conservado em etanol 70%. Parte do material foi depositada como material testemunho na coleção ictiológica do Laboratório de Ecologia de Peixes, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Variáveis Ambientais

As variáveis físico-químicas da água foram tomadas por medição direta, juntamente com a amostragem da ictiofauna, em quatro locais dentro de cada uma das quatro zonas. Com o auxílio de um multisensor HORIBA W-21, as medições foram feitas durante o período da manhã, a uma profundidade de 20 cm da superfície da água e a uma distância de aproximadamente 3m da margem. As variáveis mensuradas foram: temperatura (°C); percentagem de saturação de oxigênio; pH; Condutividade (µS/cm) e potencial redox (mV).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A.A.; JULIO JUNIOR, H.F. **Peixes da bacia do alto rio Paraná**. In: Lowe-MCCONNELL, R. H. (Ed) **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: Edusp, 1999. p. 374-400.

AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; PELICICE F.M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501p.

ARAÚJO, F.G. Adaptação do índice de Integridade Biótica usando a comunidade de peixes para o Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, V.58, n.4, p.547-558, 1998.

ARAÚJO, F.G.; FICHBERG, I.; PINTO, B.C.T; PEIXOTO, M.G. Preliminary index of Biotic Integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast, Brazil. **Environmental Management**, New York, V.32, n.4, p.516-526, 2003.

ÁVILA, J.P.; BICUDO, I. "Main Brazilian Dams". Ed. Técnica Ltda. 1982.

BHAT, A. Patterns in the distribution of freshwater fishes in rivers of Central Western Ghats, India, and their associations with environmental gradients. **Hydrobiologia**, V.529, p. 83–97, 2004.

BRANCO, W.C.C.; ROCHA, M.I.A.; PINTO, F.S.P; GÔMARA G.A.; DE FILIPPO, R. Limnological features of Funil Reservoir (R.J., Brazil) and indicator properties of rotifers and cladocerans of zooplankton community. **Lakes & Reservoir and Management**, V.7, p.87-92, 2002.

GOMIERO, L.M.; BRAGA, F.M.S. Feeding of Introduced Species of *Cichla* (Perciformes, Cichlidae) in Volta Grande Reservoir, River Grande (MG/SP). **Brazilian Journal Biology**, V.64, n.4, p.787-795, 2004.

HABIT, E.; BELK, M.C.; TUCKFIELD, R.C.; PARRA, O. Response of the fish community to human-induced changes in the Biobío River in Chile, **Freshwater Biology**, V.51, p.1-11, 2006.

HENRY, R. Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. Un: Tundisi, J.G.; Straskraba, M. (eds) **Theoretical reservoir ecology and its applications**. International Institute of Ecology. Backhuys Publishers & Brazilian Academy of Sciences, São Carlos, 585 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 9 out. 2008.

INEA. **Reservatórios**. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br/reservatorios.asp?cat=75>>. Acesso em 25 jan. 2009.

KLAPPER, H. Water quality problems in reservoirs of Rio de Janeiro, Minas Gerais and São Paulo. **International Review of Hydrobiologia**, V. 83, p. 93–102, 1998.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, V.20, n.2, p.215-226, 2005.

OLDANI, N.O.; BAIGÚN, C.R.M.; NESTLER, J.M.; GOODWIN, R. A. Is fish passage technology saving fish resources in the lower La Plata River basin? **Neotropical Ichthyology**. V.5, n.2, p.89-102, 2007.

PINTO, B.C.T.; ARAÚJO, F.G.; HUGHES, R.M. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil river. **Hydrobiologia**, V.556, p.69-83, 2006.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. Reservoir ecosystem functioning: theory and application. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (Eds). **Theoretical Reservoir ecology**

and its applications. São Carlos: International Institute of Ecology/Brazilian Academy of Sciences, 1999.p. 565-583.

THORNTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. **Reservoir limnology: ecological perspectives.** New York: Wiley-Interscience Publication, 1990. 246 p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Integration of research and management in optimizing multiple uses of reservoirs: the experience of South American and Brazilian cases studies. **Hydrobiologia**, V.500, p.231-242, 2003.

CAPÍTULO I

MUDANÇAS NA ASSEMBLÉIA DE PEIXES EM UM TRECHO LONGITUDINAL DO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL – RESERVATÓRIO DA UHE DO FUNIL

RESUMO

Esse estudo foi proposto com objetivo de analisar as alterações na estrutura da assembléia de peixes em um trecho longitudinal do rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil. A hipótese testada foi de que as mudanças ambientais provocadas pela barragem modificam a composição e estrutura da comunidade de peixes. Coletas mensais padronizadas foram realizadas entre outubro de 2006 e setembro de 2007 em quatro zonas: 1 - rio a montante do reservatório; 2 - parte superior do reservatório; 3 - parte inferior do reservatório, e 4 - rio a jusante do reservatório. Em cada zona, quatro locais foram amostrados. Em cada local, foram colocadas três redes de espera (30 m por 2,5 m) com diferentes tamanhos de malhas (2,5, 4,5 e 6,5 cm entre nós opostos) totalizando uma área de 900 m² por zona. As redes foram colocadas ao entardecer do dia e retiradas ao amanhecer do dia seguinte, tendo permanecido em operação por aproximadamente 15 horas. Um total de 4.548 indivíduos de 35 espécies foi coletado, sendo 11 espécies encontradas somente a montante da barragem e duas espécies encontradas somente a jusante. A maior riqueza e diversidade foram registradas na zona 2, associadas à complexidade de habitat e por ser uma zona de transição entre o sistema lótico e o lêntico, favorecendo espécies adaptadas aos dois tipos de ambiente. As espécies introduzidas (*Metynnis maculatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Cichla monoculus* e *Oreochromis niloticus*) foram mais abundantes nas zonas do reservatório, correspondendo a 22% (zona 2) e 23% (zona 3) do número total de peixes. *Leporinus copelandii* foi a única espécie indicadoras da zona 1 ($p = 0,000$), enquanto 5 espécies foram indicadoras da zona 2. Os ciclídeos (*Geophagus brasiliensis* e *C. monoculus*), o scianídeo *Pachyurus adpersus* e o Characidae *Astyanax bimaculatus* foram indicadores da zona 3. *Astyanax giton*, *Astyanax parahybae* e *Rineloricaria* sp foram indicadores da zona 4. Uma tendência de aumento no número de indivíduos e de espécies carnívoras ao longo do gradiente longitudinal da zona 1 para a zona 3, acompanhado por um número decrescente de herbívoros foi registrada. A assembléia de peixes do rio a jusante do barramento (zona 4) foi diferente das zonas a montante, principalmente da zona 3 (reservatório), indicando os efeitos da barragem alterando a composição e estrutura da ictiofauna.

Palavras chaves: assembléia de peixes, peixes de águas interiores, reservatórios, rios, barragens.

ABSTRACT

This study aims to assess changes in structure of fish assemblages along a longitudinal gradient in the Paraíba do Sul – Funil reservoir stretches. The raised hypothesis is that dams modify composition and structure of river fish assemblages. Standardized monthly samplings were carried out between October 2006 and September 2007 in four zones: 1 = river upstream the reservoir; 2 – upper reaches of the reservoir; 3 - lower reaches of the reservoir; and 4) river downstream the reservoir. Four sites were sample within each four zone. At each site, three gill nets were deployed (30m long per 2.5 height) with different size meshes (2.5 cm, 4.5cm and 6.5cm between opposite knots) covering a total average fished area of 900m² in each zone. The nets were deployed in the afternoon and retrieved in the morning of the following day, operating for approximately 15 hours. A total of 4,548 specimens and 35 species was collected, with 11 being recorded only upstream the dam, and two species exclusively downstream the dam. The highest richness and diversity were recorded for zone 2, associated to higher habitat complexity as a transition zone between lotic and lentic system, favoring the occurrence of species adapted to two types of systems. Introduced species (*Metynnis maculatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Plagiocion squamosissimum*, *Cichla monoculus* and *Oreochromis niloticus*) were abundant in the reservoir zones, amounting to 22% (zone 2) and 23% (zone 3) of the total fish number. *Leporinus copelandii* was the only indicator species for zone 1 ($p=0.000$), while 5 species were indicator for zone 2. Cichlids (*Geophagus brasiliensis* and *C. monoculus*), the sciaenid *Pachyurus adpersus* and the characid *A. bimaculatus* were indicators for zone 3. *Astyanax giton*, *Astyanax paraguayae* and *Rineloricaria* sp were indicator for zone 4. A trend for increasing number of carnivores individuals and species along the longitudinal gradient from zone 1 to zone 3 was recorded, accompanied by a decreasing number of herbivorous. Fish assemblage downstream the dam (zone 4) differed from the other zones upstream, mainly from zone 3, indicating dam effects shifting composition and structure of the ichthyofauna.

Key words: fish assemblages, reservoir, dam, longitudinal gradient.

1 INTRODUÇÃO

Barragens perturbam a continuidade longitudinal dos rios provocando mudanças em parâmetros e processos bióticos e abióticos (STANFORD & WARD, 2001). Dentre os processos abióticos, a redução do fluxo da água é um dos mais impactantes, alterando o transporte de sedimentos, nutrientes e energia (ARMITAGE, 1982; JOHNSON et al., 1995, LIGON et al., 1995). Além disso, ocorrem variações nas concentrações de matéria orgânica dissolvida, transparência, estrutura térmica e condutividade (TUNDISI, 1988). Essas modificações físico-químicas transformam o ambiente lótico em lêntico, alterando, conseqüentemente, a composição das comunidades de peixes.

Em rios, a riqueza da assembléia local normalmente aumenta ao longo do gradiente montante e jusante. Este aumento é muitas vezes atribuído ao aumento do tamanho e diversidade do habitat a jusante ou incremento das fontes de alimento, ou ambos (GORMAN & KARR, 1978; OBERDORFF et al., 2001; GRENOUILLET et al., 2004). Entretanto, barragens, em especial grandes barragens, fragmentam habitats e determinam uma disponibilidade de novos nichos alimentares, ordenando uma nova partilha desses recursos. Deste modo, a colonização em reservatórios está fortemente determinada pela estrutura trófica anterior à construção da barragem, que depende da presença de elementos da guilda com estratégias de alimentação flexível para explorarem os novos nichos (MERONA, et al., 2003). Além disto, o estoque de espécies com potencial de colonização de grandes reservatórios é restrito àquelas distribuídas no rio a montante e com suficiente capacidade de adaptação aos ambientes lênticos, o que limita a riqueza local nativa.

Deste modo, a baixa riqueza de espécies nativas proporciona maiores chances para as espécies introduzidas se desenvolverem (BELKESSAM et al., 1997 *apud* IRZ et al., 2004), modificando a capacidade competitiva da fauna local (MOYLE & LIGHT, 1996). A introdução de espécies é freqüente em reservatórios brasileiros (AGOSTINHO & JÚLIO, 1996). Espécies oriundas da bacia Amazônica e de outros continentes são introduzidas em reservatórios das regiões sul e sudeste do país.

A variação sazonal no nível de fluxo da água é outro fator estruturador das assembléias de peixe dos rios (WOOTTON, 1990). A instabilidade hidrológica e limnológica em rios regulados por barragens podem afetar adversamente a reprodução dos peixes (AGOSTINHO et al., 1992), interferindo nos estímulos que iniciam a atividade migratória de algumas espécies. Além disso, altera o aporte de nutrientes e diminui a disponibilidade de alimento e abrigo, em períodos de seca, quando os níveis da água estão baixos, favorecendo o estabelecimento de espécies oportunistas e de elevada plasticidade trófica.

O rio Paraíba do Sul é um dos sistemas lóticos mais utilizados do país devido sua proximidade com os grandes centros industriais e urbanos brasileiros, com suas águas amplamente utilizadas para fins domésticos e industriais. O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) do Funil é um importante represamento deste rio no estado do Rio de Janeiro, sendo uma das maiores intervenções antrópicas no rio Paraíba do Sul para geração de energia hidrelétrica.

O objetivo do presente trabalho foi investigar a composição e estrutura da assembléia de peixes no reservatório Funil e no rio Paraíba do Sul, a montante e a jusante, e identificar os parâmetros que determinam suas variações espaço-temporais. As seguintes questões são abordadas: A diversidade local é alterada ao longo do eixo longitudinal rio-reservatório? A composição e estrutura da assembléia de peixes são afetadas pela obstrução do fluxo do rio, devido ao represamento? Existem mudanças nos grupos funcionais? A hipótese a ser testada é de que a mudança do ambiente lótico para lênticos afeta a riqueza, composição e estrutura da assembléia de peixes devido a mudanças físicas, químicas e biológicas no sistema.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudos

A área de estudo abrangeu parte do trecho médio-superior da bacia rio Paraíba do Sul, na área de influência da UHE do Funil, compreendendo uma extensão de aproximadamente 35 km. Quatro zonas foram consideradas para a caracterização do eixo longitudinal rio-reservatório, duas apresentando características lólicas (Zona 1 – a montante do reservatório e Zona 4 – a jusante da barragem) e duas dentro do reservatório, caracterizando o ambiente lético (Zona 2 – parte alta do reservatório e Zona 3 – próxima a barragem).

2.2 Amostragem

A amostragem da ictiofauna ocorreu em quatro locais dispostos aleatoriamente dentro de cada zona. Em cada local foram colocadas três redes (30 m por 2,5 m) com diferentes tamanhos de malha (2,5, 4,5 e 6,5 cm entre nós opostos), totalizando uma área de 900 m² de rede por zona. As redes foram colocadas ao entardecer e retiradas ao amanhecer do dia seguinte, tendo permanecido em operação por aproximadamente 15 horas.

Os peixes coletados foram identificados em campo, contados, pesados (em gramas) e medidos no comprimento total (mm). Todos os indivíduos foram fixados em formalina 10%, durante 48 horas e posteriormente, conservado em etanol 70%. Parte do material foi depositada como material testemunho na coleção ictiológica do Laboratório de Ecologia de Peixes, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

2.3 Análise dos Dados

2.3.1 CPUE

Abundância e biomassa foram padronizadas pela captura por unidade de esforço (CPUE), definida como a soma do número (CPUE_n) e peso (CPUE_b) totais de peixes coletados por 100 m² de rede por 24 horas. Este procedimento permitiu comparações quantitativas, espaço-temporais, de indivíduos e espécies.

2.3.2 Riqueza de espécies

O índice de rarefação de Coleman foi utilizado para a construção das curvas de rarefação em função do número de indivíduos por zona, de forma a possibilitar a análise da riqueza de espécies, em níveis comparáveis de esforço amostral (GOTELLI & COLWELL, 2001). Além disso, a riqueza de espécies para cada zona foi estimada pelo método não paramétrico Jackknife 2 (SMITH & VAN BELLE, 1984), um dos estimadores menos influenciados pelo tamanho amostral (COLWELL & CODDINGTON, 1994). As análises foram feitas no programa EstimateS 8.0 (COLWELL, 2006).

2.3.3 Heterogeneidade

Com o objetivo de analisar o padrão de organização da comunidade foi elaborada uma curva com o rank de espécie-abundância (*Whittaker plot*) para cada zona. A distribuição das abundâncias observadas, em cada zona foi comparada a três modelos teóricos de distribuição: série geométrica, série logarítmica e série log-normal, com o auxílio do Programa *Past* versão 1.86b (HAMMER et al., 2001). O ajuste dos dados observados à curva dos dados esperados para cada modelo foi testado com o teste do Qui-quadrado (χ^2). As distribuições das

abundâncias foram consideradas ajustadas a um determinado modelo quando não houve diferença significativa entre os dados observados e esperados ao nível de 95% de confiança.

A diversidade em escala alfa foi analisada pelos parâmetros: índice de Shannon (H'), equitabilidade (J') (PIELOU, 1966), riqueza de espécies (D) de MARGALEF (1958) e índice de dominância (S_i) proposto por SIMPSON (1949). O índice de diversidade de Shannon (H') foi calculado como:

$$H' = -\sum p_i * \ln (p_i) \text{ onde:}$$

p_i = proporção numérica da espécie i na amostra total;

\ln = logaritmos naturais (neperianos).

A Equitabilidade (J) foi calculada como:

$$J = H' / H' \text{ Max.}$$

A riqueza de Margalef (D) foi calculada como:

$$D = (S - 1) / \ln (N) \text{ onde:}$$

S = número de espécies na amostra;

N = número de indivíduos na amostra.

A dominância de Simpson foi calculada como:

$$S_i = \sum \{n_i (n_i - 1) / N (N - 1)\} \text{ onde:}$$

n_i é o número de indivíduos da espécie i em uma amostra;

N é o número total de indivíduos na amostra.

2.3.4 Constância de Ocorrência

A constância de espécies foi calculada de acordo com DAJOZ (1973), para todas as zonas amostradas incluindo todas as espécies capturadas. As seguintes categorias foram estabelecidas: constante (igual ou maior que 50%), acessória (igual ou maior que 25% e menor que 50%) e acidental (menor que 25%).

2.3.5 Espécies Indicadoras

Para determinar quais espécies são capazes de melhor categorizar (medida de bioindicação) as diferentes zonas do reservatório, o Valor Indicador Individual (*IndVal*) foi utilizado. Este método desenvolvido por Dufrene & Legendre (1997) foi aplicado utilizando-se o PCOrd (MCCUNE & MEFFORD, 1997). Esta análise de espécies indicadoras emite um valor de 0 a 100%, onde zero equivale a não-indicação da espécie como indicador para determinado ambiente e 100 indica que a ocorrência de determinada espécie é característica do ambiente.

2.3.6 Composição Trófica

Informações sobre os principais hábitos alimentares de algumas espécies disponíveis na literatura (ARAÚJO et al., 2009) foram utilizadas para a interpretação dos padrões de distribuição das guildas alimentares. Assim foram consideradas cinco divisões: herbívoros, detritívoros, onívoros, invertívoros e carnívoros.

2.4 Tratamento Estatístico

Comparações das médias do número de indivíduos e de espécies por unidade amostral, bem como índices de diversidade foram feitas entre as quatro zonas e entre os períodos de cheia e seca, utilizando o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Quando diferenças significativas foram encontradas, foi utilizado o teste de Comparações Múltiplas do Rank de Médias para Todos os Grupos ($p < 0,05$) para comparações caso a caso. Estes testes não-paramétricos foram utilizados em substituição a ANOVA (Análise de Variância), uma vez que os dados não atenderam aos requisitos de homocedasticidade e normalidade (ZAR, 1999).

Para as espécies indicadoras foi realizada uma análise estatística de significância usando o teste de Monte Carlo obtido (1.000 randomizações) para determinar a significância estatística dos valores indicadores ($p < 0,05$).

Diferenças espaciais na estrutura da ictiofauna foram detectadas pela análise de ordenação não paramétrica de escalonamento multidimensional (nMDS), utilizando como medida de similaridade a Distancia Euclidiana e como transformação dos dados o $\log x+1$. A qualidade do *plot* é indicada por seu valor de estresse: valores $<0,2$ indicam ordenação aceitável; valores $<0,1$ correspondem a uma boa coordenação; e estresse $<0,05$ é uma excelente representação. A fim de verificar se existem diferenças significativas na composição das espécies entre as zonas, uma análise de similaridade não paramétrica (ANOSIM), proposto por Clarke (1993) foi usada. O ANOSIM é um teste de similaridade monofatorial baseada em permutações, que fornece um R estatístico que reflete a quantidade de dissimilaridade associada com cada fator. Uma análise de similaridade pormenorizada, SIMPER, foi empregada para identificar a contribuição de cada espécie para a similaridade em cada zona e a percentagem de dissimilaridade entre as zonas estudadas. Estas análises multivariadas foram realizadas com o software PRIMER 5 (Primer-E, 2000).

3 RESULTADOS

Composição

Um total de 4.548 indivíduos foi coletado pertencentes a 35 espécies (5 introduzidas), 28 gêneros, 15 famílias e cinco ordens (Tabela 1). Os Characiformes corresponderam a 45,7% do total de espécies, seguidos dos Siluriformes, com 28,6%. Os Perciformes foram representados por 6 espécies (17,1%) e as ordens menos representadas, Gymnotiformes e Synbranchiformes contribuíram com 5,7 e 2,9% do total de espécies. A família que apresentou maior número de espécies foi Characidae ($S = 9$), seguida por Loricariidae e Cichlidae com ($S = 4$) espécies cada.

Tabela 1: Lista de espécies agrupadas por ordem e família, coletadas no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório do Funil (* espécies introduzidas).

Ordem	Família	Espécie		
Characiformes	Anostomidae	<i>Leporinus copelandii</i> Steindachner, 1875		
		<i>Leporinus conirostris</i> Steindachner, 1875		
		<i>Leporinus mormyrops</i> Steindachner, 1875		
	Characidae	<i>Astyanax bimaculatus</i> (Linnaeus, 1758)		
		<i>Astyanax parahybae</i> Eigenmann, 1908		
		<i>Astyanax giton</i> Eigenmann, 1908		
		<i>Astyanax</i> sp.		
		<i>Brycon</i> sp.		
		<i>Probolodus heterostomus</i> Eigenmann, 1911		
		<i>Oligosarcus hepsetus</i> (Cuvier, 1829)		
		<i>Piaractus mesopotamicus</i> (Holmberg, 1887)*		
		<i>Metynnis maculatus</i> (Kner, 1858)*		
		Chrenuchiidae	<i>Characidium lauroi</i> Travassos, 1949	
			Curimatidae	<i>Cyphocharax gilbert</i> (Quoy & Gaimard, 1824)
				Erythrinidae
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i> (Agassiz, 1829)				
Siluriformes	Callichthyidae	<i>Callichthys callichthys</i> (Linnaeus, 1758)		
		<i>Hoplosternum littorale</i> (Hancock, 1828)		
	Loricariidae	<i>Hypostomus affinis</i> (Steindachner, 1877)		
		<i>Hypostomus auroguttatus</i> Kner, 1854		
		<i>Rineloricaria</i> sp.		
		<i>Rhinelepis aspera</i> Spix & Agassiz, 1829		
		Heptapteridae	<i>Rhamdia</i> sp.	
		Pimelodidae	<i>Pimelodus maculatus</i> La Cèpede, 1803	
	<i>Pimelodus fur</i> (Lütken, 1874)			
	Gymnotiformes	Auchenipteridae	<i>Glanidium albescens</i> Lütken, 1874	
		Gymnotidae	<i>Gymnotus carapo</i> Linnaeus, 1758	
	Synbranchiformes	Sternopygidae	<i>Eigenmannia virescens</i> (Valenciennes, 1842)	
Synbranchidae		<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795		
Perciformes	Sciaenidae	<i>Pachyurus adpersus</i> Steindachner, 1879		
		<i>Plagioscion squamosissimus</i> (Heckel, 1840)*		
	Cichlidae	<i>Cichla monoculus</i> Spix & Agassiz, 1831*		
		<i>Crenicichla lacustris</i> (Castelnau, 1855)		
		<i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy & Gaimard, 1824)		
		<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)*		

Das 35 espécies coletadas, onze espécies foram encontradas somente a montante (zonas 1, 2 e 3) da barragem (*Cichla monoculus*, *Callichthys callichthys*, *Cyphocharax gilbert*, *Pachyurus adpersus*, *Hoplerythrinus unitaeniatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Characidium lauroi*, *Brycon insignis*, *Pimelodus fur*, *Astyanax* sp e *Synbranchus marmoratus*).

A jusante da barragem, somente duas espécies foram exclusivas (*Rhamdia* sp. e *Astyanax giton*). Quatorze espécies (*Astyanax bimaculatus*, *Pimelodus maculatus*, *Astyanax parahybae*, *Hoplosternum littorale*, *Metynnis maculatus*, *C. monoculus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Hypostomus auroguttatus*, *Oligosarcus hepsetus*, *Geophagus brasiliensis*, *Leporinus copelandii*, *Hypostomus affinis*, *Hoplias malabaricus* e *Leporinus conirostris*) contribuíram cada uma com abundância numérica acima de 1%, totalizando 95% do número de indivíduos coletados e, 94,2% da biomassa total (Tabela 2).

Astyanax bimaculatus e *P. maculatus* foram as espécies mais abundantes, considerando todas as zonas, correspondendo a 35% e 21% do número total de peixes, respectivamente. Entretanto, o maior valor de biomassa foi registrado para *P. maculatus*, que correspondeu a 30% do total de peso, enquanto *A. bimaculatus* correspondeu a 9% (Figura 1).

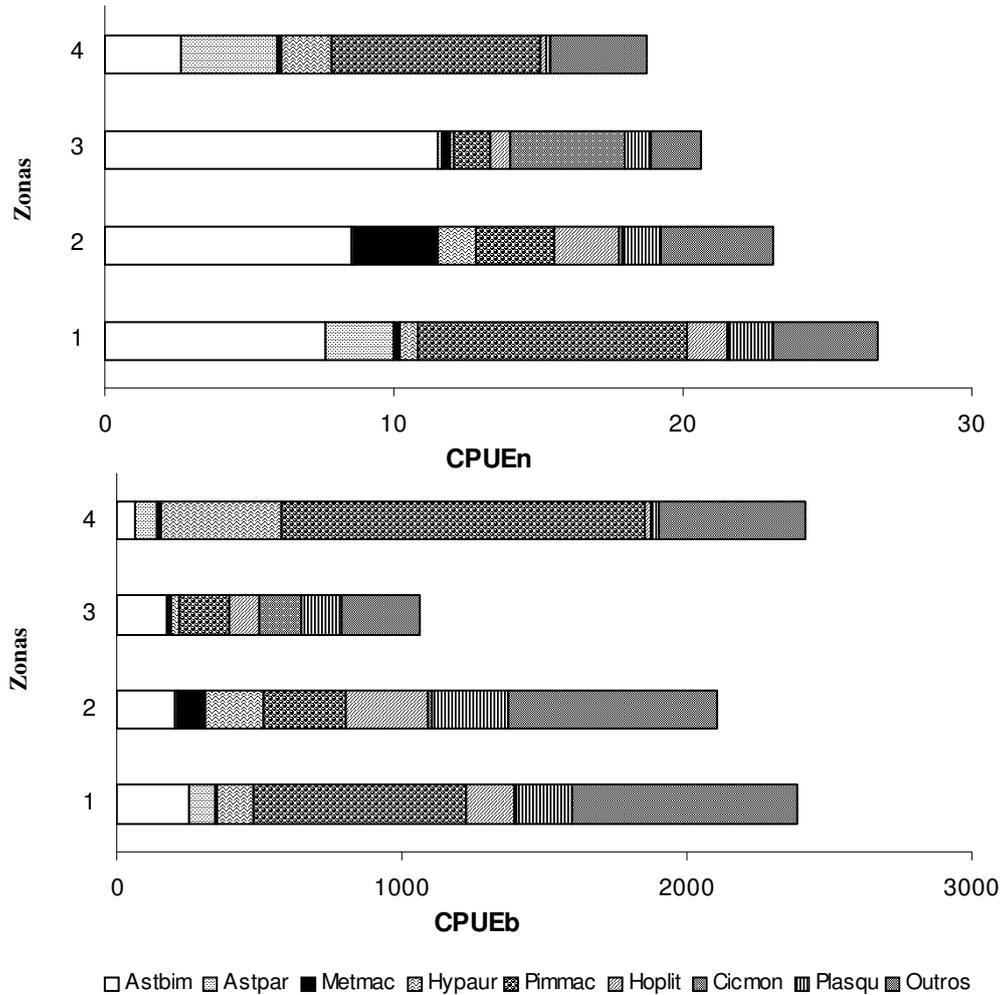


Figura 1: Abundancia (CPUEa) e biomassa (CPUEb) das oito espécies mais abundantes por zonas. Código das espécies: Astbim – *Astyanax bimaculatus*; Astpar – *Astyanax parahybae*; Metmac – *Metynnis maculatus*; Hypaur – *Hypostomus auroguttatus*; Pimmac – *Pimelodus maculatus*; Hoplit – *Hoplosternum littorale*; Cicmon – *Cichla monoculus*; Plasqu – *Plagioscion squamosissimus*.

Tabela 2: Número total de indivíduos (N), número de indivíduos por zona, constância de Dajoz e amplitude de comprimento total (CT em mm) no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil. Cn = Constante; Ac = Acessória; Ai = Acidental.

Espécies	N	%	Zonas								CT
			Indivíduos				Constância				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
<i>Astyanax bimaculatus</i>	1618	35,6	366	418	718	117	Cn	Cn	Cn	Cn	89 - 149
<i>Pimelodus maculatus</i>	969	21,3	422	135	70	343	Cn	Cn	Cn	Cn	98 - 350
<i>Astyanax paraguayae</i>	283	6,2	114	4	10	155	Ac	Ai	Ai	Ac	90 - 140
<i>Hoplosternum littorale</i>	229	5,0	70	115	37	7	Ac	Cn	Ac	Ai	127 - 210
<i>Metynnis maculatus</i>	223	4,9	11	190	16	7	Ai	Ac	Ai	Ai	118 - 149
<i>Cichla monoculus</i>	211	4,6	3	7	201	0	Ai	Ai	Ac	-	110 - 271
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	208	4,6	77	70	54	7	Ac	Cn	Cn	Ai	105 - 360
<i>Hypostomus auroguttatus</i>	181	4,0	26	66	7	81	Ac	Cn	Ai	Cn	190 - 354
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	105	2,3	24	16	22	43	Ac	Ac	Ac	Ac	149 - 303
<i>Geophagus brasiliensis</i>	78	1,7	0	45	28	5	-	Ac	Ac	Ai	139 - 228
<i>Leporinus copelandii</i>	65	1,4	33	20	2	10	Ac	Ac	Ai	Ai	164 - 435
<i>Hypostomus affinis</i>	61	1,3	21	17	7	16	Ai	Ai	Ai	Ai	248 - 354
<i>Hoplias malabaricus</i>	55	1,2	18	19	8	10	Ac	Ac	Ai	Ai	150 - 417
<i>Leporinus conirostris</i>	48	1,1	13	26	3	6	Ai	Ac	Ai	Ai	248 - 354
<i>Gymnotus carapo</i>	41	0,9	10	26	1	4	Ai	Ac	Ai	Ai	237 - 341
<i>Callichthys callichthys</i>	25	0,5	16	8	2	0	Ai	Ai	Ai	-	125 - 172
<i>Astyanax giton</i>	23	0,5	0	0	0	23	-	-	-	Ai	95 - 115
<i>Cyphocharax gilbert</i>	23	0,5	18	5	0	0	Ai	Ai	-	-	180 - 230
<i>Rineloricaria sp</i>	16	0,4	0	2	1	14	-	Ai	Ai	Ai	135 - 160
<i>Pachyurus adspersus</i>	14	0,3	2	2	10	0	Ai	Ai	Ai	-	215 - 252
<i>Eigenmannia virescens</i>	12	0,3	7	1	0	4	Ai	Ai	-	Ai	209 - 300
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>	9	0,2	3	5	1	0	Ai	Ai	Ai	-	171 - 220
<i>Oreochromis niloticus</i>	9	0,2	0	3	5	1	-	Ai	Ai	Ai	230 - 316
<i>Rhinelepis aspera</i>	8	0,2	0	5	0	3	-	Ai	-	Ai	249 - 275
<i>Leporinus mormyrops</i>	6	0,1	1	3	0	2	Ai	Ai	-	Ai	160 - 185
<i>Probolodus heterostomus</i>	5	0,1	0	1	1	3	-	Ai	Ai	Ai	107 - 126
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	4	0,1	3	0	1	0	Ai	-	Ai	-	100 - 122
<i>Crenicichla lacustris</i>	4	0,1	0	1	0	3	-	Ai	-	Ai	290 - 913
<i>Characidium lauroi</i>	3	0,1	1	2	0	0	Ai	Ai	-	-	204 - 209
<i>Brycon insignis</i>	2	<0,1	1	1	0	0	Ai	Ai	-	-	180 - 190
<i>Rhamdia sp</i>	2	<0,1	0	0	0	2	-	-	-	Ai	140 - 160
<i>Pimelodus fur</i>	2	<0,1	0	0	2	0	-	-	Ai	-	123 - 149
<i>Glanidium albescens</i>	2	<0,1	1	0	0	1	Ai	-	-	Ai	145 - 150
<i>Astyanax sp</i>	1	<0,1	0	0	1	0	-	-	Ai	-	120
<i>Synbranchus marmoratus</i>	1	<0,1	0	0	1	0	-	-	Ai	-	415
Total	4548	100	1261	1211	1209	866					
Total de espécies	35		24	28	25	24					

As espécies introduzidas *Metynnis maculatus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Cichla monoculus* e *Oreochromis niloticus* corresponderam a 14% do número total de espécies considerando todas as zonas amostradas. No reservatório, as espécies introduzidas corresponderam a 22% (zona 2) e 23% (zona 3) do número de peixes. *Metynnis maculatus* e *Cichla monoculus* foram às espécies introduzidas mais importantes, correspondendo a 70% e 72% do total de indivíduos não nativos, respectivamente. Nas zonas de rio (zonas 1 e 4), as espécies introduzidas foram menos abundantes, correspondendo a 7,5% (zona 1) e 1,7% (zona 4) do número total de peixes.

Constância de Espécies

Em todas as zonas foi observado maior número de espécies acidentais. Poucas espécies foram constantes, sendo *Astyanax bimaculatus* e *Pimelodus maculatus* as únicas espécies constantes em todas as zonas. O número de espécies acessórias variou de duas na zona 4 a 7 nas zonas 1 e 2 (Tabela 2).

Riqueza de Espécies

De acordo com as curvas de rarefação, a riqueza esperada para uma amostragem com 750 indivíduos em cada zona, foi de 26 espécies para a zona 2 e de 21 espécies para a zona 3. Para as zonas 1 e 4 foram estimadas 23 e 24 espécies, respectivamente. (Figura 2). A riqueza de espécies estimada pelo índice de Jackknife 2 foi de 33 espécies para a zona 1, 35 espécies para a zona 2, 34 espécies para a zona 3 e 29 espécies para a zona 4.

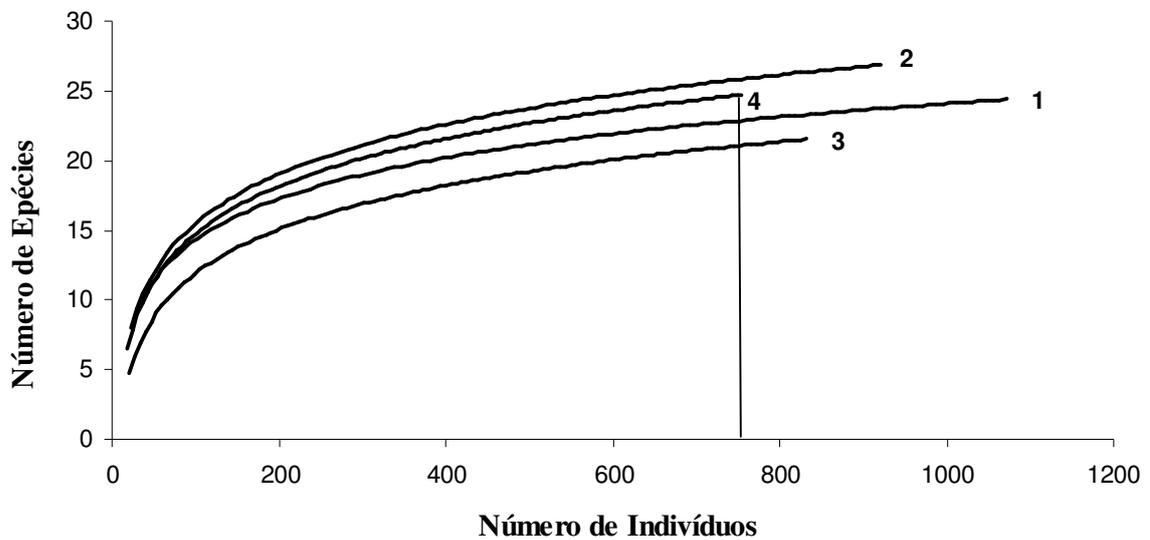


Figura 2: Curvas de rarefação (Coleman) estimadas para a assembléia de peixes das quatro zonas (1=zona 1, 2=zona 2, 3= zona 3 e 4= zona 4).

Heterogeneidade

A curva de espécie - abundância para todas as zonas apresentou maior número de espécies intermediárias, seguidas das raras e poucas espécies dominantes (Figura 3).

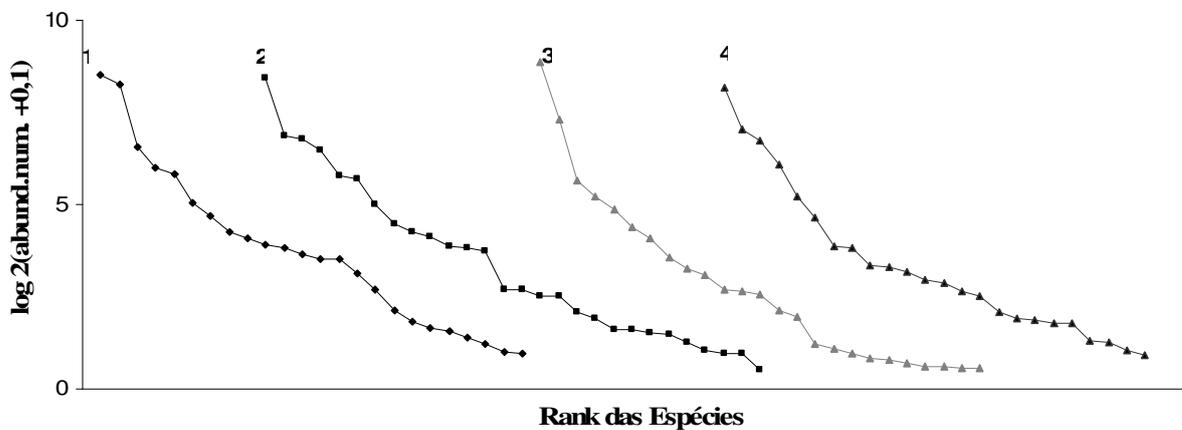


Figura 3: Curvas de espécies-abundâncias para cada zona (1 = zona 1, 2 = zona 2, 3 = zona 3 e 4 = zona 4).

Os valores observados nas quatro zonas, quando comparados aos esperados para as séries teóricas, apresentaram diferenças significativas em relação à série geométrica (Figuras 4-7) e logarítmica (Figuras 8-11). A única série que se ajustou aos dados coletados em todas as zonas foi a log-normal (Figuras 12-15), na qual o teste de χ^2 não detectou diferenças significativas (Tabela 3).

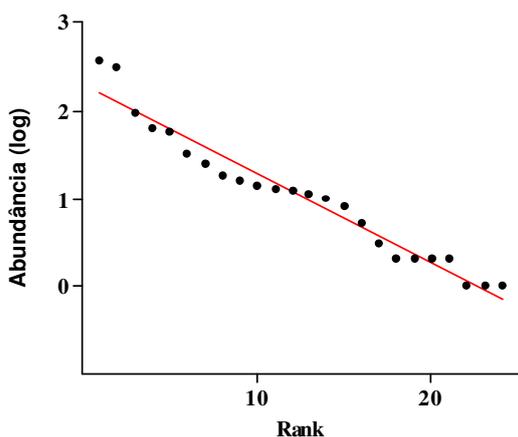


Figura 4: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 1 e modelo teórico da série geométrica (linha).

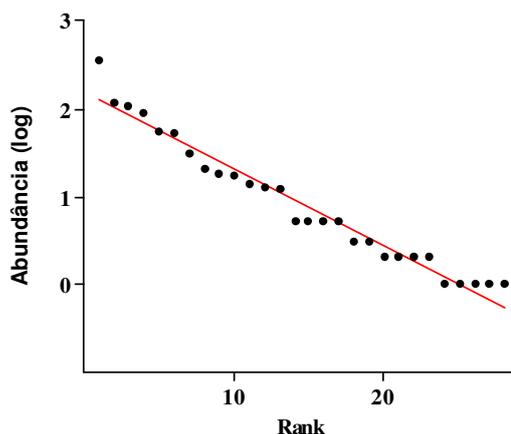


Figura 5: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 2 e modelo teórico da série geométrica (linha).

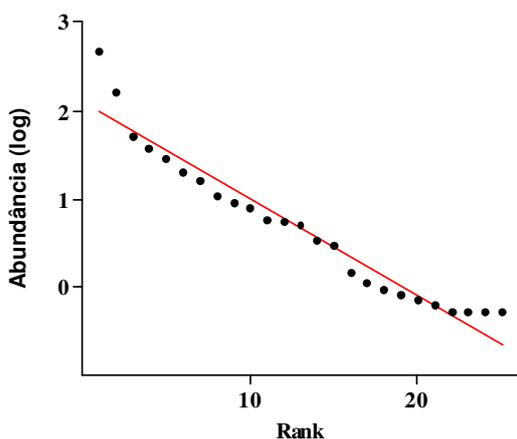


Figura 6: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 3 e modelo teórico da série geométrica (linha).

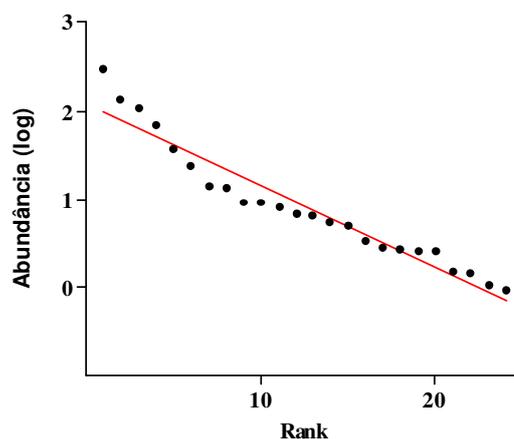


Figura 7: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 4 e modelo teórico da série geométrica (linha).

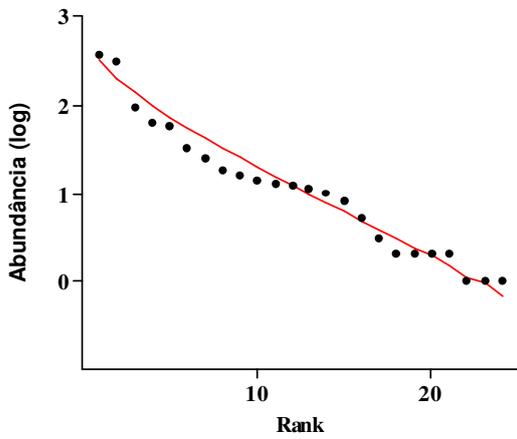


Figura 8: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 1 e modelo teórico da série logarítmica (linha).

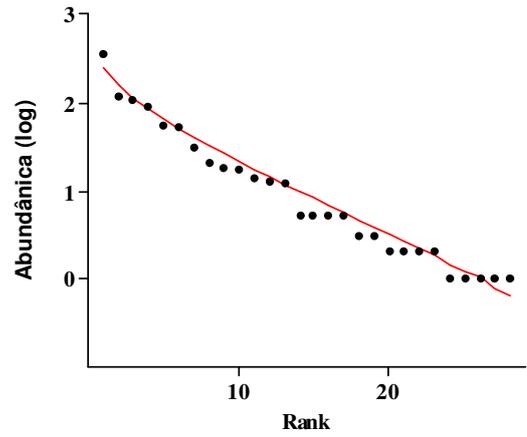


Figura 9: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 2 e modelo teórico da série logarítmica (linha).

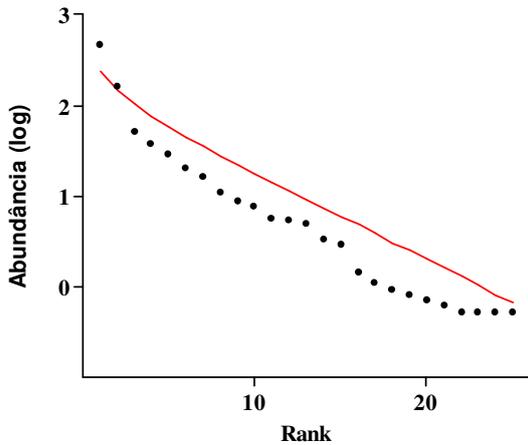


Figura 10: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 3 e modelo teórico da série logarítmica (linha).

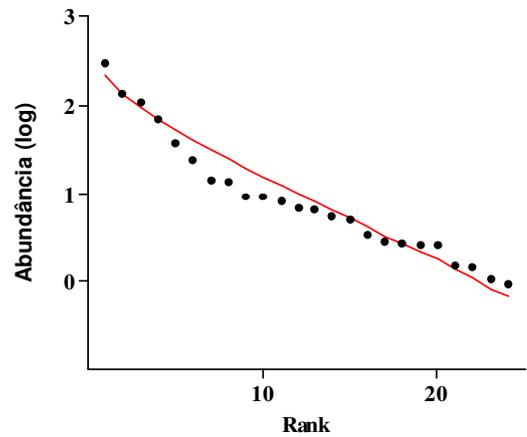


Figura 11: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (pontos) na zona 4 e modelo teórico da série logarítmica (linha).

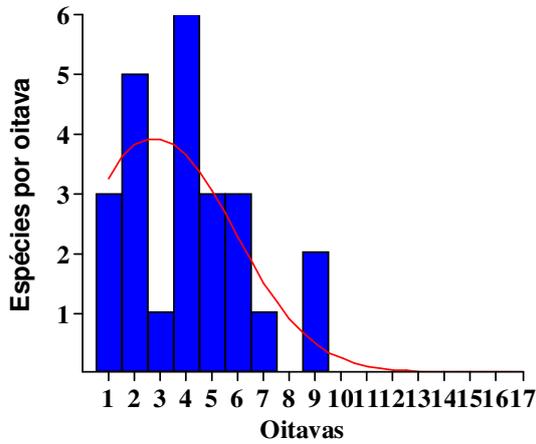


Figura 12: Distribuição dos dados observados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (barras) na zona 1 e modelo teórico da série log-normal (linha).

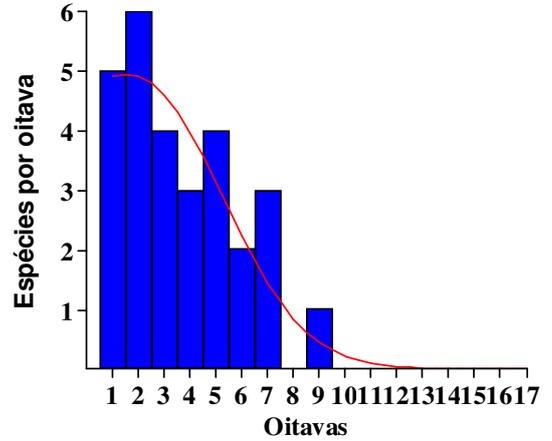


Figura 13: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (barras) na zona 2 e modelo teórico da série log-normal (linha).

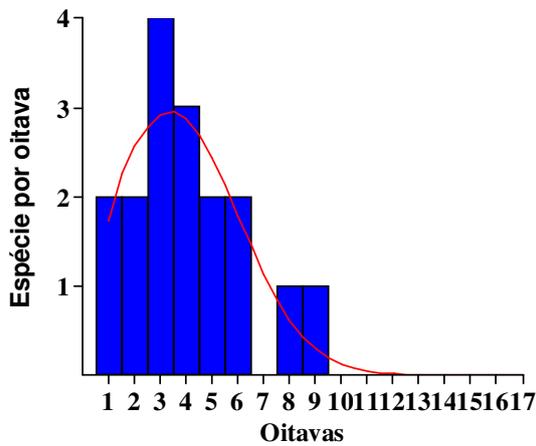


Figura 14: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (barras) na zona 3 e modelo teórico da série log-normal (linha).

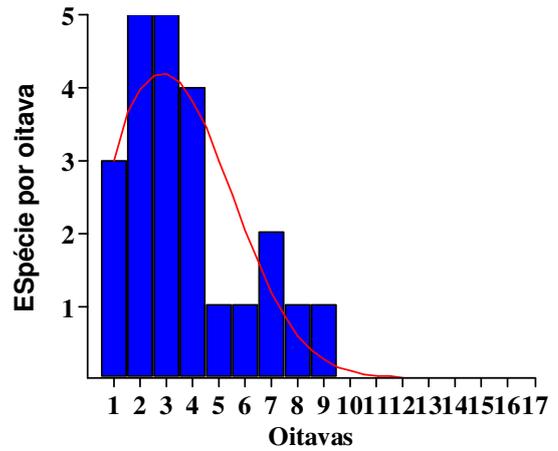


Figura 15: Distribuição dos dados da abundância em relação à posição (*rank*) das espécies (barras) na zona 4 e modelo teórico da série log-normal (linha).

Tabela 3: Comparações entre as distribuições de espécies observadas e as séries teóricas para cada zona, utilizando o teste χ^2 . NA = não ajustado e AJ = ajustado. A = índice de diversidade; k = proporção do espaço de nicho disponível; x = parâmetro da série logarítmica.

		Zonas			
		1	2	3	4
Série Geométrica	k	0,2103	0,1832	0,2239	0,1937
	p	0	0	0	0
		NA	NA	NA	NA
Série Logarítmica	α	4,359	5,444	4,864	4,731
	x	0,9959	0,9942	0,9941	0,9937
	p	0	0	0	0
		NA	NA	NA	NA
Série Log-normal	Média	0,8729	0,6729	0,9952	0,8545
	Variância	0,7537	0,8383	0,5862	0,574
	p	0,3879	0,9292	0,7169	0,5977
		AJ	AJ	AJ	AJ

Entre os parâmetros utilizados para analisar a diversidade alfa, somente o Índice de Shannon foi significativamente diferente entre as zonas ($p < 0,05$). Os demais índices não apresentaram diferenças significativas (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros de diversidade local estimados para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil. H – estatístico do teste de Kruskal – Wallis; * significativo ao nível de 95%. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre pares.

	Zonas				H
	1	2	3	4	
Shannon (H')	1,20 \pm 0,10	1,40 \pm 0,08 ^a	1,12 \pm 0,08 ^b	1,16 \pm 0,07	11,28*
Simpson (Si)	0,36 \pm 0,05	0,30 \pm 0,03	0,33 \pm 0,05	0,31 \pm 0,01	1,71
Equitabilidade (H'/logS)	0,74 \pm 0,03	0,76 \pm 0,02	0,69 \pm 0,04	0,78 \pm 0,02	2,26
Margalef (D)	1,75 \pm 0,15	2,06 \pm 0,14	1,91 \pm 0,16	1,59 \pm 0,11	7,08

Espécies indicadoras

Do total das 35 espécies analisadas, 13 apresentaram valores indicadores significativos (Tabela 5). A única espécie indicadora da zona 1 foi *L. copelandii* ($p=0.000$), enquanto 5 espécies foram indicadoras da zona 2. Os ciclídeos (*G. brasiliensis* e *C. monoculus*), o sciaenídeo *P. adpersus* e o caracídeo *A. bimaculatus* foram indicadores da zona 3. *Astyanax giton*, *A. parahybae* e *Rineloricaria* sp. foram indicadores da zona 4.

Tabela 5: Valores significativos da análise de espécies indicadoras das assembléias de peixes para as quatro zonas.

Espécie	Valor da Indicação (Ind Val)	p	Zona
<i>Leporinus copelandii</i>	27,7	0,000	1
<i>Hoplosternum littorale</i>	34,2	0,000	2
<i>Metynnis maculatus</i>	27,2	0,006	2
<i>Hypostomus auroguttatus</i>	26,8	0,008	2
<i>Gymnotus carapo</i>	21,9	0,002	2
<i>Leporinus conirostris</i>	17,3	0,009	2
<i>Cichla monoculus</i>	46,4	0,000	3
<i>Astyanax bimaculatus</i>	32,1	0,025	3
<i>Geophagus brasiliensis</i>	17,5	0,032	3
<i>Pachyurus adpersus</i>	13,3	0,005	3
<i>Astyanax paraguayae</i>	27,5	0,003	4
<i>Astyanax giton</i>	17,5	0,000	4
<i>Rineloricaria</i> sp	15,4	0,004	4

Guildas Tróficas

Os onívoros foram dominantes em todo o sistema, tanto em número de indivíduos como em número de espécies. Uma tendência crescente no número de indivíduos ao longo do gradiente longitudinal da zona 1 para a zona 3 foi observado, acompanhado por um número decrescente de herbívoros. Peixes detritívoros ocorreram em maior número na zona 2 (18%), seguido pela zona 4 (14%), enquanto na zona 3 representaram apenas 4,5% do número total de indivíduos. Os invertívoros foram encontrados principalmente nas zonas 1 e 2, representando 7,7% e 8,4% do número total de indivíduos, respectivamente (Figura 16).

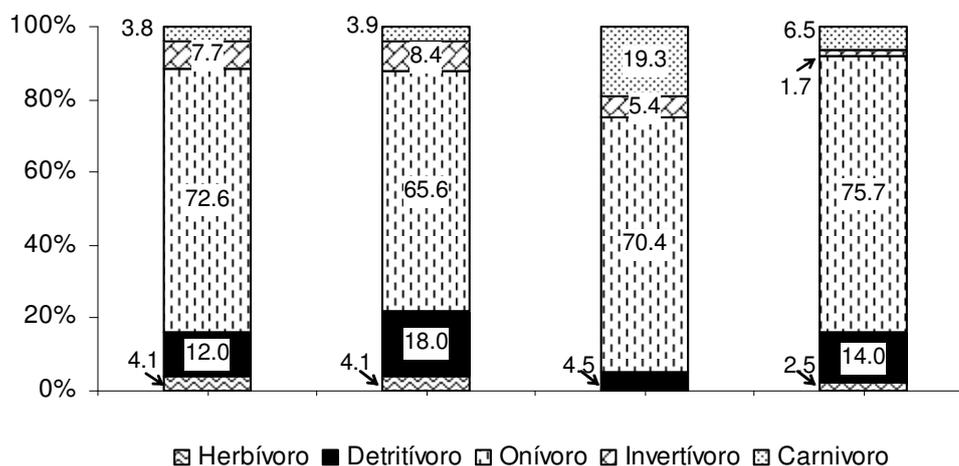


Figura 16: Proporções relativas dos indivíduos por guilda trófica nas quatro zonas amostradas no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.

Variação espaço-temporal

A distribuição da CPUE_n ao longo do eixo longitudinal do sistema estudado não diferiu entre as zonas, apesar de uma tendência de maior número de indivíduos na zona 1 ter

sendo detectada. A CPUEb foi menor na zona 3 ($H = 18,97$, $p < 0,05$) em comparação com as outras zonas (Fig. 17).

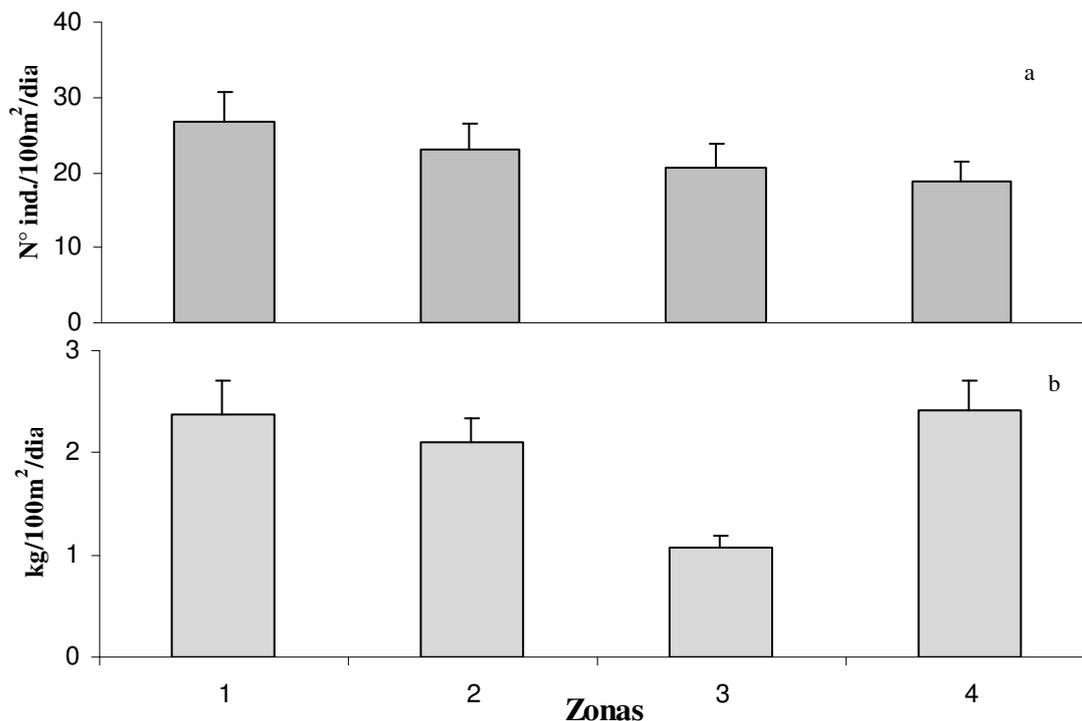


Figura 17: Variação espacial e erro padrão em número (a - CPUEa) e biomassa (b - CPUEb) de peixes no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil.

Considerando os períodos (cheia e seca), foram detectadas variações tanto na CPUEa como na CPUEb dentro de cada zona e entre as zonas (Figuras 18 e 19). No período de cheia, a única diferença significativa ($H = 15,49$; $p = 0,001$) detectada na CPUEa foi detectada entre a zona 1 ($40,79 \pm 6,28$) e a zona 3 ($13,42 \pm 2,56$). A CPUEb no mesmo período, foi maior nas zonas 1, 2 e 4 em relação a zona 3 ($H = 28,37$; $p = 0,000$). No período de seca, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas de CPUEa e CPUEb entre as zonas, embora o padrão observado na cheia tenha sido invertido, com a zona 3 apresentando elevada CPUEa e a distribuição da CPUEb não tenha sido diferenciado entre as zonas.

Dentro de cada zona, apenas as zonas de rio (1 e 4) apresentaram diferenças significativas de CPUEa e CPUEb entre os períodos de cheia e seca. Na zona 1, a cheia foi o período de maior CPUEa ($H = 13,03$; $p = 0,000$) e CPUEb ($H = 16,37$; $p = 0,000$) em comparação com a seca. O mesmo padrão foi observado na zona 4 para número ($H = 7,17$; $p = 0,007$) e biomassa ($22,66$; $p = 0,000$). Nas zonas do reservatório (2 e 3), os valores de CPUEa e CPUEb apresentaram grande variação, o que não permitiu estatisticamente a observação de diferenças significativas.

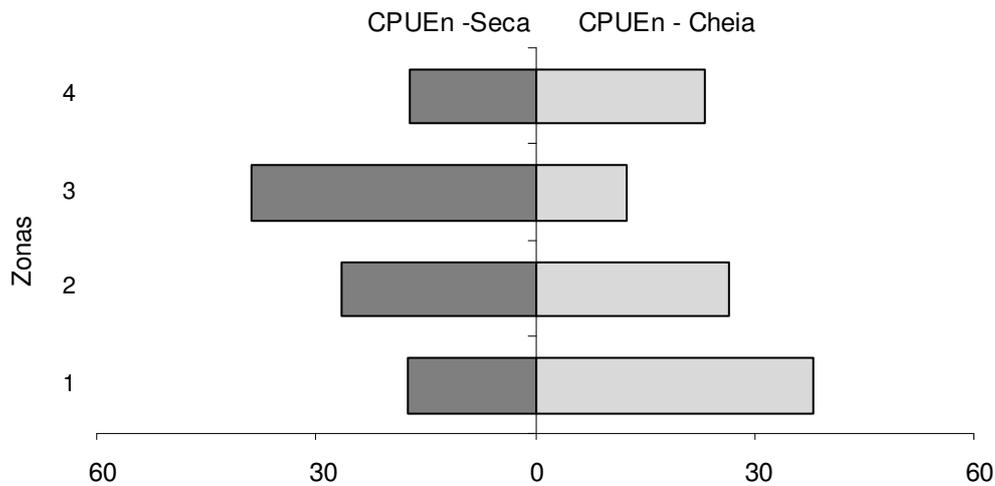


Figura 18: Valores médios de CPUEn (Número de indivíduos/100m²/dia) para os períodos de cheia e seca nas quatro zonas amostradas.

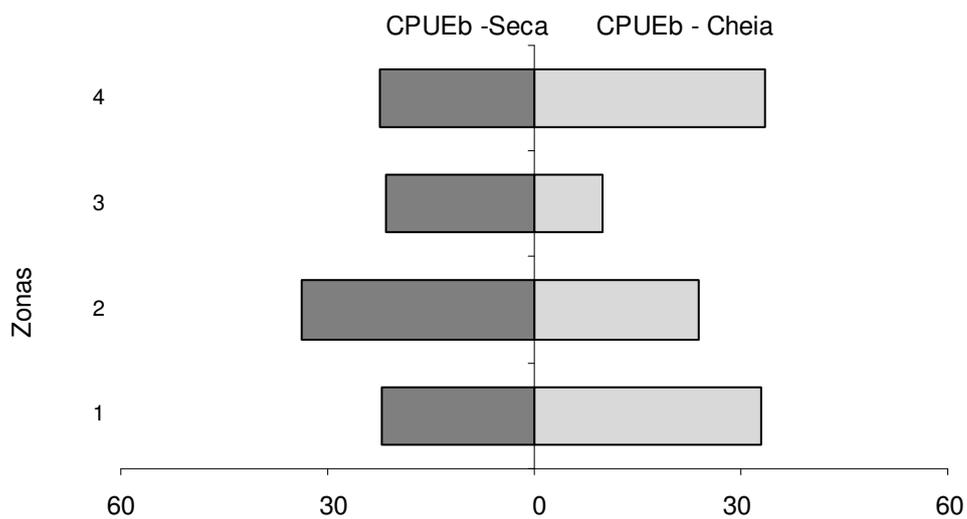


Figura 19: Valores médios de CPUEb (kg/100m²/dia) para os períodos de cheia e seca nas quatro zonas amostradas.

Estrutura da Assembléia

Mudanças significativas na assembléia de peixes entre as zonas foram detectadas pelo ANOSIM considerando todo o período amostrado. Quando os períodos (cheia e seca) foram analisados separadamente, o mesmo padrão foi observado na cheia. Porém, na seca, as zonas 1 e 2 não apresentaram diferenças entre as assembléias de peixes. Considerando a comparação entre os períodos para cada zona em separado, também foram verificadas diferenças nas assembléias de peixes entre os períodos de seca e cheia. (Tabela 6). Apesar das diferenças significativas detectadas pelo ANOSIM, as zonas não foram claramente separadas porque todos os valores de R foram menores que 0,5.

Tabela 6: Valores de R-estatístico e seus níveis de significância por comparações par a par entre a estrutura das assembléias de peixes das zonas sem discriminar o período e dentro de cada período (cheia e seca) calculados pelo teste de ANOSIM. (valores significativos $p < 0,01$).

Zonas (todos os períodos)	R R Global= 0,183	<i>p</i>
1. 2	0,053	0,003
1. 3	0,152	0,001
1. 4	0,137	0,001
2. 3	0,162	0,001
2. 4	0,266	0,001
3. 4	0,323	0,001
Cheia	R Global= 0,247	
1. 2	0,103	0,009
1. 3	0,238	0,001
1. 4	0,209	0,001
2. 3	0,18	0,001
2. 4	0,335	0,001
3. 4	0,425	0,001
Seca	R Global= 0,194	
1. 2	0,012	0,310
1. 3	0,21	0,001
1. 4	0,102	0,009
2. 3	0,199	0,001
2. 4	0,227	0,001
3. 4	0,417	0,001
Entre períodos (Cheia e Seca)		
1	0,173	0,002
2	0,064	0,017
3	0,113	0,011
4	0,189	0,001

Uma separação entre as assembléias de peixes de rio (zonas 1 e 4), localizadas no lado esquerdo da figura 20, em relação à assembléia de peixes de reservatório (zonas 2 e 3), localizadas no lado direito, é apresentado no diagrama de ordenação do MDS. Considerando os dois períodos amostrados, não foi observada separação nítida entre os períodos (Figura 21).

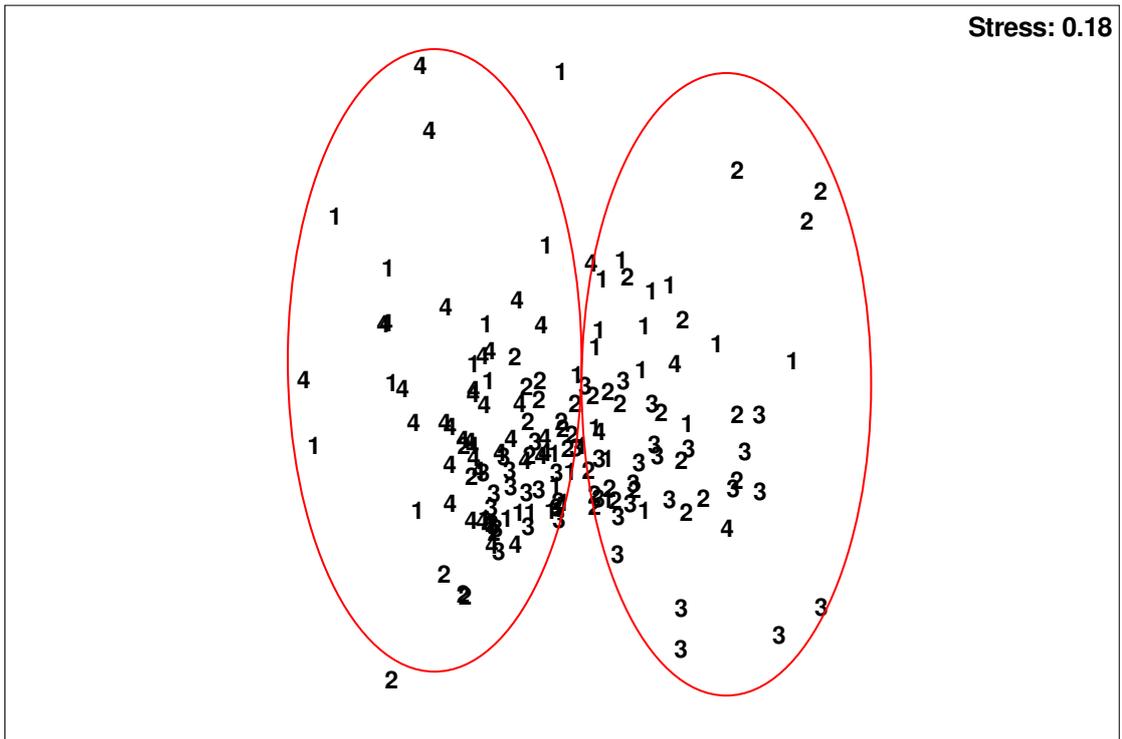


Figura 20: Representação da ordenação MDS por zonas (1 = zona 1, 2 = zona 2, 3 = zona 3 e 4 = zona 4).

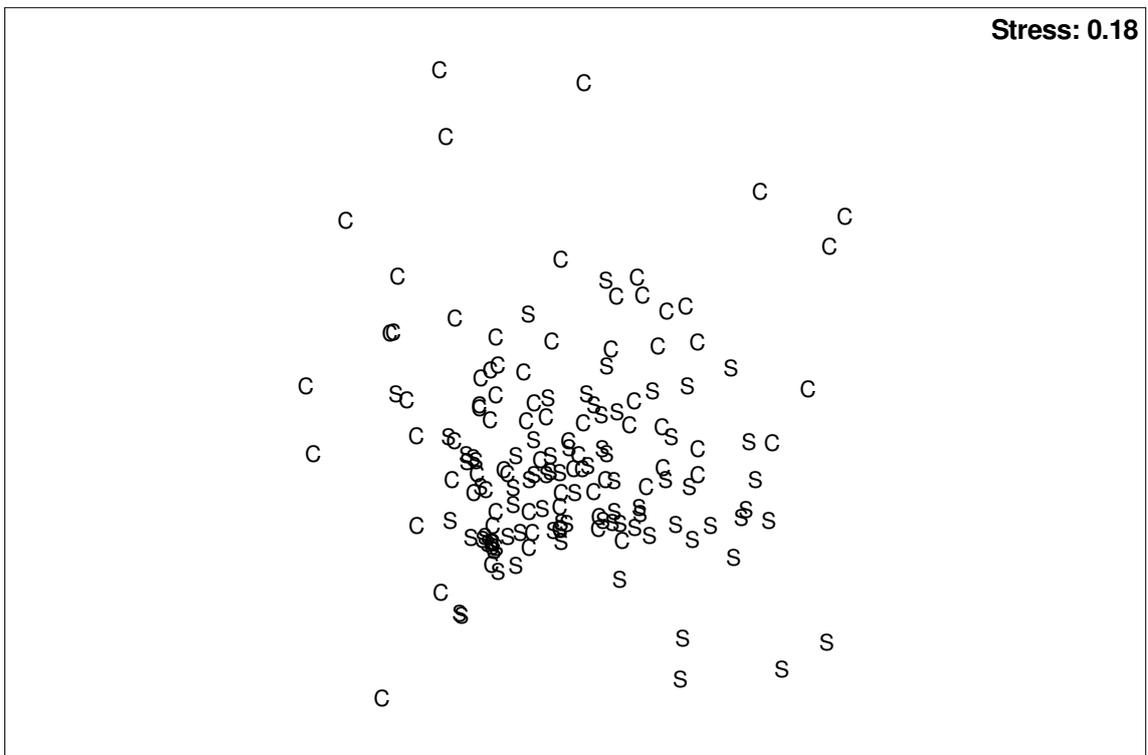


Figura 21: Representação da ordenação MDS por períodos (C = cheia e S = seca).

Astyanax bimaculatus foi uma espécie típica muito difundida no sistema, caracterizando principalmente a zona 3, de acordo com SIMPER (Tabela 7). *Pimelodus maculatus* foi a espécie mais representativa da zona 4, seguido de *H. auroguttatus*, *A. bimaculatus* e *A. parahybae*. *Oligosarcus hepsetus*, *A. parahybae* e *L. copelandii* foram típicas de ambientes lóticos, enquanto os ciclídeos *C. monoculus* e *G. brasiliensis* foram características da parte inferior do reservatório. A maior dissimilaridade entre as zonas 3 e 4 e a menor dissimilaridade entre as zonas 1 e 2 também foram registradas pelo SIMPER (76,05%).

Tabela 7: Percentagem de contribuição das espécies mais abundantes para a similaridade dentro das zonas e dissimilaridade entre as zonas.

Espécies	Zonas					
	1	2	3	4		
Similaridade média (%)	32,27	39,24	35,72	35,92		
<i>Astyanax bimaculatus</i>	38,09	34,78	46,40	11,60		
<i>Pimelodus maculatus</i>	23,05	16,45	16,26	50,78		
<i>Hoplosternum littorale</i>	5,96	11,97				
<i>Astyanax parahybae</i>				9,30		
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	7,45	12,47	11,73			
<i>Leporinus copelandii</i>	5,94					
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	5,57			6,10		
<i>Hypostomus auroguttatus</i>		8,92		14,78		
<i>Cichla monoculus</i>			7,35			
<i>Geophagus brasiliensis</i>			6,90			
	Zonas					
	1 x 2	1 x 3	1 x 4	2 x 3	2 x 4	3 x 4
Dissimilaridade média (%)	66,16	70,64	71,22	66,69	71,44	76,05

4 DISCUSSÃO

Este estudo diagnosticou mudanças estruturais na assembléia de peixes ao longo do eixo longitudinal rio-reservatório. O padrão mais nítido dos resultados foi a diferença entre a assembléia de peixes das zonas de rio (zonas 1 e 4) e das zonas de reservatório (zonas 2 e 3). Uma possível explicação para a diferença entre essas assembléias é o predomínio de espécies tolerantes às condições lênticas nas zonas 2 e 3, com destaque para as espécies introduzidas, e a presença de espécies nativas de ambientes lóticos, nas zonas 1 e 4. As espécies introduzidas *C. monoculus*, *M. maculatus*, *P. mesopotamicus*, *P. squamosissimum* e *O. niloticus* foram mais abundantes nas zonas do reservatório (zonas 2 e 3), uma indicação de que estes ambientes oferecem nichos não ocupados pelas espécies nativas. Muitos peixes adaptados às condições anteriores ao barramento são extintos localmente, porque não são bem adaptados às novas condições do ambiente. O resultado é o favorecimento de espécies tolerantes as mudanças (KINGSFORD, 2000) e esse efeito poderia ajudar a explicar a diferença na composição de espécies observada entre as zonas do reservatório e as zonas do rio. Além disso, espécies como as do gênero *Leporinus* (exceto *L. conirostris*), *O. hepsetus*, *A. parahybae*, *A. giton*, *Rhamdia* sp e *Glanidium albescens* foram encontradas apenas nas zonas de rio. Essas espécies caracterizam uma fauna não adaptada às condições lênticas, de hábitos especialistas, estando restritas aos trechos de rio a montante e a jusante do reservatório.

Os dados mostram também, que apesar das diferenças na estrutura e composição das espécies, não houve diferença significativa da riqueza entre as zonas. Outros estudos

publicados sobre os efeitos das barragens na riqueza de espécies a jusante registraram diminuição significativa do número de espécies nestes locais (QUINN & KWAK, 2003; OLIVEIRA & LACERDA, 2004; MERONA et al., 2005). Isso se dá porque, com a construção de reservatórios, que atuam como barreiras físicas, pode haver impedimento para o movimento de algumas espécies, isolando-as. Esses trabalhos corroboram o Conceito de Descontinuidade Serial (WARD & ESTANFORD 1983), que afirma que reservatórios instalados nos trechos médios dos rios, podem estabilizar a temperatura e o fluxo de água a jusante, reduzindo a diversidade biológica. Entretanto, neste estudo, a diminuição da riqueza a jusante da barragem não foi comprovada, embora as maiores riquezas e diversidade tenham sido registradas na zona alta do reservatório (zona 2).

A riqueza da zona 2 deve estar provavelmente associada à natureza transicional da mesma, onde características lólicas e lânticas se sobrepõem, favorecendo a retenção de material trazido do rio pela diminuição do fluxo e conseqüentemente, aumentando a disponibilidade de recursos alimentares. Essas áreas de transição são consideradas férteis, com maiores índices de produtividade primária e densidade de peixes, o que contribui para o aumento da diversidade (BENEDITO-CECILIO et al., 1997). Aliado a isso, esta zona tem alta complexibilidade de habitat, relacionada à presença de pedras e cascalhos, devido a uma parede de pedra de 3 km de extensão, que oferecem abrigo e alimento, favorecendo a riqueza de espécies, principalmente de Siluriformes, destacando-se, *H. littorale* e *H. auroguttatus*. Esses peixes apresentam alta especificidade com o habitat, isto é, estando associados a fundos rochosos e se alimentam por raspagem do substrato (detritívoros) podendo ser encontrados em diferentes tipos de ambientes (LOWE-MCCONNELL, 1999). Apesar disso, também favoreceu o predomínio de *M. maculatus*, uma espécie introduzida de elevada plasticidade trófica, o que é um indicativo da formação de novos nichos não ocupados por espécies nativas, refletindo as mudanças nas condições de fluxo nesta zona.

Na zona baixa do reservatório (zona 3), a assembléia foi caracterizada por um padrão comum de ambientes lânticos: i) predomínio de espécies cujas estratégias de vida apresentam uma tendência mais generalista, como *Astyanax bimaculatus*. Essas espécies, de pequeno porte e sedentárias, são tolerantes as variações ambientais, o que favorece a colonização e o sucesso do no reservatório (AGOSTINHO et al., 2007); ii) grande proporção de indivíduos de espécies introduzidas, com destaque para o carnívoro *Cichla monoculus*, uma espécie predadora bem adaptada a habitats lânticos. Essa espécie possui visão desenvolvida e é beneficiada pela elevada transparência dos ambientes lânticos (PETRERE JÚNIOR, 1996), o que favorece a predação. Além disso, por ser um peixe não-migratório possui a capacidade de reproduzir nesses ambientes. GOMIERO & BRAGA (2004) afirmam que a presença destes predadores altamente adaptados, provoca sérios danos à comunidade por predação, concorrência, e efeitos em cascata ao longo de toda a cadeia trófica. A rápida colonização de reservatórios por espécies do gênero *Cichla* ocorreu em grande número de reservatórios do Sudeste do Brasil (MAGALHÃES et al., 1996; SANTOS et al., 2001; NOVAES et al., 2004).

Esses resultados sugerem que as zonas de reservatório, apesar de agrupadas pelo predomínio de espécies tolerantes/introduzidas, apresentam diferenças entre si, com uma ictiofauna típica de reservatórios predominante na zona 3. Por outro lado, a zona 2 apresenta uma assembléia de peixes de transição, indicado pela semelhança com a zona 1 e detectada pelo ANOSIM no período de seca. Neste período as espécies da zona do rio a montante podem ampliar suas distribuições para a zona de transição, a procura de recursos indisponíveis nas margens do rio devido aos baixos níveis da água.

As zonas de rio foram caracterizadas por maiores influências dos pulsos sazonais de precipitação, com diferenças significativas de CPUE_n e CPUE_b, com o período de cheia apresentando maiores valores que o de seca. Isso também pode estar relacionado à mudança sazonal no nível da água que altera drasticamente a disponibilidade de alimento, uma vez que,

durante as cheias são disponibilizados habitats junto à vegetação marginal, que servem de abrigos e favorecem o incremento de recursos alimentares. O rio a montante do reservatório apresentou uma assembléia típica do rio Paraíba do Sul, sendo as espécies mais abundantes *A. bimaculatus* e *P. maculatus*. *Astyanax bimaculatus*, no entanto, foi indicadora da zona 3 onde sua abundância correspondeu praticamente o dobro da observada na zona 1. Isso deve estar relacionado com a adaptação dessa espécie a ambientes lênticos e à presença de outras espécies de lambaris nas zonas de rio favorecendo a competição e consequentemente controlando a população dessa espécie. *P. maculatus* é uma espécie comum em toda extensão do rio Paraíba do Sul (ARAÚJO et al., 2009), sendo adaptada às condições de baixa qualidade ambiental, entretanto seu predomínio na zona 1 se deve a adaptação às condições lóxicas e capacidade de realizar migração reprodutiva (MAIA et al., 2007). Isso explica também, sua elevada abundância na zona 4. Esta zona apresentou uma assembléia distinta das demais, principalmente pela ocorrência de espécies especialistas como *A. parahybae*, *A. giton*, *H. auroguttatus*, *O. hepsetus* e *E. virescens* relacionadas à maior disponibilidade de vegetação marginal e abrigo (pedras, galhos, pedras, areia).

Em relação à estrutura trófica, os dados sugerem um gradiente funcional ao longo do eixo longitudinal rio – reservatório. Uma tendência aumento do número de carnívoros e redução do número de herbívoros foi observado no sentido da zona 1 (montante) para a zona 3 (parte baixa do reservatório). Esta mudança está associada com a disponibilidade de alimento de origem alóctone na zona 1, favorecendo o aumento das espécies herbívoras, e aumento dos processos de predação, favorecendo às espécies carnívoras na zona 3, onde a transparência é maior. O maior número de indivíduos onívoros, em todas as zonas, está relacionado à alta plasticidade alimentar dessas espécies, otimizando os recursos alimentares oferecidos pelo ecossistema, e com isso facilitando seu estabelecimento em ambientes perturbados como os reservatórios e suas áreas de influência.

5 CONCLUSÕES

1. Uma mudança na assembléia de peixes foi observada ao longo do trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil, principalmente entre as zonas do rio (montante do reservatório e jusante da barragem) apresentando espécies típicas da fauna do rio Paraíba do Sul, e as zonas do reservatório (alta e baixa) apresentando grande contribuição de espécies introduzidas e adaptas ao sistema lêntico.
2. A maior riqueza e diversidade foram encontradas na zona alta do reservatório, uma área de transição entre os sistemas lóxico e lêntico onde espécies de rios e de reservatórios se sobrepõem.
3. Onívoros foram a guilda trófica dominante ao longo do sistema inteiro, indicando o elevado estado de degradação do sistema. Por outro lado, o aumento de carnívoros e decréscimo de herbívoros no sentido rio-reservatório reflete a disponibilidade de alimento de origem vegetal no rio, e as condições favoráveis na zona baixa do reservatório ao desenvolvimento de espécies carnívoras introduzidas e a redução de espécies de habito especializado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, A.A.; JULIO, H.F. Jr. Ameaça ecológica: peixes de outras águas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, V.21, n.134, p.36-44, 1996.
- AGOSTINHO, A.A.; JULIO Jr, H.F.; BORGHETTI Jr. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. **Revista UNIMAR**. V.14, p.89-107, 1992.
- AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.
- ARAÚJO, F.G.; PINTO, B.C.T.; TEIXEIRA, T.P. Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in southeastern Brazil: evaluating environmental influences and some concepts in river ecology. **Hydrobiologia**, V.618, p.89-107, 2009.
- ARMITAGE, P.D. Environmental changes induced by stream regulation and their effect on lotic macroinvertebrate communities. In: LILLEHAMER, A.; SALTVEIT, S.J. (Eds) **Regulated Rivers**. Universitetsforlaget, Oslo, Norway, 1982. p. 139–65.
- BENEDITO-CECÍLIO, E.; AGOSTINHO, A.A.; JULIO JR, H. F.; PAVANELLI, C.S. Colonização ictiofaunística do reservatório de Itaipu e áreas adjacentes. **Revista Brasileira de Zoologia**, V.14, n.1, p.1-14, 1997.
- CLARKE, K.R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, V.18, p.117-143, 1993.
- COLWELL, R.K.; CODDINGTON, J.A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Phil. Trans. Royal Soc. London Biol**, V.345, p.101-118, 1994.
- COLWELL, R.K. EstimateS 5 version 8.0. **Statistical Estimation of species richness and shared species from samples**, 2006. Disponível em: www.viceroy.eeb.uconn.edu/estimates.
- DAJOZ, R. **Ecologia Geral**. 2. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1973. 471 p.
- DUFRENE, M. & LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**. V.67, p. 345-366, 1997.
- GOMIERO, L.M.; BRAGA, F.M.S. Feeding of Introduced Species of *Cichla* (Perciformes, Cichlidae) in Volta Grande Reservoir, River Grande (MG/SP) **Brazilian Journal of Biology**, V.64, n.4, p.787-795, 2004.
- GORMAN, O.T.; KARR, J.R. Habitat structure and stream fish communities. **Ecology**, V.59, p.507–515, 1978.
- GOTELLI, N.; COLWELL, R. K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters** V.4, p.379–391, 2001.

GRENOUILLET, G.; PONT, D.; HÉRISSE, C.; Within-basin fish assemblage structure: the relative influence of habitat versus stream spatial position on local species richness. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** V.61, p.93–102, 2004.

HAMMER, O.; HAPER, D.A.T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, V.4, p.1-9, 2001.

IRZ, P; ARGILLIER, C.; PROTEAU, J. P. Contribution of native and non-native species to fish communities in French reservoirs. **Fisheries Management and Ecology**, V.11, p.65–172, 2004.

JOHNSON, B.L.; RICHARDSON, W.B.; NAIMO, T.J. Past, present, and future concepts in large river ecology. **BioScience**, V.45, p.134–41, 1995.

KINGSFORD, R.T. Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. **Austral Ecology**, V.25, p.109–127, 2000.

LIGON, F.K.; DIETRICH, W.E.; THRUSH, W.J. Downstream ecological effects of dams. **BioScience**, V.45, p.183–192, 1995.

LOWE-MCCONNELL, R.H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. Tradução de Anna Emília A. de M. Vazzoler, Ângelo Antônio Agostinho & Patrícia T. M. Cunningham. São Paulo: EDUSP, 1999. 534 p. Original em inglês.

MAGALHÃES, A.L.B.; SATO Y.; RIZZO, E.; FERREIRA, R.M.A.; BAZZOLI, N. Ciclo reprodutivo do tucunará *Cichla ocellaris* (Schneider, 1801) na represa de Três Maria, MG. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, V.48, p.85-92, 1996.

MAIA, B.P.; RIBEIRO, S.M.F.; BIZZOTO, P.; VONO, V. & GODINHO, H.P. Reproductive activity and recruitment of the yellow-mandi *Pimelodus maculatus* (Teleostei: Pimelodidae) in the Igarapava Reservoir, Grande River, Southeast Brazil. **Neotropical Ichthyology**, V.5, p. 147-152, 2007.

MARGALEF, R. Information theory in ecology. **General. System**, V.3, p.36-71, 1958.

McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 3.11. MjM Software, Gleneden Beach, OR, 1997.

MÉRONA, B.; VIGOUROUX, R.; HOREAU, V. Changes in food resources and their utilization by fish assemblages in a large tropical reservoir in South América (Petit-Saut Dam, French Guiana). **Acta Oecologica**, V. 24, p.147–156, 2003.

MÉRONA, B.; VIGOUROUX, R.; TEJERINA-GARRO, F.L. Alteration of fish diversity downstream from Petit-Saut Dam in French Guiana. Implication of ecological strategies of fish species. **Hydrobiologia**, V.551, p.33–47, 2005.

MOYLE, P.B.; LIGHT, T. Biological invasions of fresh water: empirical rules and assembly theory. **Biological Conservation**, V.78, p.149–161, 1996.

NOVAES, J.L.; CARAMASCHI, E.P.; WINEMILLER, K.O. Feeding of *Cichla monoculus* Spix, 1829 (Teleostei: Cichlidae) during and after reservoir formation in the Tocantins River, Central Brazil. **Acta Limnologica. Brasiliensia**, V.16, n.1, p.41-49, 2004.

OBERDORFF, T.; PONT, D.; HUGUENY, B.; CHESSEL, D. A probabilistic model characterizing riverine fish communities of French rivers: a framework for environmental assessment. **Freshwater Biology**, V.46, p.399-415, 2001.

OLIVEIRA, J.C.; LACERDA, A.K.G. Alterações na composição e distribuição longitudinal da ictiofauna na área de influência do reservatório de Chapéu das Uvas, Bacia do rio Paraíba do Sul (MG), pouco depois da sua implantação. **Revista Brasileira de Zootecias**. Juiz de Fora: V.6, n.1, p.45-60, 2004.

PETRETERE JR, M. Fisheries in large tropical reservoirs in South America. Lakes Reservoir: **Research and Management**, V.2, p.111-133, 1996.

PIELOU, E.C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. **Journal of Theoretical Biology**, V.10, p.370-383, 1966.

PRIMER-E. 2000. PRIMER 5. Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research. PRIMER-E Ltd, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK. 87 p.

QUINN, J.W.; KWAK, T.J. Fish assemblage changes in an Ozark River after impoundment: A long-term perspective. **Transactions of the American Society**, V.132, p.10-119, 2003.

SANTOS, L.N.; GONZALEZ, A.F.; ARAÚJO, F.G. Dieta do tucunaré - amarelo *Cichla monoculus* (Bloch & Schneider) (Osteichthyes, Cichlidae), no reservatório de Lajes, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, V.18, p.191-204, 2001.

SIMPSON, E.H. Measurement of diversity. **Nature**, V.163, p.688, 1949.

SMITH, E.P.; VAN BELLE, G. Nonparametric estimation of species richness. **Biometrics** V.40, p.119-129, 1984.

STANFORD, J.A.; WARD, J.V. Revisiting the serial discontinuity concept. **Regulated Rivers: Research & Management**, V.17, p.303-310, 2001.

TUNDISI, J.G. Impactos ecológicos da construção de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: TUNDISI, J. G. (Ed) **Limnologia e Manejo de Represas**. São Paulo: Série Monografias em Limnologia, V.1, 1988. p. 1-76.

WARD, J.V.; STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In FONTAINE, T. D.; BARTELL, S.M. (Eds) **Dynamics of Lotic Ecosystems**. Michigan: Ann Arbor Scientific, 1983. p.29-42.

WOOTTON, R.J. **Ecology of Teleost Fishes**. London: ed. Chapman e Hall, 1990. 404 p. (Fish and Fisheries series, 1).

ZAR, JH. **Biostatistical Analysis**. 4 ed. London: Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs, 1999. 718 p.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS NA DISTRIBUIÇÃO DA ASSEMBLÉIA DE PEIXE EM UM TRECHO DO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL - RESERVATÓRIO DA UHE DO FUNIL

RESUMO

Este estudo objetivou caracterizar as variáveis físico-químicas, suas mudanças espaço-temporais e, relacionar tais mudanças com a distribuição da assembléia de peixes ao longo de um gradiente longitudinal do rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil. Coletas mensais padronizadas foram realizadas entre outubro de 2006 a setembro de 2007 em quatro zonas: 1 - rio a montante do reservatório; 2 - parte superior do reservatório; 3 - parte inferior do reservatório, e 4 - rio a jusante do reservatório. Os parâmetros físico-químicos (temperatura, porcentagem de saturação de oxigênio, pH, condutividade e potencial redox) da água foram tomados por medição direta, juntamente com a amostragem da ictiofauna, em quatro locais dentro de cada uma das quatro zonas. O reservatório da UHE do Funil apresentou heterogeneidade espacial para as variáveis mensuradas. Valores mais elevados de oxigênio, pH e condutividade foram registrados no reservatório, quando comparados com o rio. A zona de rio a jusante da barragem apresentou valores mais baixos de pH e porcentagem de saturação de oxigênio e elevado potencial redox, nos dois períodos estudados, enquanto a zona do rio a montante do reservatório apresentou maiores porcentagens de saturação de oxigênio e condutividade. As espécies relacionadas às zonas do reservatório (2 e 3) foram, principalmente, espécies introduzidas (*Cichla monoculus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Metynnis maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *Piaractus mesopotamicus*), favorecidas pela disponibilidade de nichos não ocupados pelas espécies nativas. A zona 2, intermediária entre os sistemas lótico e lêntico, abrigou espécies especialistas, como os Siluriformes *Hoplosternum litoralle*, *Hypostomus affinis*, *Rhinelepis aspera*, *Callichthys callichthys*, associados à complexibilidade do habitat e outras espécies nativas, como *Gymnotus carapo*, *Leporinus conirostris*, *Pachyurus adpersus*, *Leporinus mormyrops*, *Synbranchus marmoratus* e *Pimelodus fur*. A melhor estrutura do habitat físico também pareceu ser o principal preditor da assembléia de peixes na zona 4, uma vez que as variáveis físico-químicas indicaram baixa qualidade da água nesse trecho. As espécies associadas à zona 1 foram, principalmente, nativas, características do rio Paraíba do Sul como *Eigenmannia virescens*, *Glanidium albescens*, *Hoplias malabaricus*, *Brycon insignis*, *Leporinus copelandii* e *Cyphocharax gilbert*. A estrutura da assembléia de peixes é pouco influenciada pelas variáveis físico-químicas examinadas neste trabalho, sendo outros fatores, como complexidade dos habitats físico podendo funcionar melhores preditores da distribuição das espécies no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil.

Palavras chaves: variáveis físico-químicas, assembléia de peixes, reservatórios.

ABSTRACT

This study aims to characterize the physico-chemical variables, their spatial and temporal changes, and relationship with distribution of the fish assemblage along a longitudinal stretch formed by the Paraíba do Sul river – Funil reservoir. Standardized monthly samplings were carried out between October 2006 and September 2007 in four zones: 1 = river upstream the reservoir; 2 – upper reaches of the reservoir; 3 - lower reaches of the reservoir; and 4) river downstream the reservoir. Environmental variables (temperature, percentage of oxygen saturation, pH, conductivity and redox potential) were taken during the fish sampling in four sites within each four zones. Funil reservoir showed spatial heterogeneity in relation to the measured environmental variables. Higher levels of percentage of oxygen saturation, pH and conductivity were recorded in the reservoir, compared with the river sites. The river zone downstream the reservoir showed during both studied seasons lower pH, percentage of oxygen saturation and higher redox potential, while the river upstream the reservoir showed higher percentage of oxygen saturation and conductivity. Species associated to reservoir zones (2 e 3) were, mainly, introduced ones (*Cichla monoculus*, *Plagioscion squamosissimus*, *Metynnis maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *Piaractus mesopotamicus*), favored by niche availability which was not occupied by native species. The zone 2, a transition between the lotic and lentic systems, sheltered specialist species, such as the Siluriformes *Hoplosternum litoralle*, *Hypostomus affinis* *Rhinelepis aspera*, *Callichthys callichthys* associated to habitat complexity besides other native species, such as *Gymnotus carapo*, *Leporinus conirotris*, *Pachyurus adspersus*, *Leporinus mormyrops*, *Synbranchus marmoratus* and *Pimelodus fur*. The best physical habitat structure seems to be the main predictor of fish assemblage in zone 4, irrespective of the low water quality indicated by the physico-chemical variables in this stretch. Species associated to zone 1 were mainly natives of the Paraíba do Sul basin, such as *Eigenmannia virescens*, *Glanidium albescens*, *Hoplias malabaricus*, *Brycon insignis*, *Leporinus copelandii* and *Cyphocharax gilbert*. Fish assemblage structure has low influence from the examined physico-chemical variables in this study. Other features, such as, habitat complexity may be better predictors of fish distribution in Paraíba do Sul river – Funil reservoir system.

Key words: physico-chemical variables, fish assemblage, reservoirs.

1 INTRODUÇÃO

A heterogeneidade espacial e temporal das características limnológicas dos reservatórios é conhecida por influenciar a estrutura ecológica e o funcionamento desses ecossistemas (NOGUEIRA et al., 1999). Segundo THOMAZ et al. (1997), a construção de barragens em rios implica no aumento imediato do tempo de residência da água, que por sua vez constitui um dos principais fatores propulsor das alterações das características limnológicas observadas nas áreas represadas. Esta modificação leva ao estabelecimento de gradientes longitudinais que podem tornar-se mais complexos devido a eventos sazonais, como o padrão de precipitação, que é uma das variações mais influentes em ecossistemas aquáticos tropicais (TALLING & LEMOALLE, 1998).

Devido ao pronunciado gradiente ambiental, os reservatórios têm sido chamados de sistemas híbridos, ou seja, intermediários entre as propriedades limnológicas observadas em rios e lagos (THORNTON et al., 1990). Assim, regiões mais altas dos reservatórios tendem a se assemelhar aos rios, e as zonas mais baixas têm características mais próximas de lagos. Devido a este gradiente longitudinal, as assembléias de peixes locais podem ser organizadas através do espaço previsivelmente se cada uma das espécies tem diferentes limites de tolerâncias que variam ao longo destes gradientes ambientais (HOMGREN & APPELBERG, 2000). Além disso, a estrutura do habitat físico (galhos, pedras, macrófitas) e a vegetação ripária podem desempenhar um papel na regulação da distribuição de peixes dentro de um reservatório (LIENESCH & MATTHEWS, 2000). Se estes efeitos são importantes, o habitat físico pode ser o melhor preditor da estrutura da assembléia de peixes do que a posição longitudinal no reservatório. É provável, também, que tanto a estrutura do habitat quanto os parâmetros limnológicos interajam para determinar a estrutura da comunidade local.

O Reservatório do Funil localizado no trecho médio-inferior da bacia do rio Paraíba do Sul, foi construído para a geração de energia elétrica e atenuação do impacto das cheias sobre as áreas urbanas, além de, eventualmente, compor o abastecimento de água do município do Rio de Janeiro (ÁVILA & BICUDO, 1982). No entanto, este reservatório recebe água com elevado grau de poluição advinda do trecho médio-superior da bacia do rio Paraíba do Sul, considerado poluído, principalmente pelas atividades industriais do Vale do Paraíba Paulista (KLAPPER 1998; INEA, 2009). Assim, além destas funções prioritárias, o reservatório do Funil, é considerado um decantador natural, melhorando a qualidade das águas do rio Paraíba do Sul a jusante do reservatório (SOARES, 1999).

O objetivo deste capítulo foi caracterizar, ao longo de um trecho longitudinal e sazonal do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, variáveis físico-químicas e, avaliar as influências dessas variáveis sobre as espécies de peixes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudos

A área de estudo abrangeu parte do trecho médio-superior da bacia rio Paraíba do Sul, na área de influência da UHE do Funil, compreendendo uma extensão de aproximadamente 35 km. Quatro zonas foram consideradas para a caracterização do eixo longitudinal rio-reservatório, duas apresentando características lóxicas (Zona 1 – a montante do reservatório e Zona 4 – a jusante da barragem) e duas dentro do reservatório, caracterizando o ambiente lético (Zona 2 – parte alta do reservatório e Zona 3 – próxima a barragem).

2.2 Amostragem

As variáveis físico-químicas da água foram tomadas por medição direta, utilizando um multisensor HORIBA W-21, juntamente com a amostragem da ictiofauna, em quatro locais dentro de cada uma das quatro zonas. As medições foram feitas durante o período da manhã, a uma profundidade de 20 cm da superfície da água e a uma distância de aproximadamente 3m da margem. As variáveis mensuradas foram: i) temperatura (°C); ii) saturação de oxigênio (%); iii) pH; iv) Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$); e v) potencial redox (mV).

2.3 Análise do Dados

As variáveis ambientais foram transformadas ($\log_{10}(x+1)$) para atender aos requisitos da estatística paramétrica e para minimizar as diferenças entre as unidades das diferentes variáveis. Comparações entre as zonas e os períodos de cheia e seca foram feitas através da análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste Tukey HSD “a posteriori” ao nível de significância de 95%. A Análise dos Componentes Principais (PCA) foi utilizada para determinar os padrões de variabilidade espacial e temporal no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil. A relação da assembleia de peixes com as variáveis ambientais foi investigada através do coeficiente não paramétrico de Spearman e da Análise de Correspondência Canônica (CCA), com a utilização do software CANOCO for Windows, versão 4,5.

3. RESULTADOS

3.1 Variáveis Ambientais

Temperatura da água: No período de cheia foram registrados maiores valores de temperatura que no período de seca em todas as zonas ($p < 0,01$) (Figura 1). A zona 2 apresentou maiores médias de temperatura em relação às demais apenas no período de cheia (Tabela 1), enquanto no período de seca não houve variação significativa entre as zonas.

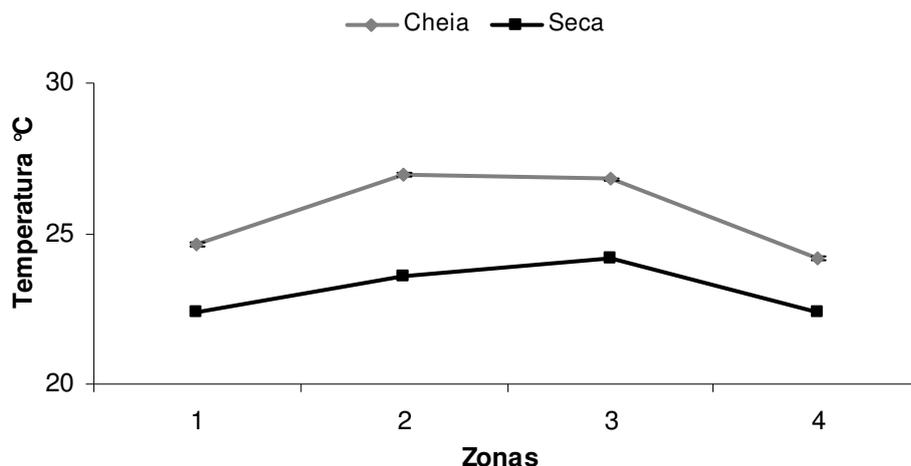


Figura 1: Valores médios e erro padrão de temperatura para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).

Saturação de Oxigênio: No período de seca foram registrados os maiores valores de % de saturação para todas as zonas ($p < 0,01$) (Figura 2). Nos dois períodos, as zonas a montante da barragem (zonas 1, 2 e 3) apresentaram maiores % de saturação em comparação com a jusante da barragem (zona 4) (Tabela 1).

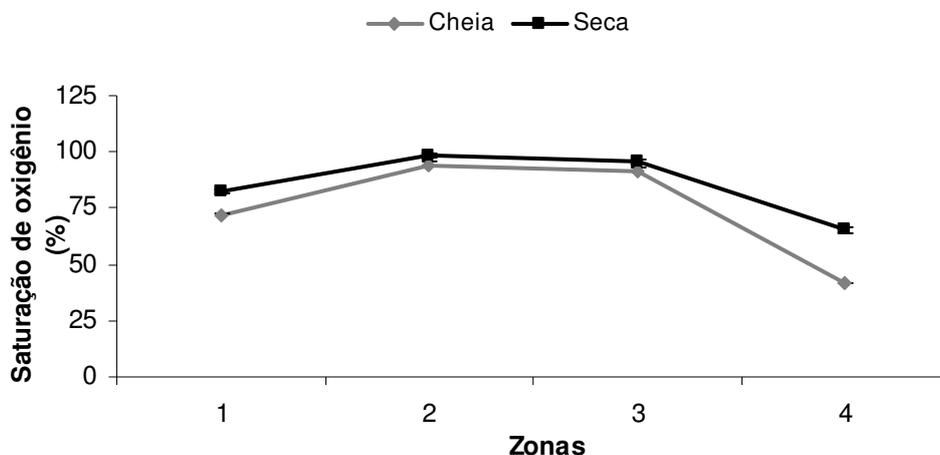


Figura 2: Saturação de oxigênio médias e erro padrão para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).

pH: Em todas as zonas não houve diferença significativa de pH entre os períodos ($p < 0,05$) (Figura 3). Entre as zonas os valores de pH foram significativamente maiores no reservatório (zonas 2 e 3) em relação às zonas de rio 1 e 4, nos dois períodos (Tabela 1).

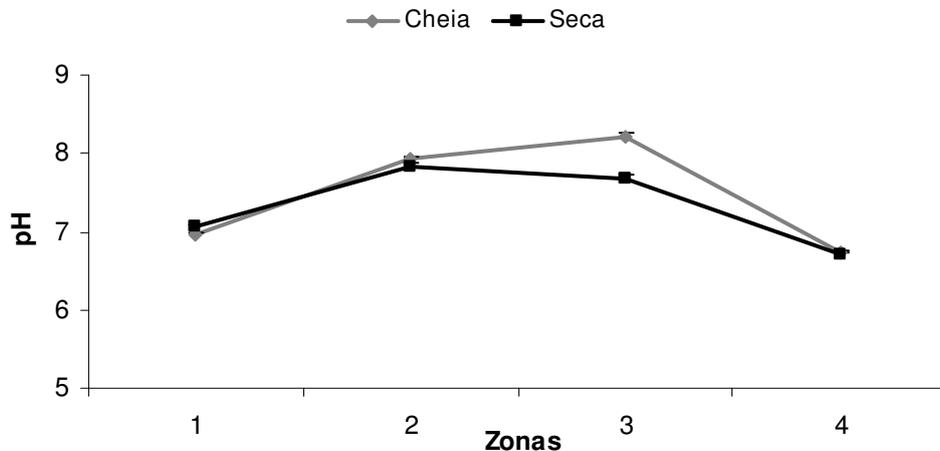


Figura 3: Valores médios e erro padrão de pH para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).

Condutividade: A condutividade apresentou um padrão diferente nos dois períodos amostrados, com interação significativa entre estes dois fatores ($p < 0,01$). Na cheia, a variação encontrada entre as zonas foi pequena (Figura 4), sendo registradas diferenças significativas entre as zonas 1 e 3 (maiores valores) e a zona 4. No período de seca, foi detectada uma grande variação entre as zonas, com as zonas 1 e 2 apresentando médias de condutividade maiores que a zona 3 (Tabela 1).

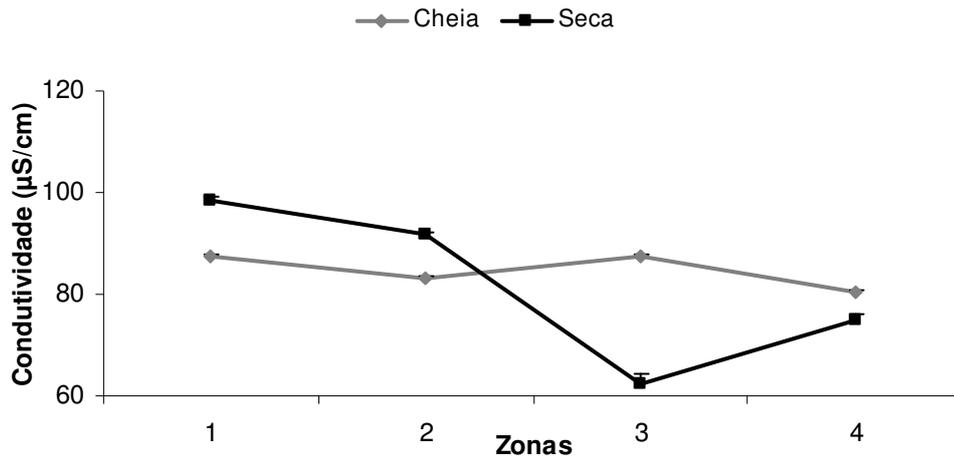


Figura 4: Valores médios e erro padrão de condutividade elétrica para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).

Potencial Redox: Embora com valor de F relativamente baixo, diferenças de potencial redox foram registradas apenas para as zonas, com a zona 4 apresentando maiores valores ($p < 0,01$). Estas diferenças foram mais acentuadas no período de seca (Figura 5; Tabela 1).

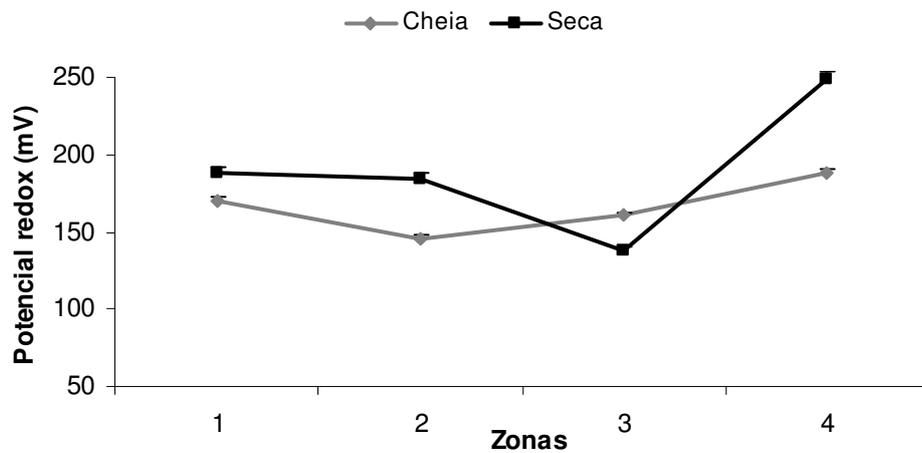


Figura 5: Valores médios e erro padrão de potencial redox para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, para os dois períodos estudados (cheia e seca).

Tabela 1: Resultado da Análise de Variância (F) e do Teste de Tukey, avaliando o efeito das zonas de coleta, dos períodos do ano e da interação dos fatores sobre as variáveis ambientais nas quatro zonas em estudo. * $p < 0,05$ e ** $p < 0,01$. C = Cheia, S = Seca.

	Zonas (Z)	Período (P)	Z x P	Teste de Tukey	
Temperatura	5,73**	34,57**	0,51	C S	2 > 1 e 4 ns
Oxigênio Dissolvido	19,89**	13,28**	0,95	C S	1, 2 e 3 > 4 1, 2 e 3 > 4
pH	38,33**	1,95	1,91	C S	2 e 3 > 1 e 4 2 e 3 > 1 e 4
Condutividade	7,43**	6,29*	7,74**	C S	1 e 3 > 4 1, 2 > 3
Potencia Redox	6,35**	0,74	1,645	C S	4 > 2 4 > 3

3.2 Padrões das Variáveis Ambientais

A Análise dos Componentes Principais foi utilizada para descrever os padrões das variáveis ambientais (temperatura, saturação de oxigênio, pH, condutividade e potencial redox), entre as zonas e os períodos.

Os dois primeiros eixos explicaram 67, 66% da variância total. O eixo 1 apresentou associação inversa com o potencial redox e direta com a temperatura e pH explicando 43,57% da variação. O eixo 2 apresentou associação positiva com saturação de oxigênio, explicando 24,09% da variação (Tabela 2).

Tabela 2: Peso dos componentes principais das variáveis ambientais nos dois primeiros eixos nas quatro zonas em estudo. * Valores significativos ($p < 0,05$).

Variáveis	Eixo 1	Eixo 2
Temperatura	0,81*	-0,38
Oxigênio dissolvido	0,40	0,77*
Redox	-0,73*	-0,05
pH	0,80*	0,27
Condutividade	0,40	-0,62
Autovalores	2,18	1,20
Variância Explicada	43,57	24,09

O diagrama do PCA codificado pelos períodos apresentou uma discreta separação dos períodos em relação ao eixo 2, com a maioria das amostras do período de seca sendo positivamente relacionadas a este eixo, apresentando maiores % de saturação e menor condutividade, enquanto as amostras de cheia apresentaram-se negativamente relacionadas a esse eixo, com um padrão inverso para estas variáveis (Figura 6). Quando o diagrama foi codificado pelas zonas, foi observada maior concentração de amostras das zonas de rio (1 e 4) a esquerda do gráfico, inversamente correlacionada com o eixo 1 e apresentando maiores valores de potencial redox e menores valores de temperatura e pH, enquanto as amostras do reservatório (zonas 2 e 3) apresentam padrão inverso (Figura 7).

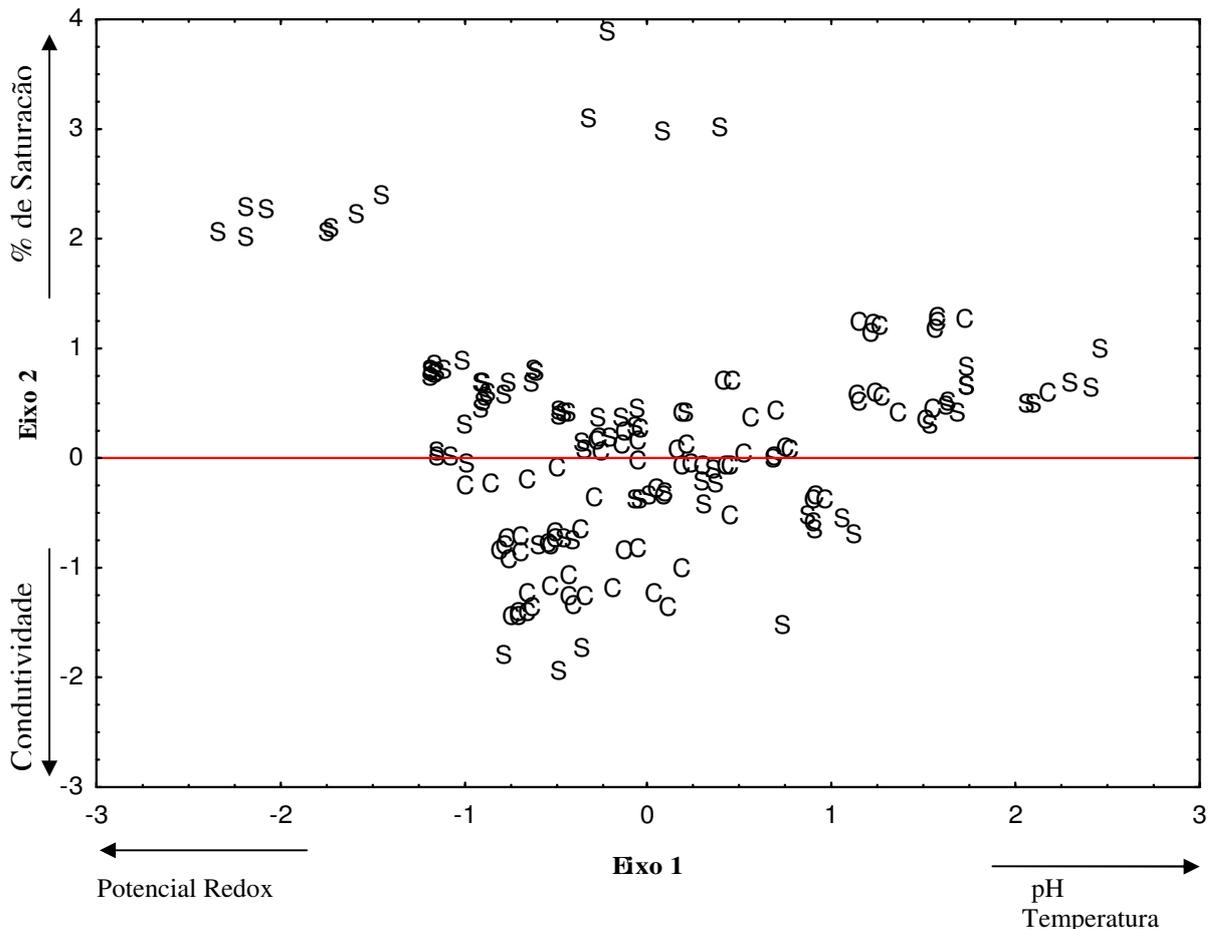


Figura 6: Diagrama de ordenação dos dois principais eixos das variáveis ambientais do sistema rio Paraíba do Sul-reservatório do Funil, codificado por período do ano (C = Cheia e S = Seca).

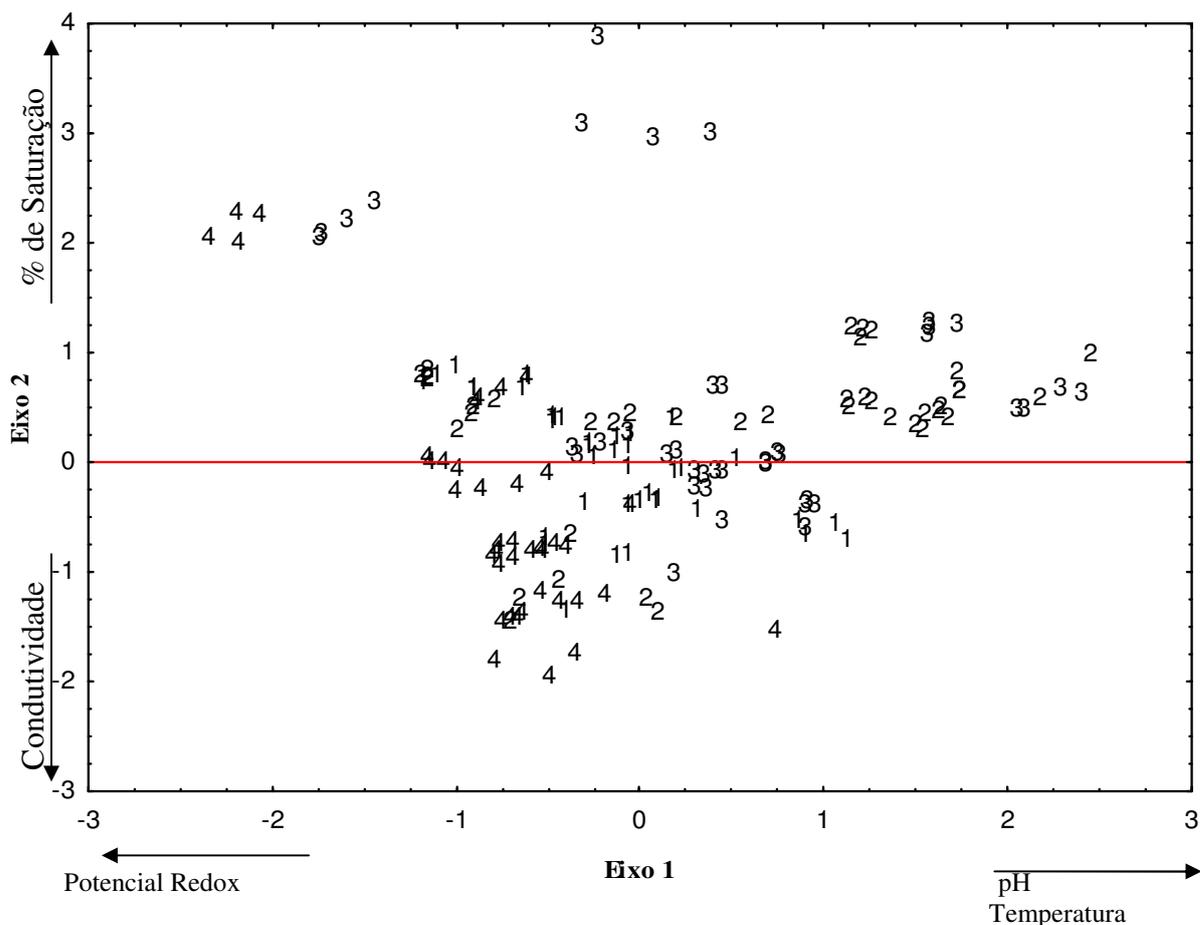


Figura 7: Diagrama de ordenação dos dois principais eixos das variáveis ambientais do sistema rio Paraíba do Sul-reservatório do Funil, codificado por zona (1 = zona 1, 2 = zona 2, 3 = zona 3 e 4 = zona 4).

3.3 Interação peixes-variáveis ambientais

A interação entre a ictiofauna e as variáveis ambientais e a ictiofauna foi avaliada através do coeficiente de correlação não paramétrico de Spearman e da análise de correspondência canônica (ACC). Embora algumas relações significativas entre algumas espécies e variáveis físico-químicas tenham sido detectadas, os baixos valores de r -Spearman indicam fracas associações. A temperatura apresentou correlação positiva com *M. maculatus*, *L. conirostris*, *H. littorale*, *P. squamosissimus*, *C. monoculus*, e *G. brasiliensis*. A saturação de oxigênio apresentou associação significativa e positiva com as espécies *A. bimaculatus*, *L. conirostris*, *P. squamosissimus*, *C. monoculus* e *G. brasiliensis* e negativa com *A. parahybae*, *H. auroguttatus* e *P. maculatus*. O potencial redox foi correlacionado positivamente com *A. parahybae* e *L. copelandii* e negativamente com *H. littorale*, *P. squamisissimus*, *C. monoculus* e *G. brasiliensis*. O pH apresentou associação negativa com *A. parahybae* e *P. maculatus* e positiva com *A. bimaculatus*, *M. maculatus*, *H. littorale*, *P. squamosissimus*, *C. monoculus* e *G. brasiliensis*. A condutividade apresentou apenas correlação positiva com *P. squamosissimus* e *C. monoculus* (Tabela 3).

Tabela 3: Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e as espécies com abundância relativa superior a 1,0% do número total de peixes. Correlações significativas, indicadas em negrito ($p < 0,05$).

	Temperatura	%Sat	Redox	pH	Condutividade
<i>A. bimaculatus</i>	0,10	0,17	-0,07	0,19	0,07
<i>A. parahybae</i>	-0,14	-0,28	0,19	-0,33	-0,12
<i>O. hepsetus</i>	-0,12	0,019	0,06	-0,07	0,13
<i>M. maculatus</i>	0,26	0,14	-0,19	0,22	0,02
<i>L. conirostris</i>	0,20	0,22	-0,13	0,06	-0,00
<i>L. copelandii</i>	-0,04	-0,03	0,18	-0,05	0,06
<i>H. malabaricus</i>	-0,09	-0,00	-0,00	-0,08	0,04
<i>H. littorale</i>	0,36	-0,01	-0,21	0,17	0,08
<i>H. affines</i>	0,10	0,03	-0,12	0,00	0,08
<i>H. aurogutatus</i>	0,14	-0,19	0,05	-0,04	-0,15
<i>P. maculatus</i>	0,06	-0,35	-0,00	-0,27	-0,04
<i>P. squamosissimus</i>	0,42	0,24	-0,46	0,35	0,27
<i>C. monoculus</i>	0,26	0,17	-0,27	0,35	0,18
<i>G. brasiliensis</i>	0,22	0,24	-0,32	0,29	-0,12

A análise de permutação de Monte Carlo foi significativa para todas as variáveis testadas (temperatura, % saturação, potencial redox, pH e condutividade), portanto nenhuma exclusão de variável foi feita na ACC. Os dois primeiros eixos sumarizaram 71,3% da porcentagem acumulativa de variância da correlação espécie-ambiente. As variáveis ambientais que mais contribuíram na distribuição das espécies foram: saturação de oxigênio, pH e temperatura, sendo representadas pelos maiores vetores. O eixo 1 explicou 53,5% da variação espécie-ambiente, sendo relacionado positivamente com a saturação de oxigênio, pH e condutividade e negativamente com potencial redox. O eixo 2 explicou 17,8% da relação das espécies com as variáveis ambientais, apresentando correlações negativas com condutividade e temperatura (Tabela 4). A figura 8 representa a ordenação mostrando as zonas de coleta, as variáveis físico-químicas e as espécies.

As maiores temperaturas foram associadas às maiores ocorrências de *C. monoculus*, *M. maculatus* e *P. squamosissimus* nas zonas de reservatório (2 e 3). Das espécies que possuem correlação positiva com o potencial redox destacam-se *A. parahybae*, *O. hepsetus*, *L. copelandii* e *H. malabaricus*, localizadas no lado superior esquerdo do gráfico, ocorrendo em maiores abundâncias nas zonas 1 e 4. As espécies *G. brasiliensis* e *L. conirostris* localizadas a direita do diagrama estão relacionadas às maiores porcentagens de saturação de oxigênio, podendo ser consideradas espécies típicas das zonas 2 e 3.

Tabela 4: Sumário da análise de correspondência canônica para os dados bióticos e abióticos das zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório do Funil.

Eixos	1	2	3	4	
Temperatura	0,45	-0,47	0,00	0,00	
Saturação de oxigênio	0,57	0,29	-0,07	0,20	
pH	0,63	-0,02	-0,00	-0,36	
Potencial redox	-0,39	0,15	-0,44	0,12	
Condutividade	0,62	-0,31	-0,11	-0,36	
Sumário					
Autovalores	0,157	0,052	0,039	0,034	2,459
Correlação espécie-ambiente	0,745	0,599	0,547	0,538	
Porcentagem da variância acumulada					
Dados das espécies	6,4	8,5	10,1	11,5	
Correlação espécies-ambiente	53,5	71,3	84,5	96,2	
Soma do total dos autovalores não condicionados					2,459
Soma do total dos autovalores canônicos					0,293

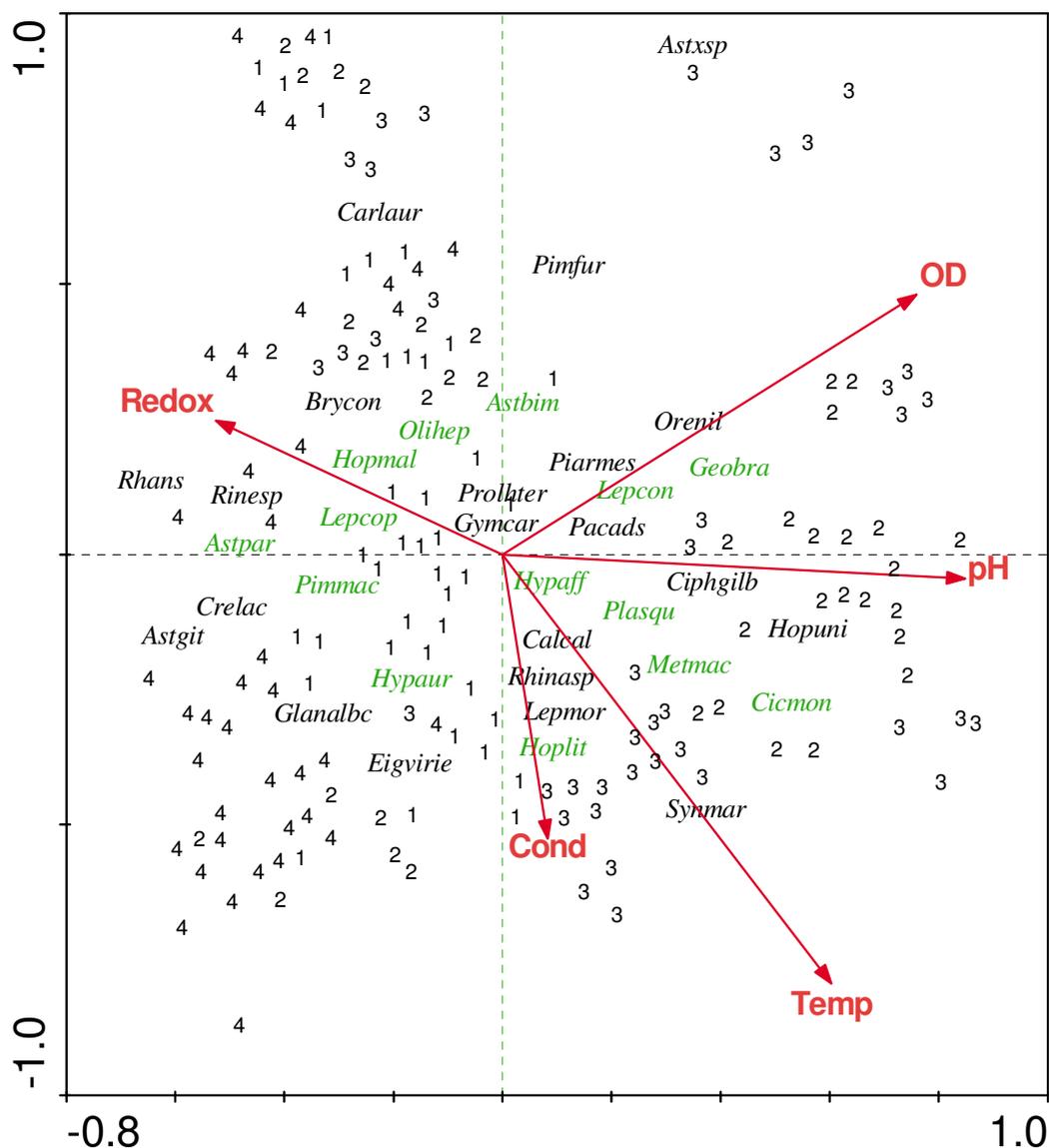


Figura 8: Diagrama de ordenação da análise de correspondência canônica da abundância de espécies em função das variáveis ambientais para as zonas do sistema rio Paraíba do Sul-reservatório do Funil (1= zona 1, 2= zona 2, 3= zona 3 e 4= zona 4). Espécies mais abundantes indicadas em verde. Código das espécies: Aspar- *Astyanax paraguayae*; Astxsp- *Astyanax sp*; Astbim-*Astyanax bimaculatus*; Astgit- *Astyanax giton*; Brycon- *Brycon insigni*; Cicmon -*Cichla monoculus*; Calcal- *Callichthys callichthys*; Cyphgilb- *Cyphocarax gilbert*; Crelac- *Crenicichla lacustris*; Calaur-*Characidium lauroi*; Eigvirie- *Eigenmannia virescens*; Geobra- *Geophagus brasiliensis*; Glanalbc- *Glanidium albescens*; Gymcar- *Gymnotus carapo*; Hopuni- *Hoplosternum unitaeniatus*; Hopmal- *Hoplias malabaricus*; Hypaur- *Hypostomus auroguttatus*; Hoplit- *Hoplosternum littorale*; Hypaff-*Hypostomus affinis*; Lepcop- *Leporinus copelandii*; Lepcon- *Leporinus conirostris*; Lepmor- *Leporinus mormyrops*; Metmac-*Metynnis maculatus*; Olihep- *Oligossarcus hepsetus*; Orenil- *Oreochromis niloticus*; Piarmes- *Piaractus mesopotamicus*; Pimfur-*Pimelodus fur*; Pimmac-*Pimelodus maculatus*; Plasqu- *Plagioscion squamosissimus*; Pacads - *Pachyurus adpersus*; Prolhter-*Probolodus heterostomus*; Rhans- *Rhamdia sp*; Rhinasp-*Rhinelepis aspera*; Rinesp-*Rineloricaria sp*; Synmar-*Synbranchus marmoratus*.

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo indicam que o reservatório da UHE do Funil apresenta heterogeneidade espacial para as variáveis físico-químicas, com maiores valores de pH e porcentagem de saturação de oxigênio nas zonas do reservatório, elevado potencial redox e baixa porcentagem de saturação de oxigênio na zona do rio a jusante do reservatório, e elevada condutividade e oxigênio na zona do rio a montante do reservatório.

O aumento da porcentagem de saturação de oxigênio nas zonas do reservatório é facilitado pela diminuição do fluxo que propicia aumento da transparência devido a deposição do material em suspensão, favorecendo o desenvolvimento do fitoplâncton. O aumento da atividade fotossintética, além de favorecer o aumento da saturação de oxigênio, também resulta no aumento no pH devido à retirada do dióxido de carbono dissolvido da água (REYNOLDS 1987 apud RAHMAN et al., 2005). Esse quadro caracteriza uma condição eutrófica (EGBORGE, 1994 apud ATOBATELE et al., 2008), já descrita para o reservatório da UHE do Funil por vários autores (ROCHA et al., 2002; AZEVEDO et al., 2005; SOARES et al., 2008). Segundo Soares et al. (2008) o rio Paraíba do Sul influencia o padrão longitudinal observado pela entrada de nutrientes que acarreta no aumento da biomassa fitoplanctônica.

Não obstante os elevados valores de oxigênio e pH tenham sido registrados no reservatório, tais valores podem não estar refletindo as variações do ciclo dia/noite, uma vez que foram tomados durante o período do dia quando ocorrem os picos de atividade fotossintética. Uma condição inversa, com acentuada diminuição destes valores, pode ocorrer durante o período da noite, especialmente considerando-se o elevado estado trófico deste sistema. Espécies adaptadas ao sistema lótico, onde tais variações não ocorrem, poderiam ter suas distribuições limitadas nas zonas do reservatório, explicando, assim, o predomínio das espécies introduzidas.

As espécies relacionadas às zonas do reservatório foram, principalmente, espécies introduzidas (*C. monoculus*, *P. squamosissimus*, *M. maculatus*, *O. niloticus*, *P. mesopotamicus*), como constatado por outros estudos em reservatórios (IRZ et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2005; HAN et al., 2008). O sucesso adaptativo dessas espécies tem sido reportado pela capacidade de ocupar novos nichos, aos quais as espécies nativas do ambiente lótico não estão adaptadas. Hevel et al., (2005) afirmam que reservatórios são particularmente vulneráveis a invasões em decorrência de seus atributos abióticos e da comunidade, facilitando o sucesso de espécies introduzidas.

A condição transicional da zona 2, localizada no limite entre o sistema lótico e o sistema lêntico, configura condições especiais que possibilitaram seu uso por um maior número de espécies. A presença de um paredão constituído por pedras e cascalho favoreceu a presença de Siluriformes como *H. littorale*, *H. affinis*, *H. auroguttatus*, *R. aspera* e *C. callichthys*. Esses peixes são predominantemente detritívoros, com alta especificidade pelo habitat e alimentação, que vivem principalmente em ambientes com fundo rochoso, alimentando-se por raspagem do substrato (LOWE-MCCONNELL, 1999) ou por sucção de detritos acumulados na superfície do fundo não-consolidado (FUGI et al., 1996). Neste caso, a disponibilidade de abrigo e de alimento proporcionada pelas condições físicas do habitat deve ter sido mais importante do que os fatores físico-químicos na determinação a presença dessas espécies na zona 2. Além disso, por ser uma zona de transição, a maior oferta de alimento tanto alóctone, trazidos das regiões a montante, quanto autóctone proveniente da fotossíntese fitoplanctônica propicia condições especiais de oferta de recursos alimentares nesta área. Esses fatores, aliados à proximidade com o canal principal do rio Paraíba do Sul,

favorecem também o estabelecimento de outras espécies nativas como *G. carapo* L. *cornirotris*, *P. adspersus*, *L. mormyrops*, *S. marmoratus* e *P. fur*.

A estrutura do habitat físico, com maior disponibilidade de abrigo, também deve ser um dos principais fatores estruturadores da assembléia de peixes a jusante da barragem. Nessa zona, os fatores físico-químicos mensurados apresentaram indícios de baixa qualidade da água, isto é, baixos valores de saturação de oxigênio e de pH. Apesar disso, os peixes associados a essa zona (*Rhamdia* sp, *Rineloricaria* sp., *A. giton*, *O. hepsetus*) são espécies associadas a habitats estruturados, sugerindo que esses fatores sejam mais importantes que os físico-químicos para determinação da estrutura da assembléia. O elevado potencial redox pode permitir o uso desta zona pelos peixes, a despeito das mais baixas saturações de oxigênio que foram detectadas, uma vez que ambientes reduzidos exporiam os peixes à toxicidade de gases como sulfídrico e metano (LEHMANN & VINATEA, 2008). As condições físico-químicas encontradas na zona a jusante da barragem podem estar associadas às atividades relativas à operação da usina, que efetua periodicamente descarga de águas mais profundas e com menor qualidade como parte das operações de manutenção Soares (1999). Efluentes decorrentes destas atividades podem influenciar a qualidade da água a jusante do reservatório.

O rio Paraíba do Sul a montante do reservatório (zona 1) apresentou elevadas condutividade e percentagem de saturação de oxigênio como decorrência da carga de nutrientes trazidas pelo sistema lótico e das turbulência causadas no trecho imediatamente a montante. As espécies associadas a essa zona são, principalmente, nativas características de ambientes lóticos como *E. virescens*, *G. albescens*, *H. malabaricus*, *B. insignis*, *L. copelandii* e *C. gilbert*, com as três últimas tendo capacidade de migração reprodutiva (piracema), certamente limitada pelo barramento.

A condutividade foi mais elevada no rio a montante do reservatório (zona 1) e na parte superior do reservatório (zona 2) nos dois períodos estudados, refletindo o transporte de quantidades apreciáveis de compostos orgânicos e inorgânicos para o rio Paraíba do Sul, oriundos das indústrias do trecho médio superior da bacia, localizadas a montante do reservatório da UHE do Funil (ARAÚJO et al., 2009). Na zona mais baixa do reservatório (zona 3) a condutividade apresentou valores similares aos encontrados na zona 2 no período de cheia, e menor condutividade no período de seca. Esses resultados sugerem que no período de cheia o maior aporte de água do rio Paraíba seja responsável pela grande entrada de efluentes industriais e, conseqüentemente, aumentando a condutividade. Segundo SOARES et al. (2008) a influência do rio Paraíba do Sul no reservatório da UHE do Funil é evidenciada pela grande entrada de nutrientes e elevados valores de condutividade elétrica, não somente na zona lótica (1), determinando as principais características limnológicas ao longo de todo o reservatório. Na seca, os processos de sedimentação e fotossíntese, aliados a menor entrada de água favorecem a redução dos valores de condutividade elétrica na zona baixa do reservatório. As baixas correlações encontradas entre espécies de peixes e a condutividade sugerem que dificilmente esta variável influencie diretamente na distribuição dos peixes, com maior probabilidade de influenciar indiretamente através de outros processos ecológicos.

Os resultados deste estudo sugerem que a estrutura da assembléia de peixes é pouco influenciada pelas variáveis físico-químicas examinadas neste trabalho. Em última análise, outros fatores como complexidade dos habitats físico (presença de pedras, vegetação, galhos, raízes, areia, lama) pode funcionar como melhores preditores da distribuição das espécies. Além disso, fatores importantes como às interações bióticas neste ambiente com fortes

interferências antrópicas poderiam estar limitando e determinando os padrões de distribuição espaço-temporal no sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil.

5 CONCLUSÃO

1. O sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil apresentou heterogeneidade espacial nas variáveis ambientais, com o rio a montante do reservatório com elevada condutividade e oxigênio, seguido de uma zona alta do reservatório funcionando como transição, onde foram registrados os maiores valores de oxigênio e pH, associados à atividade fotossintética. A zona baixa do reservatório apresentou características assemelhadas à zona alta, principalmente no período de cheia, enquanto a zona a jusante da barragem apresentou mais baixa qualidade de água, provavelmente associada às operações de manutenção da usina.

2. A temperatura, porcentagem de saturação de oxigênio e pH foram os melhores preditores da distribuição das espécies, embora estas relações não tenham sido muito consistentes. Outros fatores com a complexidade dos habitats físicos podem funcionar como melhores preditores da distribuição das espécies.

3. Espécies introduzidas (*C. monoculus*, *P. squamosissimus*, *M. maculatus*, *O. niloticus* e *P. mesopotamicus*) foram comuns no reservatório, indicando a capacidade das mesmas de ocupar novos nichos para os quais a maioria das espécies nativas do ambiente lótico não são adaptadas, provavelmente por não suportarem as maiores oscilações das variáveis físico-químicas no ambiente do reservatório.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, F.G.; PINTO, B.C.T.; TEIXEIRA, T.P. Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in southeastern Brazil: evaluating environmental influences and some concepts in river ecology. **Hydrobiologia**, V.618, p.89-107, 2009.

ÁVILA, J. P. & R. I. BICUDO. 1982. "Main Brazilian Dams". Ed. Técnica Ltda.

ATOBATELE, O.E.; UGWUMBA; O.A. Seasonal variation in the physicochemistry of a small tropical reservoir (Aiba Reservoir, Iwo, Osun, Nigeria). **African Journal of Biotechnology**, V.7, n.12, p.1962-1971, 2008.

AZEVEDO, S.M.F.O; BRANDÃO, C.C.S.; AZEVEDO, L.O., MARINHO, M.M.; MAGALHÃES, V.F.; HUSZAR, V.L. DE M.; OLIVEIRA A.C. P. DE O.; GOMES, A.M. da A. Efeitos de fatores físicos e químicos no crescimento de cianobactérias e proposição de técnicas de tratamento de água para remoção de cianobactérias e cianotoxinas. Relatório apresentado à Funasa. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2005. Disponível em: <http://www.semasa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/pdf/35Assemae027.pdf>.

FUGI, R.; N.S. HAHN; AGOSTINHO, A.A. Feeding styles of five species of bottom-feeding fishes of the high Paraná River. **Environmental Biology of Fishes**, V.46, p.297-307, 1996.

HAN, M.; FUKUSHIMA, M.; KAMEYAMA, S.; FUKUSHIMA, T.; MATSUSHITA, B. How do dams affect freshwater fish distributions in Japan? Statistical analysis of native and nonnative species with various life histories. **Ecological Research**, V.23, p.735-743, 2008.

HAVEL, J.E.; LEE, C.E.; ZANDEN, M.J.V. Do Reservoirs Facilitate Invasions into Landscapes? **BioScience**, V.55, n.6, p.518-525, 2005.

HOLMGREN, K.; APPELBERG, M. Size structure of benthic freshwater fish communities in relation to environmental gradients. **Journal of Fish Biology**, V.57, p.1312-1330, 2000.

INEA. **Reservatórios**. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br/reservatorios.asp?cat=75>>. Acesso em 25 jan. 2009.

IRZ, P; ARGILLIER, C.; PROTEAU, J.P. Contribution of native and non-native species to fish communities in French reservoirs. **Fisheries Management and Ecology**, V.11, p.165-172, 2004.

KLAPPER, H. Water quality problems in reservoirs of Rio de Janeiro, Minas Gerais and São Paulo. **International Review of Hydrobiologia**, V. 83, p. 93-102, 1998.

LEHMANN, M.; VINATEA, L. Metodologia de Amostragem de Solo para a determinação do Potencial Redox em Viveiros de Cultivo de Água Doce e Salgada. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, V.34, n.1, p.131-140, 2008.

LIENESCH, P.W.; MATTHEWS, W.J. Daily fish and zooplankton abundance in the littoral zone of Lake Texoma, Oklahoma- Texas, in relation to abiotic variables. **Environmental Biology of Fishes**, V.59, p.271-283, 2000.

LOWE-MCCONNELL, R.H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. Tradução de Anna Emília A. de M. Vazzoler, Ângelo Antônio Agostinho & Patrícia T. M. Cunningham. São Paulo: EDUSP, 1999. 534 p. Original em inglês.

NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; MARICATTO, F.E. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, V.4, p.107-120, 1999.

OLIVEIRA, E.F.; MINTE-VERA, C.V.; GOULART, E. Structure of fish assemblages along spatial gradients in a deep subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay border). **Environmental Biology of Fishes**, V.72, p.283-304, 2005.

PINTO, B.C.T.; PEIXOTO, M. G.; ARAÚJO, F.G. Effects of the proximity from an industrial plant on fish assemblages in the rio Paraíba do Sul, southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, V.4, n.2, p.269-278, 2006.

RAHMAN, A.K.M.; BAKRI, D.A.; FORD, P.; CHURCH, T. Limnological characteristics, eutrophication and cyanobacterial blooms in an inland reservoir. **Australia. Lakes & Reservoirs: Research and Management**, V.10, p.211-220, 2005.

ROCHA, M.I.A.; BRANCO, C.W.C.; SAMPAIO, G.F.; GÔMARA, G.A; DE FILIPPO, R. Spatial and temporal variation of limnological features, *Microcystis aeruginosa* and zooplankton in a eutrophic reservoir (Funil Reservoir, Rio de Janeiro). **Acta Limnologica Brasiliensis**, V.4, p.73–86, 2002.

SOARES, C.B.P. Simulação da Qualidade da Água da UHE Funil com o Modelo Ce-Qual-W2: Comparação entre duas formas de representação espacial. *In: XV SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*, Paraná, 1999..

SOARES, M.C.S.; MARINHO, M.M.; HUSZAR, V.L.M.; BRANCO, C.W.C.; AZEVEDO, S.M.F.O. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. V.13, p. 257–269, 2008.

TALLING, J.F.; LEMOALLE, J. *Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters*. Cambridge University Press, Cambridge UK. 1998.

THOMAZ *et al.* Limnologia do reservatório do Segredo: padrões de variação espacial e temporal. *In: AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L.C. (Eds) Reservatório do Segredo: bases ecológicas para o manejo*, MARINGÁ: EDUEM, 1997.

THORNTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York, Wiley-Interscience Publication, 1990. 246 p.

CAPÍTULO III

ADAPTAÇÃO DO ÍNDICE DE INTEGRIDADE BIÓTICA AO SISTEMA RIO PARAÍBA DO SUL – RESERVATÓRIO DA UHE DO FUNIL

RESUMO

Este estudo visou adaptar o Índice de Integridade Biótica, assumindo a denominação de Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR) para um trecho longitudinal do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, dividido em quatro zonas: 1 - rio a montante do reservatório; 2 - parte superior do reservatório; 3 - parte inferior do reservatório, e 4 - rio a jusante do reservatório. Em cada zona, o IAPR foi calculado para todos os meses amostrados (outubro de 2006 a setembro de 2007), e para avaliar eventuais sazonalidade, em dois períodos: cheia (outubro-2006 a fevereiro-2007) e seca (março a setembro-2007). Como o rio Paraíba do Sul não possui áreas não impactadas, a determinação das condições de referência, neste trabalho, seguiu a utilização dos melhores valores observados em substituição à condição de referência, tanto para as zonas de rio (1 e 4) como para as zonas de reservatório (2 e 3). Um total de 24 métricas foi proposto para as zonas de rio (1 e 4) e 23 para as zonas do reservatório, baseadas em seis atributos funcionais (origem, habitat, tolerância, guilda trófica e resiliência) da assembléia de peixes. A seleção das métricas representativas do sistema estudado foi feita com base na variabilidade (amplitude) e redundância das mesmas. Esses procedimentos eliminaram 11 métricas para as zonas de rio e 12 métricas para as zonas do reservatório. Às métricas selecionadas foi aplicada a pontuação contínua, variando de 0 a 10 para cada métrica. A soma das notas de cada métrica resultou em um valor final do IAPR mensal para cada zona. Essas notas foram distribuídas em três classes de qualidade (aceitável moderadamente impactado e impactado). Em todos os meses estudados, nenhuma zona foi classificada com qualidade ambiental aceitável. As notas finais do IAPR variaram entre 13,9 (zona 3) a 70,1 (zona 1) com a maioria dos valores abaixo de 50, caracterizando uma condição de ambiente impactado para o sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil. Entretanto, nos dois períodos estudados, foi possível verificar que, ao longo de um perfil longitudinal, houve uma diminuição da qualidade no sentido rio-reservatório, com ligeira melhoria a jusante da barragem, na zona 4. Essa variação entre as zonas foi significativa com a zona 3 apresentando a mais baixa condição ambiental em relação às demais, apesar de todas terem sido classificadas como “impactadas”. O IAPR mostrou-se sensível ao gradiente de impacto ambiental, no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil com resultados consistentes no espaço e no tempo. Para sua aplicação, um único período de amostragem é necessário, sendo o período de seca o mais apropriado por apresentar níveis de água mais baixos, com menor capacidade de diluição dos poluentes e disponibilidade de habitat, o que sugere maior sensibilidade do índice.

Palavras chaves: Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios, qualidade ambiental, reservatório da UHE do Funil.

ABSTRACT

This study aims to adapt the Index of Biotic Integrity, assuming the denomination of Reservoir Fish Assemblages Index (RFAI) for a longitudinal stretch in the Paraíba do Sul river – Funil reservoir system divided into four zones: 1 = river upstream the reservoir; 2 – upper reaches of the reservoir; 3 - lower reaches of the reservoir; and 4) river downstream the reservoir. The RFAI was calculated for each zone during each month (October 2006 to September 2007), and for each season), and to assess seasonality in two seasons: wet (October-2007 to February-2007) and dry (March to September-2007). Since there is no non-impacted areas in the rio Paraíba do Sul basin, we have used the best obtained values to replace reference condition for both, the river zones (1 e 4) and the reservoir zones (2 e 3). A total of 24 candidates metric for the river zones and 23 for the reservoir zones were assessed based on six functional attributes of the fish assemblages (origin, habitat, tolerance, trophic guilds and resilience). Metric selection was based on variability (amplitude) and redundancy. Such procedures eliminate 11 metrics for the river zones and 12 metrics for the reservoir zones. The continuo punctuation was applied to the selected metric, ranging from 0 to 10 for each metric. The sum of the each metric scores result in the monthly RFAI for each zone. RFAI scores were classified in the environmental quality classes (acceptable, moderately impacted and impacted). Throughout the whole period, no zone was classified in acceptable quality. Final RFAI scores ranged from 13.9 (zone 3) to 70.1 (zone 1) but the majority of the scores were below 50, characterizing the system as impacted. A decreasing environmental quality for both season were observed along the longitudinal river-reservoir profile, with and slight increase in the river upstream the dam (zone 4). Such changes were significant with zone 3 showing lower environmental condition in comparison with the other ones, although all of them have been classified as “impacted”. The RFAI seems to be a sensible tool to assess environmental impact along the system Paraíba do Sul river – Funil reservoir since their results were consistent in space and time. Their application should be performed in just one yearly period, preferably the dry season, when the lower water levels and the lower pollutant dilution capacity and habitat availability, suggest higher index sensibility.

Key words: Reservoir Fish Assemblages Index, environmental quality, Funil reservoir.

1 INTRODUÇÃO

Em ambientes aquáticos, o monitoramento biológico tem sido utilizado como uma ferramenta eficaz de avaliação da qualidade ambiental em função da crescente preocupação com os efeitos das alterações antrópicas. Essa ferramenta fornece uma resposta ampla da condição do ambiente em comparação aos métodos tradicionais (físico-químicos e bioquímicos) que oferecem resultados parciais e pontuais, não avaliando o reflexo das alterações na biota nem a capacidade de recuperação do ecossistema aquático (KARR et al., 1986).

O monitoramento biológico é realizado principalmente através da aplicação de índices multimétricos, que consideram os efeitos de múltiplos impactos e agrega medidas biológicas individuais em um único valor que pode ser usado para avaliar a condição geral de um local (HERING et al., 2006). O Índice de Integridade biótica (IIB) foi a primeira descrição de um procedimento multimétrico para monitorar recursos aquáticos usando peixes de riachos nos Estados Unidos, desenvolvido por Karr (1981). O IIB se fundamenta na análise da estrutura da comunidade de peixes para avaliar a integridade biótica, definida como a capacidade de um ecossistema em manter uma comunidade com riqueza de espécie, composição e organização funcionais e comparáveis a de ecossistemas não perturbados por atividade humana (KARR & DUDLEY, 1981). Depois disso, este índice passou a ser amplamente utilizado não somente nos Estados Unidos (FAUSH et al., 1990), como em vários outros países (GANASAN & HUGHES, 1998; ANGERMEIER & DAVIDEANU, 2004; LYONS et al., 2000; BELPAIRE et al., 2000; HUED & BISTONI, 2005; TEJERINA-GARRO et al., 2006), como uma ferramenta de avaliação ambiental não somente em riachos, como também em lagos (LYONS et al., 2000, DRAKE & PEREIRA, 2003), recifes (JAMESON *et al.* 2001), estuários (PUENTE et al., 2008) e reservatórios (JENNINGS et al., 1995; PETESSE et al., 2007).

O uso de índices multimétricos para o monitoramento de reservatórios é um dos mais recentes, refletindo a resistência em aplicar um índice baseado na integridade biológica a ambientes construídos artificialmente. Jennings et al. (1995) foram os primeiros a propor uma adaptação do IIB para os reservatórios do Vale do Tennesse, EUA, na qual sugeriram uma nova denominação para o índice (RFAI = Reservoir Fish Assemblage Index), retirando o termo “integridade biótica”. Essa modificação foi motivada pela ausência de condições naturais de referência, em função da natureza artificial desses ambientes.

O Índice de Integridade Biótica (IIB) já foi adaptado para trechos do rio Paraíba do Sul (ARAÚJO, 1998; ARAÚJO et al., 2003). Entretanto, essas adaptações não incluíram nenhum dos reservatórios encontrados ao longo de seu canal principal. O reservatório da UHE do Funil é o segundo maior da bacia do rio Paraíba de Sul, de importância econômica e localização estratégica como regulador de enchentes e reserva de água para abastecimento público, constituindo-se um importante modificador das condições naturais do rio. Deste modo, este capítulo objetiva adaptar o IIB para este reservatório, admitindo a denominação de Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR) sugerida por Jennings et al. (1995) e utilizada no Brasil, pela primeira vez, por Petesse et al., 2007, no reservatório de Barra Bonita.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudos

A área de estudo abrangeu parte do trecho médio-superior da bacia rio Paraíba do Sul, na área de influência da UHE do Funil. Quatro zonas foram consideradas para a caracterização do eixo longitudinal rio–reservatório, duas apresentando características lóticis (Zona 1– a montante do reservatório e Zona 4 –a jusante da barragem) e duas dentro do reservatório, caracterizando o ambiente lêntico (Zona 2 – parte alta do reservatório e Zona 3 – próxima a barragem).

2.2 Amostragem

A amostragem foi realizada mensalmente a partir de Outubro de 2006 a setembro de 2007 (exceto em maio e julho de 2007), em quatro locais representativos de diferentes habitats dentro de cada zona. Em cada local foram colocadas três redes (30 m por 2,5 m) de tamanhos de malhas diferentes (2,5 cm, 4,5 cm e 6,5 cm entre nós opostos) totalizando uma área de 900 m² de rede por zona. As redes foram colocadas ao entardecer e retiradas ao amanhecer do dia seguinte, tendo permanecido em operação por aproximadamente 15 horas.

Os peixes coletados foram identificados ainda no campo. Todos os peixes foram contados, pesados (em gramas) e medidos no comprimento total (mm). Todos os indivíduos foram fixados em formalina 10%, durante 48 horas e, posteriormente, conservados em etanol 70%, com parte tendo sido depositada como material testemunho na coleção ictiológica do Laboratório de Ecologia de Peixes, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

2.3 Construção do Índice de Assembléia de Peixes em Reservatório (IAPR)

Em cada zona, o IAPR foi calculado para todos os meses amostrados. Os valores do IAPR por período foram obtidos através da média das notas mensais. O período de cheia correspondeu aos meses de outubro de 2006 a fevereiro de 2007 e o período de seca, aos meses de março a setembro de 2007 (exceto os meses de maio e julho). A avaliação mensal do IBI e, portanto, do IAPR não é usual, entretanto, o índice foi calculado para cada mês em cada zona a fim de detectar variações não perceptíveis em amostragens únicas anuais.

2.3.1 Condição de referência

O desenvolvimento de índices multimétricos é baseado na comparação entre áreas que refletem as condições mais próximas do natural (referência) e áreas impactadas (teste) (OLIVEIRA et al., 2008). Entretanto, em rios de grande porte como o rio Paraíba do Sul, áreas não impactadas não existem mais. Deste modo, são sugeridos métodos alternativos, tais como a utilização dos melhores valores observados para cada métrica na área de estudo. Esses melhores valores são utilizados na expectativa de que as condições “menos impactadas” sejam determinadas a partir dos dados acumulados (ZHU & CHANG, 2008). Esse método foi utilizado com êxito por Pinto & Araújo (2007) no trecho médio-inferior da bacia do rio Paraíba do Sul, mostrando-se sensível, segundo os autores, às variações na poluição difusa que ocorre ao longo da área estudada. Aliado a isso, a natureza artificial dos reservatórios impede a adoção de áreas de referência inalteradas, uma vez que eles próprios são perturbações a uma condição natural de um rio. Met al., & Het al., (1999) sugerem que para

esses ambientes, que as melhores condições observadas sejam consideradas como referência. PETESSE et al. (2007) adaptaram o IAPR a represa de Barra Bonita seguiu essa recomendação tendo obtido resultados satisfatórios. Deste modo, a determinação das condições de referência, neste estudo, seguiu a utilização dos melhores valores observados tanto nas zonas de rio (zonas 1 e 4) como ns zonas de reservatório (zonas 2 e 3).

2.3.2 Proposição de métricas potenciais

Seis atributos funcionais foram considerados para definir a lista de métricas candidatas: origem, habitat, tolerância, guilda trófica e resiliência (Tabela 1). As espécies foram classificadas em relação a esses atributos funcionais, baseadas em literatura e avaliação profissional quando necessário. A classificação quanto à origem (nativas ou introduzidas) seguiu Reis et al. (2003) e Buckup et al. (2007). A utilização do habitat e as categorias tróficas foram definidas de acordo com Araujo et al. (2009). As espécies foram classificadas como de fundo (bentônicas) ou de coluna d'água. Estas características estão associadas às ordens Characiformes, peixes de coluna d'água, com exceção da família Erythrinidae, e Siluriformes, peixes associados ao substrato. Quanto às categorias tróficas, os peixes foram classificados como onívoros (ausência de dieta especializada), carnívoros (alimentam-se de carne ou material orgânico de origem animal como escamas ou nadadeiras), detritívoros (alimentam-se de sedimento ou lodo), invertívoros (alimentam-se de microcrustáceos, gastrópodes e insetos) e herbívoros (alimentam-se de fragmentos de vegetais superiores e algas). Para tolerância, as espécies foram classificadas em intolerantes, intermediárias e tolerantes, baseado na literatura (PINTO & ARAÚJO, 2007) e quando não disponível, na avaliação profissional, de acordo com a sensibilidade em relação à mudança de fluxo, as propriedades químicas da água e da estrutura do habitat. Quanto à resiliência as espécies foram classificadas, como tendo, alta ou baixa resiliência utilizando os dados disponíveis no site *Fishbase* (FROESE & PAULY, 2008). A resiliência é dada como o tempo necessário para que uma espécie dobre a sua população, quanto mais rapidamente isso ocorra maior a resiliência da espécie.

As métricas propostas (28) foram agrupadas em cinco categorias: 1. Composição e riqueza de espécies; 2. Abundância; 3. Composição trófica; 4. Tolerância e 5. Reprodução. Os ambientes de rio (considerando as zonas a montante (1) e a jusante (4) do reservatório), e de reservatório – abrangendo as zonas amostradas dentro do reservatório da UHE do Funil (zonas 2 e 3) foram considerados separadamente para o cálculo do IAPR. Para o primeiro foram propostas 24 métricas e para o segundo, 23. Dentre as métricas propostas, foram consideradas aquelas já aplicadas ao rio Paraíba do Sul, na íntegra ou modificadas; métricas utilizadas na adaptação do IIB a represa de Barra Bonita (PETESSE et al. 2007); e métricas adaptadas ao IIB e aplicadas em outros países (Tabela 2).

Tabela 1: Atributos funcionais das espécies de peixes coletadas no sistema rio Paraíba do Sul- reservatório da UHE do Funil usados para a classificação das métricas. * Origem imprecisa; N, nativa; I, introduzida; O, onívoro; H, herbívoro; C, carnívoro; I, invertívoro; D, detritívoro; Col, coluna d'água; Fun, fundo; Tol, tolerante; Int, tolerância intermediária; IN, intolerante.

Espécie	Origem	Guilda trófica	Habitat	Tolerância	Resiliência
Anostomidae					
<i>Leporinus copelandii</i>	N	O/H	Col	INT	alta
<i>Leporinus conirostris</i>	N	O/H	Col	IN	alta
<i>Leporinus mormyrops</i>	N	O/H	Col	IN	alta
Characidae					
<i>Astyanax bimaculatus</i>	N	O	Col	Tol	alta

<i>Astyanax paraguayae</i>	N	O	Col	Tol	alta
<i>Astyanax giton</i>	N	O	Col	IN	alta
<i>Astyanax sp.</i>	N	O	Col	Tol	alta
<i>Brycon sp.</i>	N	H	Col	IN	alta
<i>Probolodus heterostomus</i>	N	O	Col	IN	alta
<i>Oligosarcus hepsetus</i>	N	C	Col	INT	alta
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	I		Col	Tol	alta
<i>Metynnis maculatus</i>	I	O	Col	Tol	alta
Chrenuchiidae					
<i>Characidium lauroi</i>	N			IN	
Curimatidae					
<i>Cyphocharax gilbert</i>	N	D	Col	IN	
Erythrinidae					
<i>Hoplias malabaricus</i>	N	C	Col	INT	baixa
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>	N	C	Col	INT	
Callichthyidae					
<i>Callichthys callichthys</i>	N	D	Fun	Tol	alta
<i>Hoplosternum littorale</i>	N	D	Fun	Tol	média
Loricariidae					
<i>Hypostomus affinis</i>	N	D	Fun	Tol	média
<i>Hypostomus auroguttatus</i>	N	D	Fun	Tol	média
<i>Rineloricaria sp.</i>	N	D	Fun	IN	
<i>Rhinelepis aspera</i>	N	O	Fun		baixa
Heptapteridae					
<i>Rhamdia sp.</i>	N	C	Fun	Tol	
Pimelodidae					
<i>Pimelodus maculatus</i>	N*	O		Tol	média
<i>Pimelodus fur</i>	N*	O		Tol	alta
Auchenipteridae					
<i>Glanidium albescens</i>	N	O	Fun	INT	
Gymnotidae					
<i>Gymnotus carapo</i>	N	I		INT	média
Sternopygidae					
<i>Eigenmannia virescens</i>	N	I		IN	
Synbranchidae					
<i>Synbranchus marmoratus</i>	N	C		IN	
Sciaenidae					
<i>Pachyurus adspersus</i>	N	I	Col	INT	alta
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	I	C	Col	Tol	média
Cichlidae					
<i>Cichla monoculus</i>	I	C	Col	INT	média
<i>Crenicichla lacustris</i>	N	C	Col	INT	média
<i>Geophagus brasiliensis</i>	N	O	Col	Tol	alta
<i>Oreochromis niloticus</i>	I	O	Col	Tol	alta

Tabela 2: Métricas propostas para a aplicação do IAPR contínuo no Sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.

	Métricas	Sistema	País	Autor
Composição e Riqueza de espécies				
1	Nº de esp. compõem 90% da amostra	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Araujo et al. (2003); Pinto et al. (2006);
		Represa de Barra Bonita	Brasil	Pettesse et al. (2007)
2	Nº total de espécies	Bacias dos rios Gravataí e Sinos	Brasil	Bozetti & Schultz (2004);
		Represa de Barra Bonita	Brasil	Pettesse et al. (2007);
		Rio Wabash	EUA	Pyron et al. 2008
3	Nº de esp. nativas	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Araújo et al. (2003); Pinto et al. (2006);
		Córrego Água Limpa	Brasil	Ferreira e Casatti (2006);
		Bacia do rio Guandiana	Portugal	Magalhães et al. (2008);
4	Nº de esp. Siluriformes	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Araújo (1998); Araujo et al. (2003);
				Pinto et al. (2006); Pinto & Araujo (2007)
5	Nº de esp. Characiformes	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Araújo (1998); Araujo et al. (2003);
				Pinto et al. (2006); Pinto & Araujo (2007)
6	Nº de esp. exóticas	Represa de Barra Bonita	Brasil	Pettesse et al. (2007);
		Bacia do rio Guandiana	Portugal	Magalhães et al. (2008)
7	Nº de esp. migratórias	Rio Paraíba do Sul *	Brasil	Araújo (1998);
8	Diversidade de Shannon de esp. nativas	Bacia do rio Guandiana	Portugal	Magalhães et al. (2008)
9	Equitabilidade em esp. nativas	Bacia do rio Guandiana	Portugal	Magalhães et al. (2008)
Abundância				
10	Nº total de indivíduos	Represa de Barra Bonita	Brasil	Pettesse et al. (2007);
		Reservatório (Vale do rio Tenesse)	EUA	McDonough & Hickman (1999)
11	% de indiv. Characiformes	Córrego Água Limpa*	Brasil	Ferreira e Casatti (2006)
12	% de indiv. Siluriformes	Córrego Água Limpa*	Brasil	Ferreira e Casatti (2006)
Composição trófica				
13	Nº de esp. carnívoras	Bacias dos rios Gravataí e Sinos	Brasil	Bozetti & Schultz (2004)

14	N° de esp. Carnívoras nativas	Bacias dos rios Gravataí e Sinos *	Brasil	Bozetti & Schultz (2004)
15	N° de esp. onívoras	Bacia do rio Guandiana	Portugal	Magalhães et al. (2008)
16	N° de esp. invertívoras	Reservatório (Vale do rio Tenesse)	EUA	McDonough & Hickman (1999)
17	N° de esp. detritívoras			
18	% de indiv. onívoros	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Araujo et al. (2003); Pinto et al. (2006); Petesse et al. (2007); Pryon et al. (2008)
		Represa de Barra Bonita	Brasil	
		Rio Wabash	EUA	
19	% de indiv. invertívoros	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Araújo (1998)
20	% de indiv. detritívoros			
21	% de indiv. carnívoros exóticos			
22	% indiv. carnívoros nativos	Rio Paraíba do Sul	Brasil	Pinto & Araujo (2007); Petesse et al. (2007)
		Reservatório Barra Bonita *	Brasil	
23	% de indiv. de habito especializado	Reservatório Barra Bonita*		Petesse et al. (2007)
Tolerância				
24	N° de esp. intolerantes	Bacias dos rios Gravataí e Sinos	Brasil	Bozetti & Schultz (2004); Petesse et al. (2007)
		Reservatório Barra Bonita	Brasil	
		Bacia do rio Guandiana	Portugal	Magalhães et al. (2008)
25	N° de esp. tolerantes			
26	% de indivíduos intolerantes	Rio Paraíba do Sul *	Brasil	Araújo (1998); Magalhães et al. (2008); Zhu & Chang (2008)
		Bacia do rio Guandiana	Portugal	
		Yangtze River	China	
27	% de indiv. tolerantes	Bacia do rio Guandiana		Magalhães et al. (2008)
Reprodução				
28	N° de esp. de alta resiliência	Reservatório Barra Bonita		Petesse et al. (2007)

2.3.3 Seleção das métricas

As métricas candidatas foram selecionadas por variabilidade (amplitude) e redundância, segundo Hughes et al. (1998). Primeiro, as métricas com pequena amplitude (0-3) foram consideradas inadequadas e excluídas da pontuação por não contribuírem com a variação da nota. Segundo, associações entre métricas foram avaliadas através do coeficiente de correlação de Spearman, seguindo Whittier et al. (2007), que consideram que um par de métricas é redundante se apresentar coeficientes de correlação de Spearman maiores que 0,7 ou menores que -0,7 (Tabela 3). Diante de um par de métricas redundantes o critério para escolher uma delas foi o mesmo utilizado por Hering et al. (2006), os quais excluem a métrica que apresentar maior correlação geral com as outras métricas da matriz. Excepcionalmente, métricas rejeitadas por apresentarem forte correlação foram mantidas.

2.3.4 Pontuação contínua

Os métodos de pontuação das métricas podem diferir em função do tipo de escala utilizada (discreta ou contínua). A proposta inicial de Karr (1981) utilizou a pontuação discreta. Porém, atualmente, a maioria dos trabalhos utiliza métodos contínuos de padronização das métricas (HUGHES et al., 1998, KLEMM et al., 2003, BOZZETTI E SCHULZ, 2004, WHITTIER et al., 2007, PINTO et al., 2007). Blocksom (2003) comparou diferentes métodos de pontuação das métricas e aponta que os métodos contínuos baseados na distribuição de todos os pontos conferem maior sensibilidade e estabilidade ao índice.

Neste trabalho foi aplicada a pontuação contínua, variando de 0 a 10 para cada métrica. Em métricas que decrescem com impacto, o menor valor (0) foi obtido através do percentil 5° dos valores observados e o maior valor (10) equivale ao percentil 95°. A utilização dos percentis 5° e 95° é importante para a exclusão de eventuais valores extremos que prejudiquem a correta interpretação da métrica. Os valores observados entre os limites estabelecidos pelos percentis foram pontuados de forma contínua como frações dos valores observados. O cálculo das notas foi feito através de uma adaptação do modelo de Klemm et al. (2003), resultando na seguinte fórmula:

$$\frac{\text{Valor da métrica observado} - \text{limite inferior (percentil 5°)}}{\text{Limite superior (percentil 95°)} - \text{limite inferior (percentil 5°)}} \times 10$$

Para métricas que aumentam com impacto, o contrário foi realizado. O valor referente à melhor condição foi estabelecido pelo percentil 5° e a pior condição estabelecida pelo percentil 95°. O valor resultante da soma das notas individuais de cada métrica foi multiplicado por 10 e dividido pelo número total de métricas. Esse procedimento permitiu que a nota final variasse de 0 a 100, independente do número de métricas utilizadas, possibilitando a comparação entre índices adaptados com números de métricas diferentes. Comparações entre as médias do IAPR para as zonas estudadas foram feitas utilizando-se o teste paramétrico ANOVA bi-fatorial.

As notas finais do IAPR foram distribuídas em classes de qualidade. Karr *et al.* (1986) propuseram em seu trabalho cinco classes (excelente, bom, regular, pobre e muito pobre), porém, neste trabalho foram adotadas três classes, propostas por Ganasan & Hughes (1998): “aceitável”, “moderadamente impactado” e “impactado”. De acordo com esses autores, muitas categorias dificultam a interpretação dos resultados e, conseqüentemente, a tomada de decisões dos gestores ambientais.

Tabela 3: As métricas propostas para a construção do Índice de Assembléia de Peixes em Reservatórios (IAPR) no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, resposta esperada a poluição da água e destruição do hábitat e passo do processo de seleção pelo qual foram rejeitadas: red – redundância e var – variabilidade. Métricas finais (F).

Métricas candidatas	Código	Ambiente	Resposta esperada	Seleção	
				Rio	Rep
<i>Composição e Riqueza de espécies</i>					
Nº de espécies que compõem 90% da amostra	NE9	Rio/res	-	red	F
Nº total de espécies	NTE	Res	-		red
Nº de espécies nativas	NEN	Rio/res	-	F	F
Nº de espécies Siluriformes	NES	Rio/res	-	F	var
Nº de espécies Characiformes	NECh	Rio/res	-	F	F
Nº de espécies exóticas	NEE	Rio/res	+	var	var
Nº de espécies migratórias	NEM	Rio/res	-	var	var
Diversidade de Shannon de espécies nativas	DSEN	Rio	-	red	
Equitabilidade em espécies nativas	EEN	Rio	-	red	
<i>Abundância</i>					
Nº total de indivíduos	NTI	Rio	-	red	
% de indivíduos Characiformes	PIC	Rio/res	-	red	red
% de indivíduos Siluriformes	PIS	Rio/res	-	F	F
<i>Estrutura trófica</i>					
Nº de espécies carnívoras	NECa	Rio	-	red	
Nº de espécies Carnívoras nativas	NECN	Rio	-	F	
Nº de espécies onívoras	NEO	Rio/res	+	red	Red
Nº de espécies invertívoras	NEIN	Rio/res	-	var	var
Nº de espécies detritívoras	NEDE	Rio/res	-	red	var
% de indivíduos onívoros	PIO	Rio/res	+	F	F
% de indivíduos invertívoros	PIIN	Rio/res	-	F	F
% de indivíduos detritívoros	PIDE	Rio/res	-	F	red
% de indivíduos carnívoros exóticos	PICE	Rio/res	+	F	F
% de indivíduos carnívoros nativos	PICN	Rep	-		F
% de indivíduos de habito especializado	PIHE	Rep	-		red
<i>Tolerância</i>					
Nº de espécies intolerantes	NEI	Rio/rep	-	F	var
Nº de espécies tolerantes	NET	Rio/rep	+	F	F
% de indivíduos intolerantes	PII	Rio/rep	-	F	F
% de indivíduos tolerantes	PIT	Rio/rep	+	F	F
<i>Reprodução</i>					
Nº de espécies de alta resiliência	NEAR	Rep	+		red

3 RESULTADOS

3.1 Seleção das Métricas

3.1.1 Amplitude de variação

Dentre as métricas propostas para o ambiente de rio, três foram rejeitadas por apresentarem pequena variação (0-3) entre os valores observados: i) Número de espécies exóticas; ii) Número de espécies migratórias e iii). Número de espécies invertívoras. Nas zonas do reservatório, as métricas eliminadas por esse procedimento foram: i) Número de espécies Siluriformes; ii) Número de espécies exóticas; iii) Número de espécies migratórias;

iv) Número de espécies invertívoras; v) Número de espécies detritívoras; vi) Número de espécies intolerantes (Tabela 3).

3.1.2 Redundância

As métricas selecionadas a partir do teste anterior foram utilizadas para a construção de uma matriz de correlação de Spearman, sendo eliminadas uma métrica de cada par de combinações que apresentasse correlação maior que 0,70 ou menor que -0,70. Para o ambiente de rio as seguintes métricas foram eliminadas: i) Número total de indivíduos; ii) Número de espécies que compõem 90% da amostra; iii) Proporção de indivíduos Characiformes; iv) Diversidade de Shannon de espécies nativas; v) Equitabilidade de espécies nativas; vi) Número de espécies carnívoras; vii) Número de espécies detritívoras; viii) Número de espécies onívoras (Tabela 4). A métrica “Número de espécies nativas” foi mantida e incluída no IAPR mesmo tendo sido correlacionada com Número de espécies Characiformes e Número de espécies onívoras, uma vez que tem sido tradicionalmente importante na adaptação do índice em ambientes tropicais e representa amplamente a complexidade e estruturação do ambiente.

Seis métricas foram eliminadas pelo teste da correlação de Spearman para as zonas do reservatório: i) Número total de espécies; ii) Proporção de indivíduos detritívoros; iii) Proporção de indivíduos de hábito especializado; iv) Número de espécies onívoras; v) Proporção de indivíduos Characiformes; vi) Número de espécies de alta resiliência (Tabela 5). O cálculo do IAPR nas zonas de rio foi resultado do somatório de 13 métricas, e nas zonas de reservatório resultou do somatório de 11 métricas.

Tabela 4: Matriz de correlação de Spearman entre as métricas candidatas para o IAPR nas zonas de rio (zonas 1 e 4). Métricas com forte correlação foram excluídas ($r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$). Métricas excluídas e valores de $r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$ estão sublinhados.

Métricas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1 <u>NTI</u>	1.0																				
2 <u>NEN</u>	<u>0.8</u>	1.0																			
3 <u>NES</u>	0.4	0.6	1.0																		
4 <u>NECh</u>	<u>0.7</u>	<u>0.8</u>	0.2	1.0																	
5 <u>NE9</u>	0.1	0.6	<u>0.7</u>	0.4	1.0																
6 <u>PIC</u>	-0.2	-0.3	-0.4	0.1	-0.2	1.0															
7 <u>PIS</u>	0.2	0.2	0.4	-0.1	0.1	<u>-0.9</u>	1.0														
8 <u>DSEN</u>	0.1	0.6	0.6	0.5	<u>0.9</u>	-0.2	0.0	1.0													
9 <u>EEN</u>	-0.5	-0.1	0.2	-0.2	0.4	0.1	-0.1	0.6	1.0												
10 <u>NECa</u>	0.3	0.4	0.0	0.4	0.1	-0.2	0.1	0.2	-0.2	1.0											
11 <u>NECN</u>	0.3	0.5	0.1	0.4	0.1	-0.3	0.2	0.3	-0.2	<u>0.9</u>	1.0										
12 <u>NEO</u>	0.5	<u>0.7</u>	0.5	0.6	0.6	-0.1	0.1	0.5	0.0	-0.1	-0.1	1.0									
13 <u>NEDE</u>	0.4	0.6	<u>0.8</u>	0.2	0.6	-0.5	0.3	0.6	0.2	0.2	0.2	0.3	1.0								
14 <u>PIO*</u>	0.4	0.0	-0.1	0.1	-0.4	0.2	-0.1	-0.6	<u>-0.8</u>	-0.1	-0.2	0.1	-0.3	1.0							
15 <u>PIIN</u>	0.3	0.5	0.1	0.5	0.3	-0.1	0.0	0.3	-0.2	0.6	0.4	0.2	0.2	0.0	1.0						
16 <u>PIDE</u>	-0.1	0.3	0.5	0.0	0.6	-0.4	0.3	0.6	<u>0.7</u>	-0.2	-0.2	0.2	0.5	<u>-0.7</u>	0.1	1.0					
17 <u>PICE</u>	0.1	0.4	0.3	0.3	0.5	-0.3	0.0	0.6	0.1	0.6	0.3	0.2	0.6	-0.3	0.6	0.3	1.0				
18 <u>NEI</u>	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.2	-0.1	-0.1	<u>0.8</u>	0.2	-0.1	0.2	0.3	0.2	1.0			
19 <u>NET</u>	0.5	0.5	0.6	0.3	0.4	-0.5	0.3	0.4	-0.2	0.3	0.3	0.3	<u>0.8</u>	0.0	0.3	0.2	0.6	0.1	1.0		
20 <u>PII</u>	0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	0.0	-0.1	<u>0.7</u>	0.4	-0.1	-0.1	<u>0.8</u>	0.3	-0.2	0.1	0.4	0.3	<u>0.9</u>	0.1	1.0	
21 <u>PIT</u>	0.6	0.3	0.3	0.0	-0.2	-0.4	0.5	-0.3	-0.6	0.2	0.2	-0.1	0.3	0.5	0.1	-0.2	0.0	-0.2	0.6	-0.3	1.0

Tabela 5: Matriz de correlação de Spearman entre as métricas candidatas para o IAPR nas zonas de reservatório (zonas 2 e 3). Métricas com forte correlação foram excluídas ($r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$). Métricas excluídas e valores de $r \geq 0,7$ ou $\leq 0,7$ estão sublinhados.

	Métricas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	<u>NTE</u>	1,0																
2	<u>NEN</u>	<u>0,8</u>	1,0															
3	<u>NEC</u>	0,6	0,6	1,0														
4	<u>NE9</u>	0,4	0,5	0,2	1,0													
5	<u>PIC</u>	-0,2	-0,3	0,0	-0,3	1,0												
6	<u>PIS</u>	0,1	0,4	-0,2	0,6	-0,5	1,0											
7	<u>PICN</u>	-0,3	-0,2	0,2	0,2	0,4	-0,2	1,0										
8	<u>NEO</u>	<u>0,7</u>	0,5	0,3	0,2	-0,3	-0,1	-0,4	1,0									
9	<u>PIO</u>	0,0	-0,1	0,0	-0,2	<u>0,9</u>	-0,3	0,2	-0,1	1,0								
10	<u>PIIN</u>	0,0	0,1	-0,1	0,2	0,0	0,4	-0,3	-0,1	0,1	1,0							
11	<u>PIDE</u>	0,2	0,4	-0,1	<u>0,7</u>	-0,4	<u>0,8</u>	-0,1	0,0	-0,4	0,2	1,0						
12	<u>PICE</u>	-0,2	0,1	0,0	-0,3	-0,4	0,2	0,0	-0,2	-0,4	0,1	-0,1	1,0					
13	<u>PIHE</u>	0,1	0,4	-0,1	0,6	-0,4	<u>0,9</u>	-0,2	0,0	-0,4	0,4	<u>0,9</u>	0,1	1,0				
14	<u>NET</u>	<u>0,8</u>	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,4	<u>0,7</u>	0,1	-0,1	0,2	-0,3	0,1	1,0			
15	<u>PII</u>	0,4	0,4	0,3	0,6	-0,1	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,3	0,1	1,0		
16	<u>PIT</u>	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,3	0,1	-0,3	-0,1	0,4	0,0	0,3	-0,3	0,2	0,4	-0,4	1,0	
17	<u>NEAR</u>	<u>0,9</u>	0,6	0,6	0,1	0,1	-0,2	-0,3	<u>0,7</u>	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	<u>0,8</u>	0,3	0,0	1,0

3.2 Pontuação das Métricas

Com a distribuição dos valores de cada métrica foram identificados os percentis 5° e 95°, considerados os limites, mínimo e máximo, para a pontuação contínua (Tabela 6). As notas de cada métrica nas duas zonas (1 e 4) de rio e duas (2 e 3) de reservatório, o IAPR e classe de qualidade ambiental por mês de coleta estão indicadas nas tabelas 7 e 8.

Tabela 6: Métricas selecionadas, melhores (M) e piores (P) valores observados e os percentis 5° e 95° identificados para a pontuação do IAPR nos dois ambientes estudados.

	Métricas Selecionadas	Rio				Reservatório			
		M	P	5	95	M	P	5	95
1	Número de espécies nativas	13	3	3,5	13	13	6	6	12
2	Número de espécies Siluriformes	5	0	0,5	5				
3	Número de espécies Characiformes	9	2	2,5	8,5	7	2	2,5	7
4	Proporção de indivíduos Siluriformes	77,5	0	6,0	77,5	67,9	2,5	2,7	59,5
5	Núm. de esp.compõem 90% da amostra					8	2	2	8
6	Número de espécies Carnívoras nativas	4	0	0,5	3,5				
7	% de indivíduos onívoros	40	92,8	41,4	92,6	38,7	98,7	41,7	92,06
8	% indivíduos carnívoros nativos					12,2	0	0,14	10,7
9	% de indivíduos invertívoros	5,5	0	0	4,6	6,2	0	0	5,8
10	% de indivíduos detritívoros	31,3	0	0	30,0				
11	% de indivíduos carnívoros exóticos	0	100	0	93,3	5,2	100	10,6	100
12	Número de espécies intolerantes	5	0	0	4				
13	% de indivíduos intolerantes	14,7	0	0	14,7	19	0	0	17,6
14	% de indivíduos tolerantes	62,2	95,6	66,9	94,8	44,2	96,2	47,2	95,3
15	Número de espécies tolerantes	5	12	5	11	4	9	4,5	9

3.3 Classes de Qualidade

O Índice de Assembléia de Peixes em Reservatório variou de 0 a 100. As avaliações qualitativas (“aceitável”, “moderadamente impactado”, “impactado”) foram dadas à nota final do IAPR, segundo Ganasan e Hughes (1998). A classe “impactada” foi referente à nota inferior a 60 do total, “moderadamente impactada” entre 60 e 80 e, acima de 80 foi considerado “aceitável”.

Tabela 7: Valores observados das 13 métricas selecionadas para zonas de rio (Z1 = zona 1 e Z4 = zona 4), por meses de coleta (out/2006 a set/2007) com valores das notas em negrito, IAPR final e classes de qualidade (M=moderadamente impactado e I=Impactado). O = observado; N = nota; Código das métricas conforme tabela 3.

		Métricas																												IAPR	Classe
		NEN		NES		NECh		PIS		NECN		PIO		PIIN		PIDE		PICE		NET		PIT		NEI		PII					
Z1		O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N		
2006	Out	12	8,9	4	7,8	7	7,5	42,3	5,1	2	5,0	40	10	5,5	10	31,4	10	74,5	2,0	8	5,0	72,7	7,9	1	2,5	4,5	3,1	65,2	M		
	Nov	12	8,9	4	7,8	9	10	29,7	3,3	2	5,0	81,3	2,2	2,2	4,9	11,2	3,7	22,3	7,6	8	5,0	85,6	3,3	2	5	6,5	4,4	54,8	I		
	Dez	10	6,8	4	7,8	5	4,2	36,1	4,2	2	5,0	92,4	0	0,8	1,8	5,0	1,7	25,0	7,3	9	3,3	93,7	0,4	1	2,5	0,8	0,6	35,1	I		
	Jan	10	6,8	3	5,6	6	5,8	77,5	10	2	5,0	92,8	0	1,1	2,3	3,9	1,3	19,2	7,9	10	1,7	95,6	0	0	0	0,0	0,0	35,7	I		
	Fev	13	10	5	10	8	9,2	40,6	4,9	3	8,3	63,1	5,8	0,5	1,1	23,2	7,8	85,4	0,9	12	0,0	89,7	1,8	1	2,5	7,3	4,9	51,6	I		
2007	Mar	12	8,9	3	5,6	8	9,2	49,4	6,1	3	8,3	44,4	9,4	3,7	8,1	24,8	8,3	86,7	0,7	9	3,3	88,3	2,3	3	7,5	6,7	4,5	63,3	M		
	Abr	10	6,8	4	7,8	5	4,2	23,9	2,5	3	8,3	57,7	6,8	1,4	3,1	8,5	2,8	52,2	4,4	10	1,7	83,1	4,2	0	0	0,0	0,0	40,5	I		
	Jun	3	0,0	1	1,1	2	0,0	28,6	3,2	1	1,7	42,9	9,7	0	0,0	28,6	9,5	0,0	10	5	10	71,4	8,4	0	0	0,0	0,0	41,2	I		
	Ago	4	0,5	0	0,0	4	2,5	0,0	0,0	1	1,7	89,7	0,6	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10	5	10	86,9	2,8	0	0	0,0	0,0	21,6	I		
	Set	8	4,7	2	3,3	6	5,8	11,9	0,8	2	5,0	81,0	2,3	2,4	5,2	4,8	1,6	40,0	5,7	8	5,0	73,8	7,5	1	2,5	2,4	1,6	39,3	I		
2006	Z4																														
	Out	13	10	4	7,8	8	9,2	46,4	5,7	2	5,0	84,4	1,6	0,6	1,2	12,3	4,1	0	10	10	1,7	91,6	1,1	2	5	2,8	1,9	49,4	I		
	Nov	8	4,7	5	10,0	3	0,8	72,1	9,3	2	5,0	67,3	4,9	0	0,0	24,8	8,3	0	10	9	3,3	93,9	0,3	0	0	0,0	0,0	43,6	I		
Dez	9	5,8	4	7,8	4	2,5	77,4	10	2	5,0	79,2	2,6	2,3	5,1	13,2	4,4	22,2	7,6	9	3,3	93,6	0,4	0	0	0,0	0,0	42,0	I			

2007	Jan	13	10	5	10	7	7,5	56,2	7,0	2	5,0	80	2,5	0,6	1,3	14,5	4,8	0,0	10	7	6,7	77,3	6,3	5	10	14,7	10	70,1	M
	Fev	10	6,8	3	5,6	4	2,5	71,8	9,2	2	5,0	68,2	4,8	1,2	2,6	23,5	7,9	33,3	6,4	9	3,3	90,6	1,5	3	7,5	4,7	3,2	50,9	I
	Mar	9	5,8	3	5,6	5	4,2	19,7	1,9	2	5,0	86,9	1,1	3,3	7,1	3,3	1,1	25,0	7,3	9	3,3	90,2	1,7	1	2,5	3,3	2,2	37,6	I
	Abr	8	4,7	5	10	3	0,8	66,3	8,4	0	0,0	71,2	4,2	0	0,0	25,0	8,3	100	0,0	10	1,7	82,7	4,3	2	5	11,5	7,8	42,6	I
	Jun	8	4,7	3	5,6	5	4,2	23,0	2,4	1	1,7	67,2	5,0	0	0,0	9,8	3,3	0	10	7	6,7	62,3	10	3	7,5	14,8	10	54,6	I
	Ago	8	4,7	3	5,6	5	4,2	42,2	5,1	2	5,0	81,1	2,2	0	0,0	7,8	2,6	0	10	7	6,7	83,3	4,1	1	2,5	4,4	3,0	42,8	I
	Set	7	3,7	2	3,3	4	2,5	66,7	8,5	4	10	79,2	2,6	0	0,0	0	0,0	0	10	6	8,3	79,2	5,6	0	0	0,0	0,0	42,0	I

Tabela 8: Valores observados das 11 métricas selecionadas para as zonas de reservatório (Z2 = zona 2 e Z3 = zona 3), por meses de coleta (out/2006 a set/2007) com valores das notas em negrito, IAPR final e classes de qualidade (I=Impactado). O = observado; N = nota; Código das métricas conforme tabela 3.

		Métricas																								IAPR	Classe
		NEN		NECh		NE9		PIS		PICN		PIO		PIIN		NET		PICE		PII		PIT					
Z2		O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N				
2006	Out	9	5,0	4	3,3	7	8,3	25,4	4,0	5,6	5,2	70,4	4,3	0	0	7	4,4	16,0	9,4	19,7	10	70,4	5,2	53,8	I		
	Nov	13	10	7	10	6	6,7	24,0	3,7	0,9	0,7	79,6	2,5	3,1	5,3	9	0,0	5,2	10	1,5	0,9	92,6	0,6	45,7	I		
	Dez	9	5,0	3	1,1	5	5,0	67,9	10	0,9	0,8	49,1	8,5	0,9	1,6	7	4,4	100	0	0	0	96,2	0	33,2	I		
2007	Jan	10	6,7	2	0,0	5	5,0	51,1	8,5	0,0	0,0	59,1	6,5	4,5	7,8	7	4,4	100	0	1,1	0,6	93,2	0,4	36,4	I		
	Fev	9	5,0	6	7,8	6	6,7	30,6	4,9	12,2	10	47,0	9,0	0,0	0,0	5	8,9	100	0	3,1	1,7	81,6	2,8	51,6	I		
	Mar	10	6,7	5	5,6	8	10	40,1	6,6	1,3	1,1	62,5	5,9	2,6	4,5	8	2,2	85,7	1,6	7,8	4,4	83,2	2,5	46,3	I		
	Abr	10	6,7	6	7,8	8	10	11,6	1,6	7,5	6,9	68,0	4,8	0,0	0,0	9	0,0	70,4	3,3	2,1	1,2	86,5	1,8	40,1	I		
	Jun	6	0,0	4	3,3	4	3,3	8,1	0,9	4,8	4,4	78,8	2,6	5,4	9,3	5	8,9	62,5	4,2	0	0	87,2	1,7	35,1	I		

	Ago	11	8,3	7	10	5	5,0	22,7	3,5	9,1	8,5	80,3	2,3	1,5	2,6	6	6,7	100	0	4,5	2,6	83,3	2,5	47,3	I
	Set	6	0,0	3	1,1	5	5,0	28,1	4,5	4,7	4,3	75,0	3,4	6,2	10	4	10	100	0	15,6	8,8	79,7	3,2	45,8	I
	Z3					5																			
2006	Out	7	1,7	3	1,1	4	5,0	11,7	1,6	5,0	4,6	78,3	2,7	1,7	2,9	7	4,4	60,0	4,5	0	0	93,3	0,4	26,3	I
	Nov	8	3,3	4	3,3	5	3,3	11,3	1,5	4,2	3,9	84,5	1,5	0	0	8	2,2	75,0	2,8	0	0	94,4	0,2	20,1	I
	Dez	7	1,7	3	1,1	5	5,0	25,5	4,0	2,0	1,7	55,9	7,2	0	0	8	2,2	68,8	3,5	1	0,6	94,1	0,2	24,7	I
	Jan	10	6,7	5	5,6	7	5,0	37,2	6,1	2,1	1,9	63,8	5,6	5,3	9,2	8	2,2	100	0,0	2,1	1,2	78,7	3,4	42,6	I
2007	Fev	9	5,0	4	3,3	2	8,3	27,1	4,3	4,2	3,8	77,1	3,0	2,1	3,6	7	4,4	50	5,6	2,1	1,2	87,5	1,6	40,2	I
	Mar	7	1,7	4	3,3	3	0,0	3,2	0,1	1,2	1,0	38,7	10	0	0	5	8,9	100	0	0	0	44,2	10	31,8	I
	Abr	9	5,0	6	7,8	4	1,7	2,5	0	1,4	1,2	44,8	9,4	0	0	7	4,4	98,9	0,1	0,6	0,3	50,1	9,4	35,7	I
	Jun	8	3,3	4	3,3	4	3,3	7,6	0,9	9,2	8,5	80,2	2,4	0	0	7	4,4	100	0	0	0	85,5	2,0	25,7	I
	Ago	7	1,7	3	1,1	2	3,3	14,9	2,1	6,4	5,9	89,4	0,5	0	0	6	6,7	50,0	5,6	0	0	91,5	0,8	25,2	I
	Set	8	3,3	4	3,3	7	0,0	2,9	0	0,3	0,1	94,8	0,0	0,9	1,5	8	2,2	88,2	1,3	5,2	3,	93,3	0,4	13,9	I

3.4 Variações espaço-temporais

Em todos os meses estudados nenhuma zona foi classificada com qualidade ambiental aceitável. As notas finais do IAPR variaram entre 13,9 (zona 3) a 70,1 (zona 1) com a maioria dos valores abaixo de 50, caracterizando uma condição de ambiente impactado para o sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil.

As zonas de rio (zonas 1 e 4), na maioria dos meses, foram classificadas como impactadas, com exceção dos meses de outubro e março (zona 1) e janeiro (zona 4), quando foram classificadas como “moderadamente impactadas”. Essa melhoria na condição ambiental foi muito discreta uma vez que os valores não foram muito superiores a 60, limite entre as classes “impactada” e “moderadamente impactada” (Figura 1).

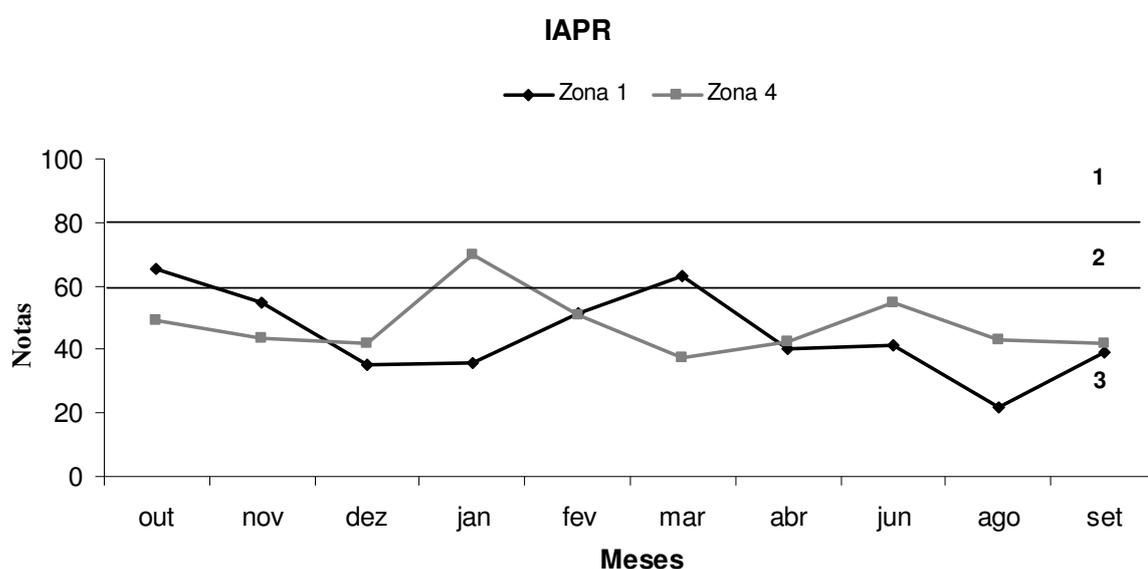


Figura 1: Valores do IAPR contínuo nas zonas de rio (zonas 1 e 4) ao longo dos meses de estudo (outubro/2006 a setembro/2007), com exceção de maio e julho de 2007. Classes de qualidade ambiental: 1= Aceitável; 2 = Moderadamente impactado e 3 = Impactado.

As zonas do reservatório (zonas 2 e 3) foram classificadas como impactadas em todos os meses de estudo. Apesar de estarem na mesma classe de qualidade ambiental, a zona 2 apresentou notas finais de IAPR maiores em relação à zona 3 em todos os meses, com exceção de janeiro (Figura 2).

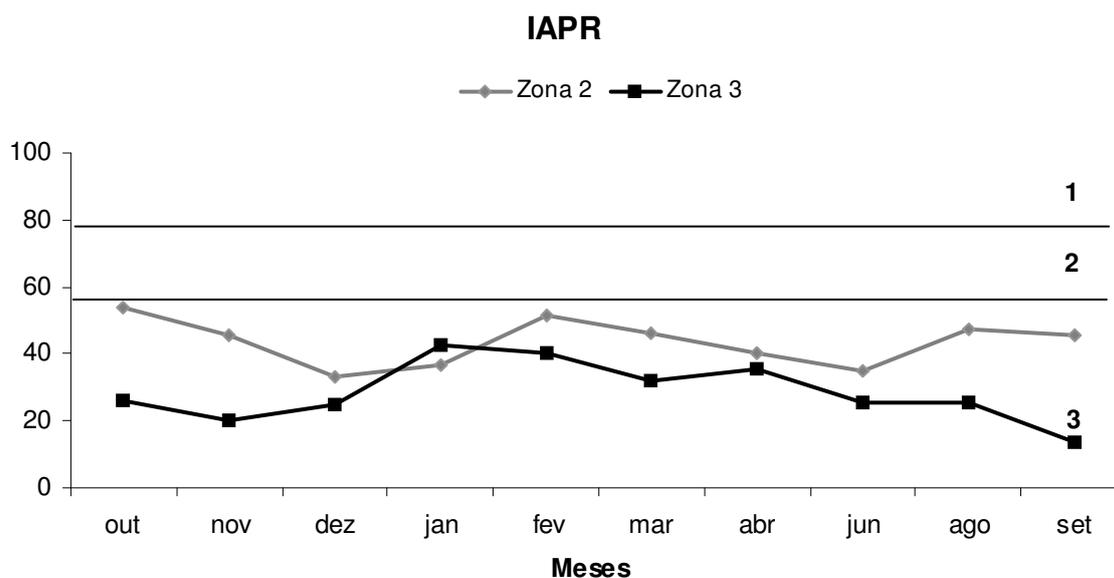


Figura 2: Valores do IAPR contínuo nas zonas de reservatório (zonas 2 e 3) ao longo dos meses de estudo (outubro/2006 a setembro/2007), com exceção de maio e julho de 2007. Classes de qualidade ambiental: 1= Aceitável; 2 = Moderadamente impactado e 3 = Impactado.

Para comparação entre os períodos (Cheia e Seca) e zonas foram utilizadas as médias do IAPR nos meses correspondentes a cada período. O período de cheia registrou maior IAPR do que o período de seca em todas as zonas (Tabela 9), entretanto essa diferença não foi significativa (Figura 3), ao contrário das zonas.

Tabela 9: Valores de F (ANOVA bi fatorial) para comparações do IAPR entre zonas e períodos.

	F	p
Zonas	8.246	0,000*
Períodos	2.22	0.146
Zonas x Períodos	0.197	0.897

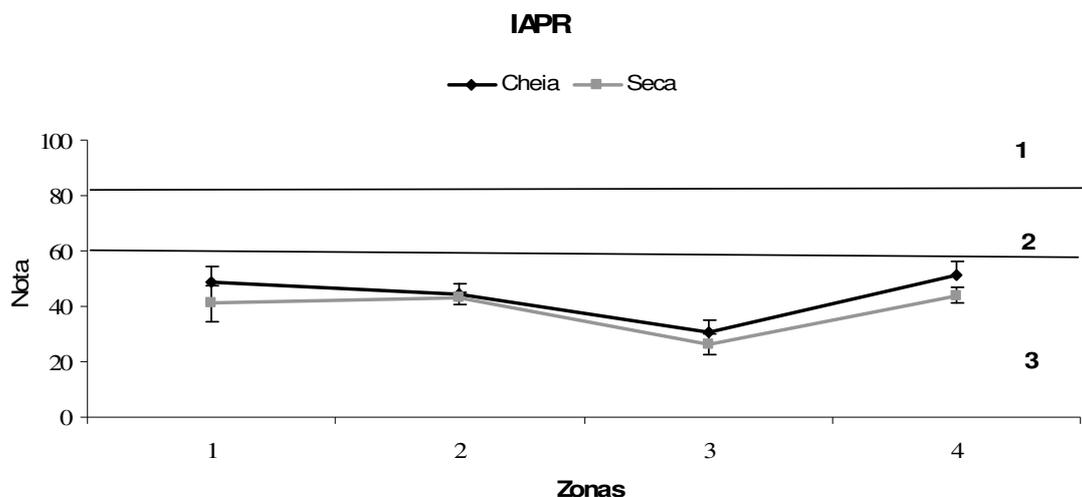


Figura 3: Valores médios do IAPR e erro padrão para as quatro zonas estudadas nos períodos: cheia e seca. Classes de qualidade ambiental: 1 = Aceitável; 2 = Moderadamente impactado e 3= Impactado.

Nos dois períodos estudados, é possível verificar que, ao longo de um perfil longitudinal, há uma diminuição da qualidade no sentido rio-reservatório, com ligeira melhoria a jusante da barragem, na zona 4 (Figuras 4 e 5). Essa variação entre as zonas foi significativa (Tabela 9) com a zona 3 apresentando a pior condição ambiental em relação às demais, apesar de todas terem sido classificadas como “impactadas”.

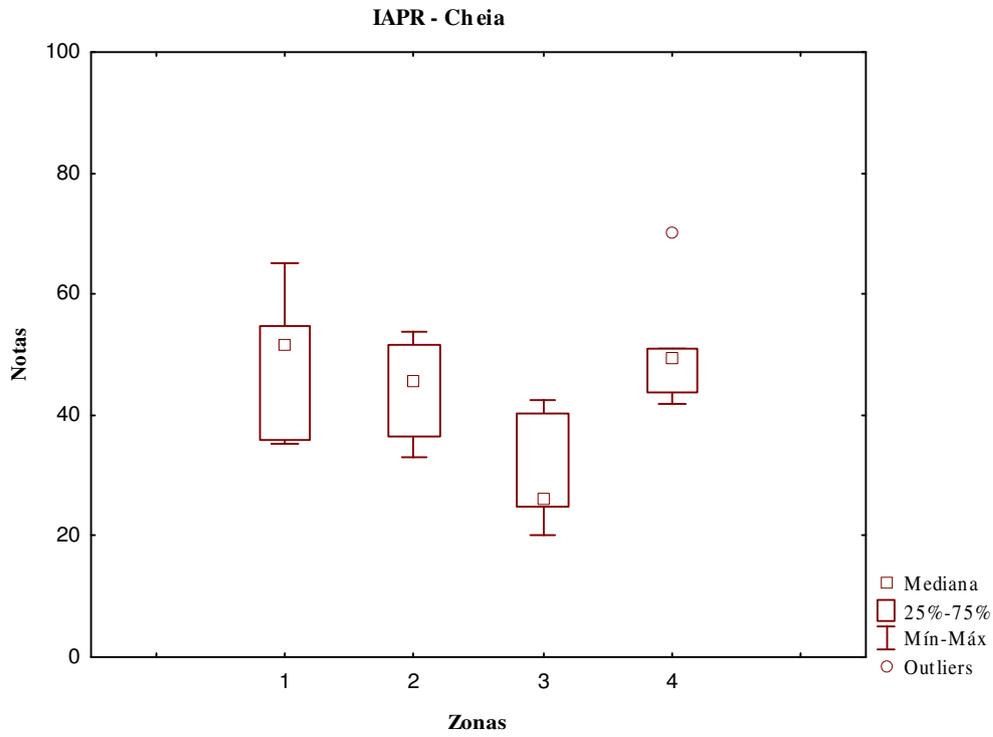


Figura 4: Valores do IAPR contínuo (período de cheia) para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.

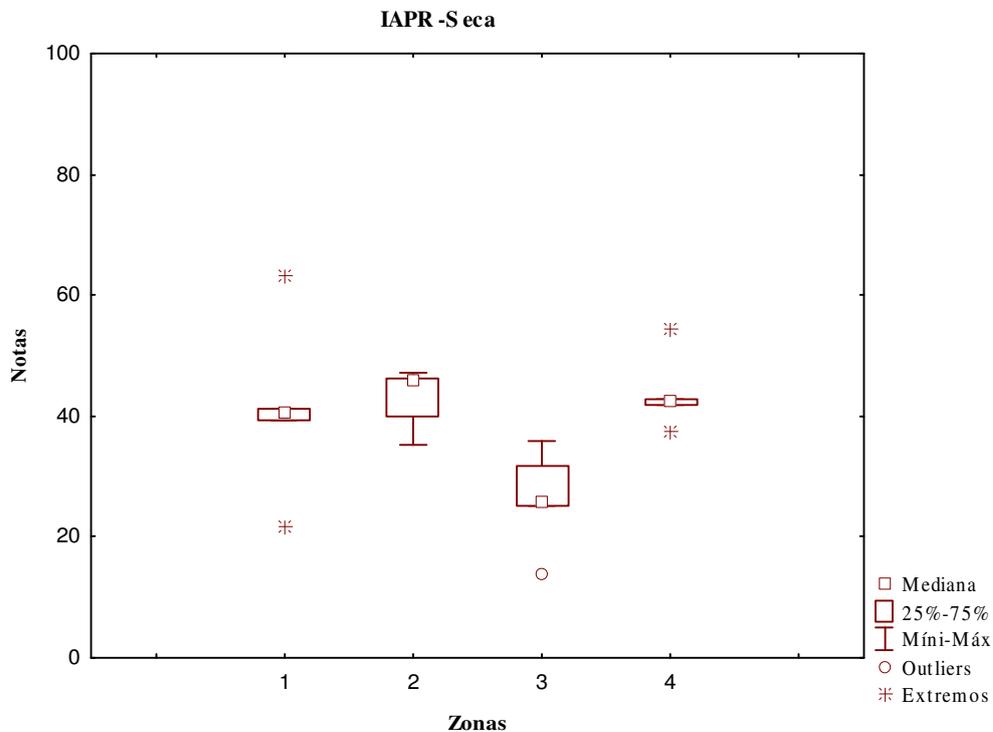


Figura 5: Valores do IAPR contínuo (período de seca) para as quatro zonas do sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil.

4 DISCUSSÃO

Um dos principais problemas encontrados na adaptação de índices bióticos baseados em condição de referência é a disponibilidade de locais íntegros e não alterados que possam servir de comparações para a definição e classificação dos limites de qualidade ambiental. Como tais locais inexitem na maioria dos sistemas, as melhores condições obtidas têm sido utilizadas em substituição à condição de referências (HUGHES & GAMMON, 1987; GANASAN & HUGHES, 1998; BOZZETTI & SCHULTZ, 2004). Conseqüentemente, essa condição de referência indica o degrau de integridade biológica que pode razoavelmente ser esperado dado o contexto das condições. Neste trabalho, utilizou-se esta alternativa, além de ter sido feita a padronização para comparação dos diferentes tipos de sistemas (lótico e lêntico) às métricas selecionadas. Em caso de reservatórios, sistemas criados a partir de uma marcada intervenção antrópica, os indicadores bióticos devem ser avaliados com parcimônia, em face da inexistência de referências assemelhadas a estes sistemas. Jennings et al. (1995) adaptou, pela primeira vez, o IIB atribuindo-lhe a denominação de IAPR, justamente por considerar a natureza artificial dos reservatórios.

A seleção de métricas e os critérios adotados para a pontuação são etapas fundamentais que garantem a objetividade e a sensibilidade dos índices multimétricos como ferramenta de biomonitoramento (MCCORMICK et al., 2001). Nesse estudo foram aplicados métodos quantitativos para a escolha das menos redundantes e mais sensíveis métricas e, assim, prevenir o uso de um conjunto de métricas tendenciosas, altamente correlacionadas, e de sensibilidade limitada. A utilização combinada destes procedimentos provavelmente contribuiu para minimizar a variabilidade das pontuações do IAPR.

A aplicação do IAPR seguiu a diretriz de que os índices desenvolvidos para determinada região tendem a um melhor desempenho em detectar a degradação e são mais sensíveis que aqueles baseados em métricas e pontuações simplesmente copiadas de outro lugar (ANGERMEIER et al., 2000). Conseqüentemente, a abordagem desse trabalho e o índice final foram distintos de outras adaptações do IIB na bacia do rio Paraíba do Sul (ARAÚJO 1998; ARAÚJO et al., 2003). As quatro zonas estudadas foram divididas em dois grupos de acordo com as características físicas dominantes, ambiente de rio (zonas 1 e 4) e ambiente de reservatório (zonas 2 e 3) aos quais as métricas foram propostas e quantificadas separadamente, de forma que as modificações do ambiente fossem representadas. No total, 15 métricas foram selecionadas, resultantes de variações de métricas já adaptadas para rios e reservatórios tropicais, bem como de novas métricas propostas para o presente estudo, sendo nove comuns aos dois grupos, quatro exclusivas das zonas de rio e duas exclusivas das zonas de reservatório, representando as categorias estrutural e funcional definidas por Karr et al., (1986). Uma métrica foi baseada em peixes nativos servindo como medida de diversidade; três métricas baseadas na utilização do hábitat avaliando a disponibilidade e diversidade do mesmo; cinco métricas baseadas em funções tróficas avaliando a dinâmica trófica do sistema; uma métrica baseada em espécies exóticas e ao mesmo tempo no nível trófico, avaliando o estabelecimento de espécies carnívoras introduzidas; quatro métricas baseadas na tolerância, avaliando as condições ambientais de modo geral; e finalmente uma métrica baseada em dominância de espécies.

Embora seja possível testar outras métricas baseadas em diferentes conceitos ecológicos e atributos funcionais, as métricas finais mostraram-se aptas para refletir a ampla variação dos efeitos humanos na estrutura da assembléia de peixes do sistema estudado. Especificamente, o número de espécies nativas foi uma adaptação do número

total de espécies proposto por Karr (1981), sugerida por Ganasan & Hughes (1998) para tirar a influência de espécies introduzidas que tendem a estabelecer-se em ambientes degradados, em detrimento da diminuição do número de espécies nativas (LYON et al. 1995). O número de espécies Characiformes e número de espécies Siluriformes foram propostos por Araújo (1998) e utilizadas neste e em outros trabalhos (ARAÚJO et al., 2003; PINTO et al., 2006; PETESSE et al., 2007) como indicadores de degradação do habitat. Os Characiformes são peixes de coluna d'água que buscam seu alimento visualmente, sendo capazes de grandes e pequenos deslocamentos, principalmente associados a disponibilidade de abrigos das margens, como galhos, tocas e macrófitas, sendo sensíveis ao aumento da turbidez, às barragens do curso d'água e à redução da vegetação ripariana. Os Siluriformes são bentônicos associados a abrigos rochosos e altamente especialistas, sendo sensíveis à erosão e homogeneização do substrato. A métrica, proporção de indivíduos Siluriformes foi uma modificação baseada na métrica que considera o número de espécies da ordem, em que a riqueza foi substituída pela proporção de indivíduos. Assim, dois locais que apresentam a mesma riqueza para uma determinada ordem podem apresentar abundâncias relativas diferentes, refletindo o declínio de espécies que, apesar de presentes, possuem poucos indivíduos. Nas zonas lânticas, a métrica número de espécies Siluriformes não foi utilizada por apresentar pouca variabilidade, entretanto esse grupo foi representando pela métrica proporção de indivíduos Siluriformes.

A proporção de indivíduos onívoros aumenta com a degradação ambiental em função da simplificação da base alimentar e da escassez de recursos gerada pela redução das fontes de alimento (vegetação ripariana, macrófitas). Esta métrica, proposta por KARR (1981) e também utilizada nas adaptações do IIB para o rio Paraíba do Sul, compôs o IAPR para todas as zonas do sistema rio Paraíba do Sul-reservatório da UHE do Funil. As métricas: proporção de indivíduos invertívoros, proposta por Araújo (1998), e proporção de indivíduos detritívoros, ao contrário da anterior, são indicadores de ambientes estruturados, com diversidade de alimento disponível para espécies especialistas. Essas condições comumente desaparecem em ambiente represado devido às grandes profundidades e condições anóxicas do reservatório (CASSEMIRO et al., 2005). Para avaliar a capacidade da cadeia alimentar em sustentar predadores, as métricas número de espécies carnívoras (BOZZETTI & SCHULZ, 2004) e a proporção de indivíduos carnívoros (ARAÚJO, 1998) foram substituídas pelo número e proporção de espécies carnívoras nativas para eliminar o efeito das espécies carnívoras introduzidas na região do reservatório da UHE do Funil (por exemplo, *Cichla monoculus* e *Plagioscion squamosissimus*) que são encontradas em grande número com atividade predatória de efeito negativos sobre as demais espécies. Aliado a isso, foi utilizado uma métrica baseada em espécies introduzidas e hábito alimentar carnívoro ao mesmo tempo: proporção de indivíduos carnívoros exóticos, com intuito de avaliar a dominância de predadores oportunistas adaptados as condições de redução do fluxo d'água.

A métrica número de espécies intolerantes foi proposta por Karr et al. (1986), e representa as espécies que desaparecem ou reduzem significativamente com o aumento da degradação, demorando a reaparecer com a recuperação do ambiente. Neste trabalho, foram utilizadas, além desta métrica, o número de espécies tolerantes, proporção de indivíduos tolerantes e proporção de indivíduos intolerantes. O número de espécies que compõem 90% foi proposto por Araújo et al. (2003) como medida de dominância, baseado no princípio de que comunidades dominadas por um pequeno grupo de espécies apresentam baixa equitabilidade.

Um aspecto importante para avaliação da qualidade ambiental a partir de técnicas de biomonitoramento é a determinação da época de amostragem. Nesta adaptação, a padronização das notas do IAPR foi feita com amostras de diferentes meses, com o intuito de investigar a existência de variações temporais de curto prazo na qualidade ambiental que afetassem os resultados do índice. De fato, foi observada mudança de classe ambiental em meses subseqüentes, nas zonas de rio, o que poderia levar um mesmo ambiente a ser enquadrado em classes diferentes na mesma época do ano. No entanto, essa variação é normalmente esperada em pontuação de índices multimétricos bióticos com muitas amostras (PYRON et al., 2008), estando relacionada com diversos fatores como as alterações na qualidade da água, alterações no habitat entre datas de amostragem, variação do fluxo da água entre datas de amostragem, movimentos sazonais de indivíduos e variação aleatória (KARR et al., 1987). Quando as notas mensais para cada zona foram agrupadas em períodos (seca e cheia), não foi observada diferença significativa, embora o período de cheia tenha apresentado maiores pontuações em relação à seca, para todas as zonas. Isso sugere que a escolha de uma única época de amostragem (na cheia ou na seca) é o suficiente para a utilização do índice. Essa idéia também foi defendida para o trecho Médio Inferior do rio Paraíba do Sul por PINTO & ARAÚJO (2007), que sugerem o período de seca para a aplicação do IIB por maior eficiência do esforço amostral. Além disso, em rios, o período de seca é indicado para avaliar a qualidade ambiental, porque a conectividade com o habitat adjacente e o nível da água estão reduzidos e os fatores bióticos tendem a dominar a estrutura da assembléia de peixes em relação aos fatores abióticos dominantes no período de cheia (ODE et al., 2005). Em reservatórios, essa época também é marcada por níveis de água mais baixos, com menor capacidade de diluição dos poluentes e a disponibilidade de habitat, o que sugere maior sensibilidade do IAPR também nesse período.

O padrão espacial encontrado foi consistente com o observado ao longo do eixo longitudinal rio – reservatório, tendo sido observado um decréscimo da qualidade ambiental da zona 1 (rio a montante da barragem) em direção a zona 3 (parte baixa de reservatório), com discreta melhoria na zona 4 (a jusante do reservatório).

O IAPR produziu resultados consistentes que distinguiu diferentes níveis de integridade biótica no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório do Funil. Apesar da atribuição das classes do IAPR serem arbitrárias, nesta adaptação as zonas foram classificadas, de modo geral, como “impactadas”, confirmando a degradação sofrida pelo sistema e que tem sido reportada em outras avaliações utilizando outros métodos, principalmente baseados na qualidade físico-química da água (BRANCO et al., 2002; SOARES et al., 2008; INEA, 2009). Embora, confirmações independentes das classes de qualidade ambiental sejam necessárias, os resultados do IAPR para esse sistema pareceram razoáveis, com notas mais altas nas zonas de rio, que apesar da notória carga de poluentes, ainda mantém, mesmo que sazonalmente, disponibilidade de alimento e abrigos refletidos no índice, e notas mais baixas nas zonas lênticas fortemente “impactadas” no ambiente represado.

Este estudo mostrou que é possível desenvolver um índice baseado em peixes para o sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil, sensível ao gradiente de impacto ambiental, com resultados consistentes no espaço e no tempo. Os resultados sugerem que a adaptação do IAPR pode ser eficaz na avaliação de aspectos importantes da integridade biótica em reservatórios e suas áreas de influência, apesar das dificuldades geradas pela variação espacial e temporal, os limites impostos pela amostragem e lacunas no conhecimento de processos ecológicos para os rios da região tropical. Entretanto, características da abordagem precisam ser avaliadas criticamente

para a sua confiabilidade, de modo que o índice possa ser usado para identificar necessidades de recuperação e acompanhar as tendências da integridade biótica do sistema, servindo como uma ferramenta técnica prática de biomonitoramento em rios e reservatórios.

5 CONCLUSÕES

1. O IAPR mostrou-se sensível ao gradiente de impacto ambiental, no sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil com resultados consistentes no espaço e no tempo.
2. Todo o sistema rio Paraíba do Sul - reservatório da UHE do Funil encontra-se impactado, com a zona baixa do reservatório (zona 3) apresentando maior grau de degradação.
3. Para a aplicação do IAPR, um único período de amostragem é necessário, sendo o período de seca o mais apropriado por apresentar níveis de água mais baixos, com menor capacidade de diluição dos poluentes e disponibilidade de habitat, o que sugere maior sensibilidade do IAPR.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGERMEIER, P.L.; DAVIDEANU, G. Using fish communities at assess streams in Romania: initial development of an index of biotic integrity. **Hydrobiologia**, V.511, p. 65-78, 2004.

ANGERMEIER, P.L.; SMOGOR, R.A.; STAUFFER, J.R. Regional frameworks and candidate metrics for assessing biotic integrity in mid-atlantic highland streams. **Transactions of the American Fisheries Society**, V.129, p.962–981, 2000.

ARAÚJO, F.G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Biologia**, V.58, n.4, p.547-558, 1998.

ARAÚJO, F.G.; FICHBERG, I.; PINTO, B.C.T.; PEIXOTO, M.G. Preliminary index of Biotic Integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast, Brazil. **Environmental Management**, V.32, n.4, p.16-526, 2003.

ARAÚJO, F.G.; PINTO, B.C.T.; TEIXEIRA, T.P. Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in southeastern Brazil: evaluating environmental influences and some concepts in river ecology. **Hydrobiologia**, V.618, p.89-107, 2009.

BELPAIRE, C.; SMOLDERS, R.; VANDEN, I.; AUWEELE, D; ERCKEN, J.; BREINE, G; VAN THUYNE; OLLEVIER, F. An Index of Biotic Integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian waterbodies. **Hydrobiologia**, V.434, p.17–33, 2000.

BLOCKSOM, K.A. A performance comparison of metric scoring methods for a multimetric index for Mid-Atlantic highlands streams. **Environmental Management**, V.31, n.5, p.670–682, 2003.

BOZZETTI, M.; SCHULZ, U.H. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. **Hydrobiologia**, V.529, p.133-144, 2004.

BRANCO, W.C.C., ROCHA, M.I.A.; PINTO, F.S.P.; GÔMARA, G.A.; DE FILIPPO, R. Limnological features of Funil Reservoir (R.J., Brazil) and indicator properties of rotifers and cladocerans of zooplankton community. **Lakes & Reservoir and Management**, V.7, p.87-92, 2002.

BUCKUP, P.A.; MENEZES, N.A.; GHAZZI, M.S., (Eds).. Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil. Rio de Janeiro: Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007, p.11-16.

CASSEMIRO, F.A.S.; HAHN, N.S.; DELARIVA, R.L. Estrutura trófica da ictiofauna, ao longo do gradiente longitudinal do reservatório de Salto Caxias (rio Iguaçu, Paraná, Brasil), no terceiro ano após o represamento. **Maringá**. V.27, n.1, p. 3-71, 2005.

DRAKE, M.T.; PEREIRA, D.L. Development of a fish-based index of biotic integrity for small inland lakes in central Minnesota. **North American Journal of Fisheries Management**, V22, p.1105–1123, 2003

FAUSCH, K.D.; LYONS, J.; KARR, J.R.; ANGERMEIER, P.L. Fish communities as indicators of environmental degradation. **American Fisheries Society Symposium**, V.8, p.123–144, 1990.

FERREIRA, C.P.; CASATTI, L. Integridade biótica de um córrego na bacia do Alto Rio Paraná avaliada por meio da comunidade de peixes. **Biota Neotropica** (Ed. Portuguesa), V.6, p.1-25, 2006.

FROESE, R.; PAULY, D. Editors. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2008). 2008.

GANASAN, V.; HUGHES, R.M. Application of an index of biological integrity to fish assemblages of the river Khan and Ksipre, India. **Freshwater Biology**, V.40, p.367-383, 1998.

GORMAN, O.T.; KARR, J.R. Habitat structure and stream fish communities. **Ecology** V.59, p.507-515, 1978.

HERING, D.; FELD, C.K.; MOOG, O.; OFENBÖCK, T. Cook book for the development of a multimetric index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. **Hydrobiologia**, V.566, p.311-342, 2006.

HUED, A.C.; BISTONI, M.A. Development and validation of a biotic index for evaluation of environmental quality in the central region of Argentina. **Hydrobiologia**, V.543, p.279–298, 2005.

HUGHES, R.M.; GAMMON, J.R. Longitudinal changes in fish assemblages and water quality in the Willamette River, Oregon. **Transactions of the American Fisheries Society**, V.116, p.96–209, 1987.

HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; HERLIHY, A.T.; KINCAID, T.M.; REYNOLDS, L.; LARSEN, D.P. A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, V.55, p.1618–1631, 1998.

INEA. **Reservatórios**. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br/reservatorios.asp?cat=75>>. Acesso em 25 jan. 2009.

JAMESON, S.C; ERDMANN, M.V.; KARR, J.R.; POTTS, K.W. Charting a course toward diagnostic monitoring: A continuing review of coral reef attributes and a research strategy for creating coral reef indexes of biotic integrity. **Bulletin of Marine Science**, V.69, n.2, p.701–744, 2001.

JENNINGS, M.J.; FORE, L.S.; KARR, J.R. Biological monitoring of fish assemblages in Tennessee Valley reservoirs. **Regulated rivers: Research and Management**, V.11, p.263-274, 1995.

KARR, J.R.; DUDLEY, D.R. Ecological perspective on water quality goals. **Environmental Management**, V.11, p.249 –256, 1981.

Karr, J.R. Assessment of biotic integrity using fish communities. **Fisheries**, V.6, p.21–27, 1981.

KARR, J.R.; FAUSCH, K.D.; ANGERMEIER, P.L.; YANT, P.R.; SCHLOSSER, I. J. Assessing Biological Integrity in Running Waters: A Method and its Rationale. Special Publication No. 5. Champaign: Illinois Natural History Survey, 1986.

KARR, J.R.; YANT, P.R.; FAUSCH, K.D.; SCHLOSSER, I.J. Spatial and temporal variability of the index of biotic integrity in three midwest streams. **Transactions of the American Fisheries Society**, V.116, p.1-11, 1987.

KLEMM, D.J.; BLOCKSOM, K.A.; FULK, F.A.; HERLIHY, A.T.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R; PECK, D.V.; STODDARD, J.L.; THOENY, W.T.; GRIFFITH, M.B.; DAVIS, W.S. Development and evaluation of a Macroinvertebrate Biotic Integrity Index (MBII) for regionally assessing Mid-Atlantic highlands streams. **Environmental Management**, V.31, n.5, p.656-669, 2003.

LYONS, J.; NAVARRO-PEREZ, S.; COCHRAN, P.A.; SANTANA, E.C.; GUZMAN-ARROYO, M. Index of Biotic Integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in West-Central Mexico. **Conservation Biology**, V.9, p.569–584, 1995.

LYONS, J.; GUTIERREZ-HERNANDEZ, A.; DIAZ-PARDO, E.; SOTO-GALERA, E.; MEDINA-NAVA, M.; PINEDALLOPEZ, R. Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central Mexico. **Hydrobiologia**, V.418, p.57-72, 2000.

MAGALHÃES, M.F.; RAMALHO, C.E.; COLLARES-PEREIR, M.J. Assessing biotic integrity in a Mediterranean watershed: development and evaluation of a fish-based index. **Fisheries Management and Ecology**, V.15, p.273–289, 2008.

MCCORMICK, F.H.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; PECK, D.V.; STODDARD, J.L.; HERLIHY, A.T. Development of an index of biotic integrity for the mid-Atlantic highlands region. **Transactions of the American Fisheries Society**, V.130, p.857–877, 2001.

McDONOUGH, T.A.; HICKMAN, G.D. Reservoir Fish Assemblage Index development: a tool for assessing ecological health in Tennessee Valley Authority impoundments. In: SIMON, T.P. (Ed.). *Assessing the sustainability and Biological Integrity of water resources using fish communities*. Boca Raton: CRC, 1999. p. 523-540. 1999.

ODE, P.R.; REHIN, A.C.; MAY, J.T. A quantitative tool for assessing the integrity of southern coastal California streams. **Environmental Management**, V.35, p.493–504, 2005.

OLIVEIRA, R.B.S.; CASTRO, C.M.; Baptista, D.F. Baptista Desenvolvimento de Índices Multimétricos para Utilização em Programas de Monitoramento Biológico da Integridade de Ecossistemas Aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, V.12, n.3, p.487-505, 2008.

PETESSE, M.L.; PETRERE, J.M.; SPIGOLON, R J. Adaptation of the Reservoir Fish Assemblage index (RFAI) for assessing the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). **Rivers Research and Applications**, V.23, p.595-612, 2007.

PINTO, B.C.T.; ARAÚJO, F.G. Assessing of Biotic Integrity of the Fish Community in a Heavily Impacted Segment of a Tropical River in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, V.50, n.3, p.489-502, 2007.

PINTO, B.C.T.; ARAÚJO, R.M. HUGHES, F.G. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil river. **Hydrobiologia**, V.556, p.69-83, 2006.

PUENTE, A.; JUANES, J.A.; GARCIA, A.; ALVAREZ, C.; REVILLA, J.A.; CARRANZA, I. Ecological assessment of soft bottom benthic communities in northern Spanish estuaries. **Ecological Indicators**, V.8, p.373-388, 2008.

PYRON, M.; LAUER, T.E.; LEBLANC, D.; WEITZEL, D.; GAMMON, J. R. Temporal and spatial variation in an index of biological integrity for the middle Wabash River, Indiana. **Hydrobiologia**, V.600, p.205–214, 2008.

REIS, R.E.; KULLANDER, S.O.; & FERRARIS JR, C.J. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. 1.ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2003. 729 p.

SOARES, M.C.S.; MARINHO, M.M.; HUSZAR, V.L.M.; BRANCO, C.W.C.; AZEVEDO, S.M.F.O. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, V.13, p.257–269, 2008.

TEJERINA-GARRO, F. L.; MÉRONA, B.; OBERDORFF, T.; HUGUENY, B. A fish-based index of large river quality for French Guiana (South America): method and preliminary results. **Aquatic Living Resources**, França, V.19, p.31-46, 2006.

WHITTIER, T.R.; HUGHES, R.M.; STODDARD, J.L.; LOMNICKY, G.A.; PECK, D.V. & HERLIHY, A.T. A structured approach for developing indices of biotic integrity: Three examples from streams and rivers in the western USA. **Transactions of the American Fisheries Society**, V.136, p.718-735, 2007.

ZHU, D.; CHANG, J. Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI). **Ecological Indicators**, V.8, p.564-572, 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das principais preocupações vigentes é a demanda de energia para atender as crescentes necessidades humanas. O atendimento a esta demanda, por outro lado, resulta em alterações ambientais em face dos empreendimentos que são construídos nos sistemas naturais. No Brasil, o barramento de rios para produção de energia hidrelétrica se tornou mais acentuada a partir a década de 70, com o propósito de atender a demanda industrial e urbana em constante crescimento.

Os rios, especialmente os da região Sudeste, foram represados e alguns transformados em “escadas” de reservatórios, com prejuízos enormes para a fauna aquática. Especialmente a ictiofauna, que devido aos barramentos perdeu áreas de reprodução nas cabeceiras e partes altas destes rios; áreas de criação nas lagoas marginais formadas pelos pulsos de inundação; e áreas de criação, nas partes baixas dos rios, já que não consegue retornar aos locais onde originalmente se alimentava.

Os reservatórios que emergiam no novo cenário, formavam novos nichos não ocupados e com condições ambientais variáveis, de difícil adaptação para a fauna nativa e, ao mesmo tempo, um convite para ocupação por outras espécies mais tolerantes. Neste contexto, as espécies introduzidas se tornaram um fator adicional de estresse para as populações nativas que conseguiram se adaptar e explorar, pelo menos parcialmente, estes novos sistemas lênticos.

Esta realidade, no entanto, precisa ser conhecida em seus mais intrínsecos processos de mudanças, de adaptações, de variações na estrutura e composição das espécies, que se modificam e têm capacidade de também modificar o ambiente. Para isto são necessárias as investigações científicas baseadas no monitoramento, a fim de se construir uma base de informações capazes de direcionar as ações de manejo desses ambientes transformados.

O presente estudo se insere nessa nova perspectiva, enfocando a problemática do barramento no rio Paraíba do Sul. O reservatório da UHE do Funil é dos maiores e mais importantes barramentos desse rio, tendo sido construído, prioritariamente, para a produção de energia elétrica e, secundariamente, para regularização da vazão, no intuito de controlar periódicas inundações dos municípios localizados em suas margens, além de outros usos decorrentes do novo sistema. O sistema rio Paraíba do Sul – reservatório da UHE do Funil corresponde a um exemplo da “nova configuração de nossos rios” que precisam ser entendidos e necessitam de atividades de manejo visando à mitigação das alterações.

O modelo do projeto visou “compartimentar” o “novo” sistema de acordo com sua nova configuração: 1) um trecho de rio anterior ao reservatório; 2) uma parte alta do reservatório, onde os processos de transição entre o sistema lótico e o sistema lêntico são mais evidenciados, funcionando como um “ecótono”, com a diminuição do fluxo facilitando os processos de sedimentação dos poluentes e nutrientes que o rio recebe do trecho a montante; 3) uma parte baixa do reservatório, onde os processos lênticos finalmente são bem definidos pelo tempo de residência da água, pelo aumento da transparência e pela fauna adaptada a este tipo de ambiente; e 4) pelo “novo” trecho do rio que emerge a jusante do barramento, com outro tipo de qualidade de água, com as cabeceiras naturais dando lugar a uma barreira artificial intransponível pelos peixes, e ainda, com os efeitos artificiais da ausência dos pulsos naturais de inundação e de rotineiras alterações decorrentes da manutenção da usina hidrelétrica.

O primeiro Capítulo objetivou o entendimento da composição e estrutura da assembléia de peixes nestes trechos e suas variações espaciais e temporais. Encontrou-se uma ictiofauna bastante influenciada pelo processo de barramento, mudando

longitudinalmente em composição e estrutura ao longo do sistema e com os esperados estresses das espécies introduzidas na zona da barragem. A zona de transição, por sua riqueza de energia, suporta uma fauna mais rica, onde se sobrepõem espécies adaptadas ao ambiente lêntico e ao ambiente lótico, graças à complexidade do habitat.

O segundo Capítulo objetivou descrever as relações espécies-variáveis físico-químicas, que resultou em pequena predição direta das espécies por estas variáveis. Outras variáveis não medidas (habitat e interações bióticas complexas) parecem melhor ditar a composição e estrutura da assembléia de peixes, especialmente considerando que o ambiente é recente e de “transição”.

O terceiro Capítulo visou adaptar e encontrar uma ferramenta útil para monitoramento do novo sistema que pudesse ser de fácil compreensão e de fácil uso pelos gerentes ambientais, para enfim, implantar políticas de mitigação e melhoria do sistema. O “Índice de Integridade Biótica”, renomeado para maior precisão como “Índice de Assembléias de Peixes para Reservatórios - IAPR”, com possibilidade de uso tanto nos trechos lóticos adjacentes ao reservatório, como no próprio reservatório, mostrou-se uma ferramenta com sensibilidade às alterações ambientais. Através IAPR observou-se um decréscimo de qualidade ao longo do trecho longitudinal, atingindo a mais baixa qualidade na zona baixa do reservatório, seguida de uma pequena melhoria a jusante da barragem. Mesmo sem uma validação direta por outro parâmetro independente, o IAPR refletiu o que outros trabalhos, realizados a um custo e período de tempo bem maiores, têm indicado: o sistema é “impactado”, com variações espaciais marcadas em relação às variações sazonais, uma vez que pequenas melhorias ocorrem sazonalmente. Também se sugeriu neste trabalho que o período de seca é a época mais adequada para aplicação do IAPR, visando sua aplicação sistemática e em longo prazo.

Os três Capítulos consistiram em passos necessários, nesta ordem: entendimento da ictiofauna, de suas relações com o ambiente, e finalmente a busca de uma ferramenta de monitoramento. Muitos estudos ainda serão necessários para o aprofundamento do conhecimento neste caso particular. Este passo inicial tem, naturalmente, todos os problemas das iniciativas, e com o acúmulo das experiências decorrentes do mesmo, formam-se patamares para novos estudos, não só nesta área, como em outros sistemas assemelhados, visando obter o objetivo final comum, que é compensar, mesmo que parcialmente, estes sistemas, especialmente sua ictiofauna, dos enormes danos causadas pela atividade humana.