



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Rodrigo Nascimento e Silva

Diversidade espacial e temporal da ictiofauna do alto rio Uruguai:
aliando técnicas de geoprocessamento

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Ecologia da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Ecologia.
Orientador: Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nascimento e Silva, Rodrigo

Diversidade espacial e temporal da ictiofauna do alto
rio Uruguai : aliando técnicas de geoprocessamento /
Rodrigo Nascimento e Silva ; orientador, Alex Pires de
Oliveira Nuñez - Florianópolis, SC, 2014.
50 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-
Graduação em Ecologia.

Inclui referências

1. Ecologia. 2. Ecologia da paisagem. 3. Região
Neotropical. 4. SIG. I. Pires de Oliveira Nuñez, Alex. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Ecologia. III. Título.

“Diversidade Espacial e Temporal da Ictiofauna do Alto Rio Uruguai: Aliando Técnicas de Geoprocessamento”.

por

Rodrigo Nascimento e Silva

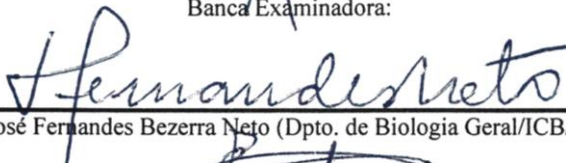
Dissertação julgada e aprovada em sua forma final pelos membros titulares da Banca Examinadora (Port. 10/PPGECO/2014) do Programa de Pós-Graduação em Ecologia - UFSC, composta pelos doutores:

Orientador:



Dr(a) Alex Pires de Oliveira Nuñez (AQI/CCA/UFSC)

Banca Examinadora:



Dr(a) José Fernandes Bezerra Neto (Dpto. de Biologia Geral/ICB/UFMG)



Dr(a) Evoy Zaniboni Filho (AQI/CCA/UFSC)



Dr(a) Mauricio Mello Petrucio (ECZ/CCB/UFSC)

Coordenação:



Prof. Dra. Natalia Hanazaki
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Florianópolis, 28 de março de 2014.

Dedico este trabalho
para minha mãe, Anna (*in memoriam*)
exemplo de amor, sabedoria e força
que tanto me inspira.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento maior é a Deus, o responsável total por minha vida, por me guiar cada dia e por fortalecer cada vez mais a minha fé diante da dificuldade.

A toda a minha família em especial aos meus irmãos: Denise, Carlos, Junior e Dayse.

Agradeço ao Prof. Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez por mais essa oportunidade, pela confiança, amizade e na orientação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimento especial ao Prof. Evoy Zaniboni Filho por me apresentar o LAPAD e por me incentivar durante toda esta caminhada.

A todos do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD), o Luciano, David, Maurício, Ronaldo, Pedrão, Renata, Claudinha, Samara, Prof^{ta}. Anita, Prof^{ta}. Débora, Sônia, Dariane, entre muitos outros; pelo convívio nesses quatro anos juntos que estive por lá, além de toda a infraestrutura fornecida.

Aos professores integrantes da pré-banca e banca examinadora pelas correções e sugestões que com certeza enriquecerão este trabalho.

A todos os Professores, colegas e funcionários da POSECO. Aos meus colegas agradeço pelo convívio nesses dois anos de trocas de experiências e ensinamentos. Em especial ao Takumã Machado, Juliano Bogoni, Renato Moraes e Renan Rezende.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

“Viver é seguir o caminho da evolução infinita”

RESUMO

A bacia do Alto rio Uruguai caracteriza-se por ser um dos mais importantes corredores da biodiversidade do Cone Sul, porém, devido à sua acentuada inclinação, foram instaladas usinas hidrelétricas na calha principal do rio Uruguai, o que alterou o hábitat, a diversidade e a estrutura das espécies de peixes desse ambiente. Tendo por objetivo analisar a diversidade de peixes na região do Alto rio Uruguai em uma série temporal de longa duração, entre os anos de 1995 e 2012, este estudo foi desenvolvido, englobando dados obtidos antes e depois da criação dos reservatórios. Como resultado deste trabalho foi registrada uma riqueza total composta por 105 espécies de peixes, sendo capturados 195.185 exemplares pertencentes a 07 ordens e 22 famílias, resultado de 939 dias de campanhas de campo. A riqueza total destas espécies esteve distribuída ao longo de um gradiente no sentido montante-jusante nos diferentes ambientes do rio, apresentou alteração ao longo dos anos e no espaço. Com base nos dados de riqueza de espécies, nas curvas de rarefação e no estimador de riqueza Chao 2, no ano de 1996 foi registrada a maior diversidade, antes da construção do reservatório da usina hidrelétrica de Itá. A abundância relativa desta riqueza de espécies, apresentada por meio do diagrama de Whittaker, apresentou mudanças na estrutura da comunidade. A dissimilaridade de Bray-Curtis também mostrou diferenças na estrutura dessa riqueza antes e depois da formação dos reservatórios, através da análise de agrupamento, sendo que a riqueza de espécies de peixes diminuiu ao longo dos anos nos reservatórios estudados. O geoprocessamento foi aplicado ao banco de dados dos atributos espaciais e na base cartográfica da área, no intuito de incorporar os dados de riqueza e diversidade calculados, mostrando por meio de mapas a sua variação.

Palavras-Chave: ecologia da paisagem, região Neotropical, SIG.

ABSTRACT

The Upper Uruguay River basin of the is as one of the most important biodiversity corridors of the Southern Cone, however, due to its steep slope, hydroelectric plants were installed in the main channel of the Uruguay River, which altered the habitat, diversity and the structure of fish species. In order to analyze the diversity of fish in the Upper Uruguay River region in a long-term temporal scale, between the years 1995-2012, this study was developed encompassing data obtained before and after the installation of that hydroelectric plants. As a result of this work 195,185 fish, belonging to 07 orders and 22 families were captured, in a total richness of 105 species, resulting from 939 days of field sampling campaigns. The overall richness of these species was distributed in a gradient in the upstream-downstream direction in the different environments of river, and changed over the years and in space. Based on data of species richness, in the rarefaction curves and in the richness estimator Chao 2, 1996 was the year with highest diversity, before the construction of the reservoir in Itá Hydropower Plant. The relative abundance of this richness, expressed in the Whittaker diagram, showed changes in community structure. The Bray-Curtis dissimilarity also showed differences in the structure of this richness before and after the formation of the reservoirs, through cluster analysis and the richness of fish species declined over the years in the reservoirs studied. The GIS was applied to the spatial attributes of the database and the cartographic base of the studied area, in order to incorporate the data richness and diversity calculated, showing by maps their variation.

Keywords: landscape ecology, Neotropical region, GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização dos pontos de amostragem na área de influências das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho.....	26
Figura 2. Base altimétrica da área de abrangência dos reservatórios das usinas hidrelétricas Machadinho e Itá.	31
Figura 3. Riqueza de espécies ao longo dos anos na área de abrangência das usinas hidrelétricas de Itá (a) e de Machadinho (b), localizadas no alto rio Uruguai.	33
Figura 4. Curva de rarefação da riqueza (S) de espécies de peixes nas usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho com intervalo de confiança (linha pontilhada) de 95%.	34
Figura 5. Riqueza acumulada observada e estimada de espécies (Chao 2) na área de influência das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho.	34
Figura 6. Curva de rarefação da riqueza (S) anual de espécies de peixes nas usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho com intervalo de confiança de 95%.....	35
Figura 7. Abundância relativa de espécies de peixes na área de influência da usina hidrelétrica de Itá. a) antes da formação do reservatório. b) depois da formação do reservatório.	36
Figura 8. Abundância relativa de espécies de peixes na área de influência da usina hidrelétrica de Machadinho. a) antes da formação do reservatório. b) depois da formação do reservatório.	37
Figura 9. Grupos formados a partir da dissimilaridade de Bray-Curtis e da análise de agrupamento. Grupos similares pela análise SIMPROF estão em destaque.....	39
Figura 10. Mapa da dinâmica vegetacional na área de influência das usinas hidrelétricas de Machadinho e de Itá.....	41
Figura 11. Mapa da diversidade espacial e temporal da ictiofauna na área de influências das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho.	42
Figura 12. Áreas prioritárias para a conservação da diversidade de peixes na área de influências das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho, localizadas no rio Uruguai. 23

Tabela 2. Número de dias de coleta, abundância total e riqueza total de espécies na área de abrangência das usinas hidrelétricas de Machadinho e de Itá no período de 1995 a 2012. 30

Sumário

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
INTRODUÇÃO	15
OBJETIVO GERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
Capítulo Único: Diversidade espacial e temporal da ictiofauna do alto Rio Uruguai: aliando técnicas de geoprocessamento	21
Resumo	21
Abstract	22
Introdução	23
Material e Métodos	25
Resultados e Discussão	30
Referências Bibliográficas	44
Anexo	48

INTRODUÇÃO

A acelerada perda de diversidade biológica na Terra, relacionada principalmente aos impactos antropogênicos, torna cada vez mais necessários os métodos para a sua medição e a quantificação (Magurran 2004).

O termo diversidade biológica foi introduzido primeiramente para a comunidade científica em 1980, pelo ambientalista americano Dr. Thomas Lovejoy. Entretanto, a Convenção da Diversidade Biológica/Rio-92, foi o marco conceitual da diversidade biológica ou biodiversidade.

Porém ainda existe um registro muito incompleto da diversidade biológica do planeta. Mamíferos e aves são razoavelmente bem documentados, enquanto plantas, anfíbios, répteis e peixes são menos. No entanto, não há dúvida de que a diversidade biológica está ameaçada como resultado das ações antropogênicas. Sendo assim, quantificar mudanças na estrutura das comunidades vegetais e animais é um desafio importante para ecologia no século XXI (Walther et al., 2002), que deve considerar não apenas a abordagem local, como também a espacial.

A temática espacial é muito antiga, sendo que Birge (1895), em estudo sobre a distribuição espacial e temporal de cladóceros, já a abordava. Alexander Von Humboldt, no início do século XIX, apresentou a questão espacial como a “característica total de uma região terrestre”. Porém o conceito mais completo veio da ecologia de paisagem, na qual Carl Troll (1939) avaliou as inter-relações do homem com o seu espaço e com as aplicações práticas na solução de problemas ambientais, enfocando questões em macro-escala, tanto espaciais quanto temporais.

Para analisar a questão espacial muitos trabalhos têm utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ou Geoprocessamento. O SIG é hoje uma ferramenta amplamente conhecida e aceita para apoiar a gestão do espaço geográfico, sendo um importante instrumento de respostas a diversos tipos de questões, e um excelente suporte ao apoio das tomadas de decisões. Consiste em um sistema computacional com o princípio fundamental à indexação geográfica de informações, que integra informações espaciais e não espaciais de origens diversas em uma única base de dados, o que permite a produção de novas informações, visualizadas na forma cartográfica (Câmara, 1993). No SIG a informação é dividida em dois conjuntos, sendo que em um deles a informação espacial é referenciada a um sistema de coordenadas, com

localização e delimitação das zonas de interesses, enquanto o outro consiste na composição de atributos não espaciais e reúne dados descritivos, organizados e tabulados em um banco de dados (Burrough, 1992). A espacialização das informações relacionadas aos recursos hídricos também tem sido muito utilizada.

Os recursos hídricos e a diversidade biológica a eles associada são utilizados no mundo todo com diferentes objetivos, que vão desde a geração de energia, abastecimento doméstico, irrigação, navegação e aquicultura até a harmonia paisagística. Estes recursos têm sofrido impacto das atividades antrópicas, o que tem afetado de forma significativa os ecossistemas aquáticos, exercendo uma profunda influência sobre as populações de peixes de água doce (Cairns et al., 1993).

O Brasil se destaca nem nível mundial pela disponibilidade de seus recursos hídricos, que permitem que 76% da necessidade energética sejam atendidas com geração hidráulica, sendo esta a base do atual suprimento energético do país (Ministério de Minas e Energia, 2014).

A condição da hidrografia brasileira, associada ao processo de desenvolvimento, ganhou importância durante o período de industrialização mais intensamente implementado a partir dos anos 50 e 60, que fez com que a demanda por energia aumentasse, priorizando a produção energética através da construção de usinas hidrelétricas nos rios brasileiros. Os primeiros aproveitamentos hidráulicos foram instalados nos estados de Minas Gerais e São Paulo, ao final do século XIX. Em seguida algumas tentativas foram realizadas no sentido de investir na geração de energia hidrelétrica e, já na primeira década do século XX, esse tipo de energia superou a produção das usinas termelétricas (Branco, 2005).

Apesar de importante para o desenvolvimento econômico (Agostinho et al., 2008) a construção de uma barragem implica no imediato aumento do tempo de residência da água do antigo ecossistema lótico. Essa transformação inicial é a principal responsável por uma série de alterações nas características limnológicas observadas nas áreas represadas e a jusante das mesmas (Thomaz et al., 1997). Mesmo com todos os aspectos positivos que a geração de energia elétrica a partir da água traz, esses empreendimentos provocam impactos ambientais decorrentes da implantação de seus reservatórios.

Reservatórios foram construídos em praticamente todos os grandes rios das principais bacias hidrográficas para fins de geração de energia elétrica. Como resultado mais de 1.000 usinas hidrelétricas estão

espalhadas pelos rios brasileiros (ANEEL, 2014).

A extensiva construção de barragens tem ameaçado fortemente a variabilidade sazonal do fluxo dos rios, alterando sua dinâmica natural. Por modificar fortemente o fluxo natural, os barramentos têm potencial para reduzir diferenças regionais naturais e impor uma homogeneidade ambiental ao longo da escala geográfica internacional (Poff et al., 2007). Assim a inclusão de barreiras artificiais em ecossistemas aquáticos pode desencadear inúmeros processos com repercussões ecológicas, econômicas e sociais, em uma escala local, regional e global (Tundisi, 1999).

Localizada no sul do Brasil, a bacia hidrográfica do alto rio Uruguai caracteriza-se por ser um dos mais importantes corredores de biodiversidade do Cone Sul, apresentando muitas espécies endêmicas (Paim e Ortiz, 2006). Concomitantemente, a bacia apresenta um grande potencial de geração de energia elétrica tanto para usinas de grande como de pequeno porte.

O rio Uruguai nasce na Serra Geral, da confluência dos rios Canoas e Pelotas, a aproximadamente 1.200 m acima do nível do mar e percorre um total de 2.262 km até desembocar no estuário da Prata, do qual fazem parte também os rios Paraná e Paraguai. Na sua porção inicial, o rio Uruguai divide os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo que após a confluência com o rio Peperi-Guaçu, um de seus afluentes, passa a fazer a fronteira do Brasil com a Argentina e, em seguida, da Argentina com o Uruguai. No seu percurso total o rio Uruguai pode ser dividido em regiões separadas por duas barreiras físicas, o Salto do Yucumã, que separa as regiões do alto Rio Uruguai do Médio Uruguai, e a barragem de Salto Grande, onde antigamente havia uma queda d'água de mesmo nome, que divide o Médio do Baixo Uruguai (Zaniboni-Filho, Schultz, 2003).

O potencial hídrico da bacia do rio Uruguai começou a ser descoberto a partir de 1966 quando técnicos do Comitê de Estudos Energéticos da Região Sul foram até o local avaliar a possibilidade do seu aproveitamento para a geração de energia elétrica. Pela acentuada declividade que apresenta (1,76%), a região do alto rio Uruguai passou a ser então o foco de interesse do setor elétrico brasileiro. Procurando aproveitar as potencialidades hídricas existentes na área, foram inventariadas diversas usinas e aproveitamentos hidrelétricos para o rio Uruguai e para alguns de seus principais afluentes.

Do total inventariado, as usinas hidrelétricas (UHE) de Itá e de Machadinho foram instaladas na calha principal do Alto rio Uruguai, e

serão abordadas neste estudo.

A alteração da ictiofauna do rio Uruguai na área de influência dos reservatórios de usinas hidrelétricas vem direcionando uma série de estudos e investimentos com o intuito de avaliar a comunidade de peixes e o seu ciclo biológico, na busca de informações que permitam a adoção de ações de manejo e conservação adequadas para as principais espécies.

Muitos trabalhos têm sido realizados na região do alto rio Uruguai (Di Persia e Neiff, 1986; Weis et al., 1983; Bertoletti, 1985; Bossemeyer et al., 1985; Bertoletti et al., 1989; Hahn et al., 1997; Zaniboni-Filho e Schulz, 2003; Zaniboni-Filho et al., 2004; Zaniboni-Filho et al., 2008; Nuñez e Zaniboni-Filho, 2009; Nuñez e Zaniboni-Filho, 2012), procurando entender este ambiente, mas ainda não existe estudo que tenha avaliado a pressão simultânea exercida pelas duas usinas hidrelétricas existentes no rio Uruguai, e que utilizasse uma escala espacial mais ampla, diferindo da abordagem usual da escala local, na qual somente uma parte do rio, um tributário ou um reservatório é analisada isoladamente.

Neste sentido, o presente estudo tem a finalidade de avaliar, em uma escala espacial muito mais ampla, a diversidade da ictiofauna em toda a extensão do alto rio Uruguai que está sob a influência dos barramentos das UHE Itá e Machadinho.

OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo identificar e avaliar o padrão espacial e temporal da diversidade de peixes do Alto rio Uruguai.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar se existe variação temporal da diversidade de peixes;
- b) Avaliar se existe variação espacial da diversidade de peixes e
- c) Identificar áreas prioritárias para a conservação da ictiofauna no alto rio Uruguai.

Capítulo Único:
Diversidade espacial e temporal da ictiofauna do alto Rio Uruguai:
aliando técnicas de geoprocessamento

Resumo

A bacia do Alto rio Uruguai caracteriza-se por ser um dos mais importantes corredores da biodiversidade do Cone Sul, porém, devido à sua acentuada inclinação, foram instaladas usinas hidrelétricas na calha principal do rio Uruguai, o que alterou o hábitat, a diversidade e a estrutura das espécies de peixes desse ambiente. Tendo por objetivo analisar a diversidade de peixes na região do Alto rio Uruguai em uma série temporal de longa duração, entre os anos de 1995 e 2012, este estudo foi desenvolvido, englobando dados obtidos antes e depois da criação dos reservatórios. Como resultado deste trabalho foi registrada uma riqueza total composta por 105 espécies de peixes, sendo capturados 195.185 exemplares pertencentes a 07 ordens e 22 famílias, resultado de 939 dias de campanhas de campo. A riqueza total destas espécies esteve distribuída ao longo de um gradiente no sentido montante-jusante nos diferentes ambientes do rio, apresentou alteração ao longo dos anos e no espaço. Com base nos dados de riqueza de espécies, nas curvas de rarefação e no estimador de riqueza Chao 2, no ano de 1996 foi registrada a maior diversidade, antes da construção do reservatório da usina hidrelétrica de Itá. A abundância relativa desta riqueza de espécies, apresentada por meio do diagrama de Whittaker, apresentou mudanças na estrutura da comunidade. A dissimilaridade de Bray-Curtis também mostrou diferenças na estrutura dessa riqueza antes e depois da formação dos reservatórios, através da análise de agrupamento, sendo que a riqueza de espécies de peixes diminuiu ao longo dos anos nos reservatórios estudados. O geoprocessamento foi aplicado ao banco de dados dos atributos espaciais e na base cartográfica da área, no intuito de incorporar os dados de riqueza e diversidade calculados, mostrando por meio de mapas a sua variação.

Palavras-Chave: ecologia da paisagem, região Neotropical, SIG.

Abstract

The Upper Uruguay River basin is as one of the most important biodiversity corridors of the Southern Cone, however, due to its steep slope, hydroelectric plants were installed in the main channel of the Uruguay River, which altered the habitat, diversity and the structure of fish species. In order to analyze the diversity of fish in the Upper Uruguay River region in a long-term temporal scale, between the years 1995-2012, this study was developed encompassing data obtained before and after the installation of that hydroelectric plants. As a result of this work 195,185 fish, belonging to 07 orders and 22 families were captured, in a total richness of 105 species, resulting from 939 days of field sampling campaigns. The overall richness of these species was distributed in a gradient in the upstream-downstream direction in the different environments of river, and changed over the years and in space. Based on data of species richness, in the rarefaction curves and in the richness estimator Chao 2, 1996 was the year with highest diversity, before the construction of the reservoir in Itá Hydropower Plant. The relative abundance of this richness, expressed in the Whittaker diagram, showed changes in community structure. The Bray-Curtis dissimilarity also showed differences in the structure of this richness before and after the formation of the reservoirs, through cluster analysis and the richness of fish species declined over the years in the reservoirs studied. The GIS was applied to the spatial attributes of the database and the cartographic base of the studied area, in order to incorporate the data richness and diversity calculated, showing by maps their variation.

Keywords: landscape ecology, Neotropical region, GIS.

Introdução

A bacia hidrográfica do Uruguai drena uma área de 168.000 km², e é considerada um dos mais importantes corredores de biodiversidade do Cone Sul, apresentando muitas espécies endêmicas (Paim e Ortiz, 2006). O principal rio da bacia, o rio Uruguai, nasce na Serra Geral, da confluência dos rios Canoas e Pelotas, a aproximadamente 1.200 m acima do nível do mar, e percorre 2.262 Km até desembocar no estuário da Prata, do qual fazem parte também os rios Paraná e Paraguai. No seu percurso total o rio Uruguai pode ser dividido em regiões separadas por duas barreiras físicas, o Salto do Yucumã, que separa as regiões do Alto Rio Uruguai do Médio Uruguai, e a barragem de Salto Grande, que divide o Médio do Baixo Uruguai (Zaniboni-Filho e Schultz 2003).

Devido à acentuada declividade que apresenta (1,76%), a região do alto rio Uruguai tem sido foco de interesse do setor elétrico brasileiro, uma vez que a bacia apresenta um grande potencial para geração de energia elétrica para usinas de grande ou de pequeno porte. No intuito de aproveitar as potencialidades hídricas existentes na área, foram inventariadas diversas usinas e aproveitamentos hidrelétricos para o rio Uruguai e para alguns de seus principais afluentes.

Do total inventariado, três usinas hidrelétricas se encontram instaladas na calha principal do rio Uruguai: a usina hidrelétrica (UHE) Itá, a UHE Machadinho, que estão em operação desde 2000 e 2001, respectivamente, e que farão parte deste estudo, e a UHE Foz do Chapecó. No entanto existem cerca de vinte projetos para a construção de novas usinas hidrelétricas na região. Algumas características das UHE Itá e Machadinho estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho, localizadas no rio Uruguai. Fonte: <http://www.tractebelenergia.com.br>

	Usina hidrelétrica	
	Itá	Machadinho
Área total do reservatório	141 km ²	79 km ²
Área inundada	103 km ²	56,7 km ²
Volume acumulado total	5,1x 10 ⁹ m ³	3,339 x 10 ⁹ m ³
Vazão máxima excepcional	49.940 m ³ /s	35.703 m ³ /s
Potência instalada	1.450 MW	1.140 MW

Apesar de importante para o desenvolvimento econômico (Agostinho *et al.* 2008) a construção de uma barragem implica no imediato aumento do tempo de residência da água do antigo ecossistema lótico. Essa transformação inicial é a principal responsável por uma série de alterações nas características limnológicas observadas nas áreas represadas e a jusante das mesmas (Thomaz *et al.* 1997). Mesmo com todos os aspectos positivos que a geração de energia elétrica a partir da água traz, esses empreendimentos provocam impactos ambientais decorrentes da implantação de seus reservatórios.

No Brasil, existem reservatórios construídos para fins de geração de energia elétrica em praticamente todos os grandes rios das principais bacias hidrográficas, e como resultado mais de 1.000 usinas estão espalhadas pelos rios brasileiros (ANEEL, 2014).

Por modificar fortemente o fluxo natural, os barramentos têm potencial para reduzir as variações do ambiente e impor uma homogeneidade ambiental ao longo da escala geográfica (Poff *et al.* 2007). A intensidade dos impactos causados por um represamento é fortemente influenciada pelas características não só da biota como do próprio reservatório (Agostinho *et al.* 1999; Araújo e Santos 2001). O fluxo afeta a conectividade lateral e longitudinal, que é essencial para a viabilidade das espécies do rio incluindo os peixes. Tais mudanças decorrentes da transformação do ambiente lótico para lêntico, podem ocorrer lentamente por um período de décadas, o que de acordo com Penczark *et al.* (1994) implica na necessidade de estudos de longo prazo. Petts (1980) e Schlosser (1990) afirmaram que 20-25 anos devem ser suficientes para que mudanças nas assembleias sejam detectáveis, enquanto Almodóvar e Nicola (1999) apontam para um período mais curto, inferior a 10 anos.

A diversidade de peixes do rio Uruguai vem direcionando uma série de estudos com o intuito de avaliar a comunidade de peixes e seu ciclo biológico, na busca de informações que permitam a adoção de ações de manejo e conservação adequadas para as espécies ali presentes.

Muitos estudos com diferentes objetivos foram realizados na região do alto rio Uruguai (Di Persia e Neiff 1986; Weis *et al.* 1983; Bertoletti 1985; Bossemeyer *et al.* 1985; Bertoletti *et al.* 1989; Hahn *et al.* 1997; Zaniboni-Filho e Schulz 2003; Zaniboni-Filho *et al.* 2004; Zaniboni-Filho *et al.* 2008; Nuñez e Zaniboni-Filho 2009; Nuñez e Zaniboni-Filho 2012), mas ainda não foi avaliada a pressão simultânea exercida pelas usinas hidrelétricas existentes no rio Uruguai em uma escala espacial mais ampla, diferindo da abordagem usual da escala

local, na qual somente um trecho do rio, um tributário ou um reservatório é analisado isoladamente.

Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo identificar e avaliar o padrão espacial e temporal da diversidade de peixes do Alto rio Uruguai na área de influência dos dois reservatórios instalados no alto rio Uruguai, em uma série temporal de longa duração.

Material e Métodos

A área de estudo abrange a área de influência dos reservatórios de Itá e de Machadinho (Figura 1).

A bacia do alto rio Uruguai situa-se em clima subtropical apresentando originalmente vegetação predominante de Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista, com manchas de savana em algumas regiões (SDM, 1997).

Ao longo do tempo a colonização da área se deu a partir da criação de fazendas de criação de gado bovino, seguido da extração da erva-mate. Desde o princípio de sua colonização a região apresenta característica peculiar de que suas terras foram colonizadas seguindo o modelo minifundiário de estrutura agrária. Devido a esta estrutura, e com o uso de tecnologias modernas, em pouco tempo a região se tornou o centro dinâmico da economia estadual, o que possibilitou a implantação de diversas agroindústrias (ESPIRITO SANTO 1999).

A cobertura vegetal original foi descaracterizada no processo de colonização, sendo substituída por áreas de pecuária e agricultura. Deste modo, o rio Uruguai atualmente apresenta mata ciliar muito impactada pela ação humana, tendo em vista que, segundo os dados históricos, a região foi também grande fornecedora de madeiras de lei que desciam na forma de balsas até a Argentina, onde eram exportadas. Hoje a mata ciliar dá lugar a municípios, balneários, áreas ainda destinadas a pecuária e lavouras, tendo como consequência a poluição dos recursos hídricos por esgotos domésticos e industriais, resíduos animais e pelos agrotóxicos aplicados nas lavouras.

Portanto verifica-se que a região hidrográfica do alto rio Uruguai apresenta grande importância regional e para o país em função das atividades agropecuárias nela desenvolvidas, do seu potencial de geração de energia hidrelétrica e pela elevada diversidade e riqueza da fauna de peixes (FERNANDES et al., 2009). Este patrimônio de diversidade está ameaçado por vários fatores incluindo também a instalação de usinas hidrelétricas (VILELLA, 2008; BERMAN, 2007).

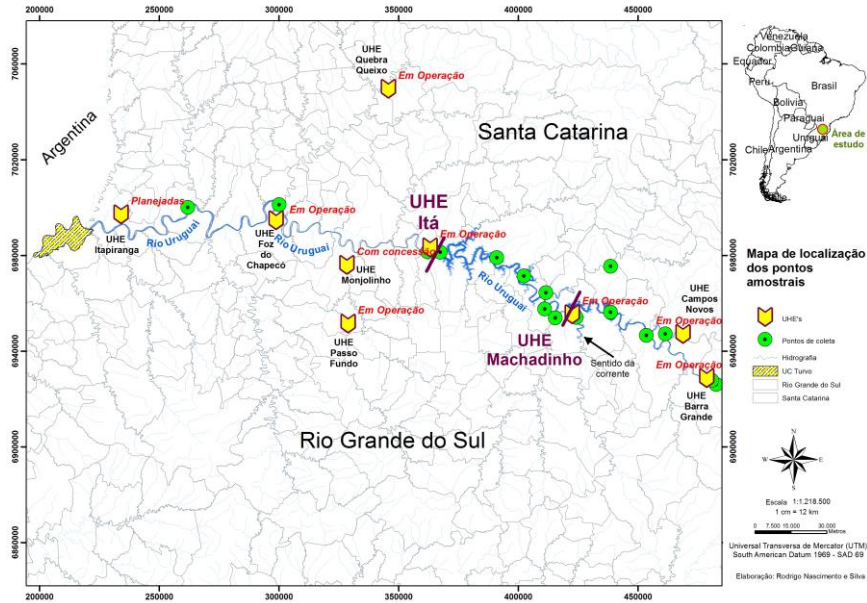


Figura 1. Mapa de localização dos pontos de amostragem na área de influências das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho.

Para análise temporal e espacial da diversidade de peixes no alto rio Uruguai foram espacializados dados secundários da ictiofauna capturada área de influência dos reservatórios pelo Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD) no período de 1995 a 2012, antes e depois da formação dos reservatórios. Com o objetivo de analisar a riqueza de peixes antes e depois da construção destas usinas hidrelétricas foram utilizados os dados das espécies e o número total de indivíduos capturados na área de influência das UHE de Itá e de Machadinho durante este período. Estes dados temporais de monitoramento, assim como as novas informações que são coletadas a cada ano, estão armazenados em um banco de dados único no LAPAD.

A captura dos peixes foi realizada em pontos de coleta distribuídos ao longo do rio Uruguai e de seus afluentes (Figura 1), tendo sido utilizados diferentes apetrechos de pesca para amostrar as espécies presentes. As capturas foram realizadas a cada dois ou três meses na área de coleta, sendo que em 1998 e 1999 não houve coletas na UHE Itá.

O número de espécies capturadas por ano foi utilizado para quantificar a riqueza anual da área de abrangência de cada reservatório e para produzir os gráficos temporais comparativos. Para tanto foi utilizado o estimador de riqueza Chao 2, obtido no software EstimateS 9 (Colwell et al., 2012), segundo a fórmula:

$$\text{Chao2} = S_{\text{obs}} + (Q1 \times Q1) / (2 \times Q2)$$

onde S_{obs} é o número de espécies observado, Q1 indica o número de espécies representadas por apenas um indivíduo nas amostras e Q2 o número de espécies com apenas dois indivíduos nas amostras. A técnica da curva de rarefação (Sanders, 1968) foi utilizada para avaliar se houve diferença na riqueza das espécies total capturada na área de abrangência das UHE Itá e Machadinho, uma vez que ela é indicada para amostras de tamanhos diferentes. A construção das curvas de rarefação pode ser vista como um processo de interpolação da riqueza de espécies do conjunto total de amostras para a riqueza esperada para um subconjunto dessas amostras (Colwell et al., 2004). Contudo, é na extrapolação das curvas de acumulação de espécies que se pode estimar acuradamente

quantas espécies seriam encontradas em um número maior de unidades amostrais lançadas na mesma comunidade (Colwell et al., 2004).

Os padrões de distribuição e associação no espaço (Whittaker, 1973; Orlóci, 1978; Pielou, 1984; Orlóci e Kenkel, 1985; Digby e Kempton, 1987; Wildi e Orlóci, 1990; Feoli e Orlóci, 1991; Podani, 1994) foram detectados através das análises de agrupamento e de ordenação, nas quais foi utilizado o coeficiente de distância de Bray-Curtis. Este coeficiente é fortemente influenciado pelas espécies dominantes utilizando dados quantitativos de abundância e não considerando as duplas-ausências, ou seja, quanto mais próximas forem as amostras, menor será a distância métrica entre os pontos e, portanto, maior será a similaridade entre elas (Valentin, 2000).

O método SIMPROF foi utilizado para identificar os grupos significativos na análise de agrupamento, na qual foi utilizado o método UPGMA, no qual a ligação de agrupamentos tem por base as médias aritméticas não ponderadas.

Na ordenação foi utilizada a análise de gradientes de Whittaker (1967) que é um tipo de ordenação direta e unidimensional, sendo que neste estudo foi utilizada a abundância relativa de cada espécie em ordem decrescente com o objetivo de avaliar as mudanças na estrutura da diversidade de peixes ao longo do tempo. O propósito das representações gráficas de distribuição é apresentar informações sobre os padrões das abundâncias relativas das espécies, que podem apresentar características da estrutura da comunidade (Clarke e Warwick, 1994).

No intuito de espacializar cartograficamente a distribuição desta riqueza, foram utilizadas ferramentas do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a construção de uma base cartográfica e para a produção de mapas temáticos que procuraram elucidar a sua variação. Para a produção dos mapas e da cartografia digital foi utilizado o software de geoprocessamento ArcGis 10 (ESRI 2001), além de bases cartográficas oficiais. Nesta etapa, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento e de Geoestatística para a análise dos dados coletados e para a geração dos mapas.

Para a produção dos mapas de riqueza espacial foi utilizado o método interpolador *krigagem* ordinária, no qual médias locais ou tendências locais estimadas a partir dos elementos amostrais vizinhos, ao invés de uma única média estacionária, como o faz o algoritmo de interpolação simples (Santos *et al.*, 2011). A *krigagem* na análise dos dados consistiu em uma série de técnicas de regressão com o objetivo de

minimizar a variância estimada e levar em consideração a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço (Landim e Sturaro, 2002).

Para a produção do mapa de conservação da diversidade de peixes do Alto Rio Uruguai foi utilizada a técnica de *overlay*, ou seja, de sobreposição, onde as informações espaciais e não espaciais de origens diversas foram integradas em uma única base de dados, o que permite a produção de novas informações, visualizadas na forma cartográfica (Câmara, 1993). A informação foi dividida em duas partes, sendo que na primeira a informação espacial foi referenciada a um sistema de coordenadas, com localização e delimitação das zonas de interesses. A segunda parte consistiu na composição de atributos não espaciais e reuniu dados descritivos, organizados e tabulados em um banco de dados (Burrough, 1992). Foram sobrepostas as camadas de informação do NDVI, da diversidade espacial, das usinas hidrelétricas existentes e das planejadas, além das áreas prioritárias de conservação para a seleção do local mais recomendado para a conservação da ictiofauna do Alto Rio Uruguai.

No presente estudo foi ainda utilizado um índice espectral, o Índice Vegetação Diferença Normalizada (NDVI), obtido pelo cálculo:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R),$$

onde o NIR é o valor numérico do pixel da banda no comprimento de onda infravermelho próximo e R é o valor numérico do pixel da banda comprimento de onda vermelho.

Neste estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat, com destaque para mudanças de áreas de vegetação entre os anos de 1990-2010, utilizando-se o método NDVI. Esta imagem índice é o resultado das operações matemáticas entre os valores numéricos de cada pixel das bandas de cada imagem

O mapa da variação da vegetação foi produzido pela combinação de dados NDVI compiladas a partir de dados da Global Land Pesquisa (GLS) de 1990 e 2010. Os conjuntos de dados GLS são criados pela agência United States Geological Survey e pela National Aeronautics and Space Administration. Áreas de cor cinza na imagem indicaram que não houve mudança na vegetação, porque cada pixel apresentou relativamente o mesmo valor em cada conjunto de dados NDVI nos

diferentes anos. Áreas na cor verde eram mais brilhantes em 1990, o que significa que a vegetação era mais vigorosa, enquanto as áreas que aparecem em cor magenta eram mais brilhantes em 2010 do que 1990, mostrando a descontinuidade da vegetação.

Resultados e Discussão

Neste estudo foi encontrada uma riqueza total de 105 espécies (Anexo) para o alto rio Uruguai, num espaço temporal equivalente a 17 anos de coletas, resultado da análise de 195.185 exemplares de peixes em 939 dias de coleta nas UHE de Itá e Machadinho, conforme mostra a Tabela 2. Além disso, uma base cartográfica digital na escala 1:1.218.500 foi produzida para toda área analisada, tendo sido incorporada nesta base os dados analisados.

Verificou-se que existe gradiente longitudinal de espécies no sentido montante jusante ao longo do rio (Figura 2), onde 83 espécies foram encontradas no trecho inicial referente a área da UHE Machadinho e seguindo o sentido do rio 97 espécies foram encontradas no trecho mais a jusante na área de Itá. Gradientes desta natureza estão baseados no conceito geral de rio contínuo, descrito por Vanote et al. (1980), Maiolini et al. (2007) e Ferreira et al. (2010).

Tabela 2. Número de dias de coleta, abundância total e riqueza total de espécies na área de abrangência das usinas hidrelétricas de Machadinho e de Itá no período de 1995 a 2012.

Usina	Dias de coleta	Abundância total	Riqueza total
Itá	472	97.338	97
Machadinho	467	97.847	83
Total	939	195.185	105

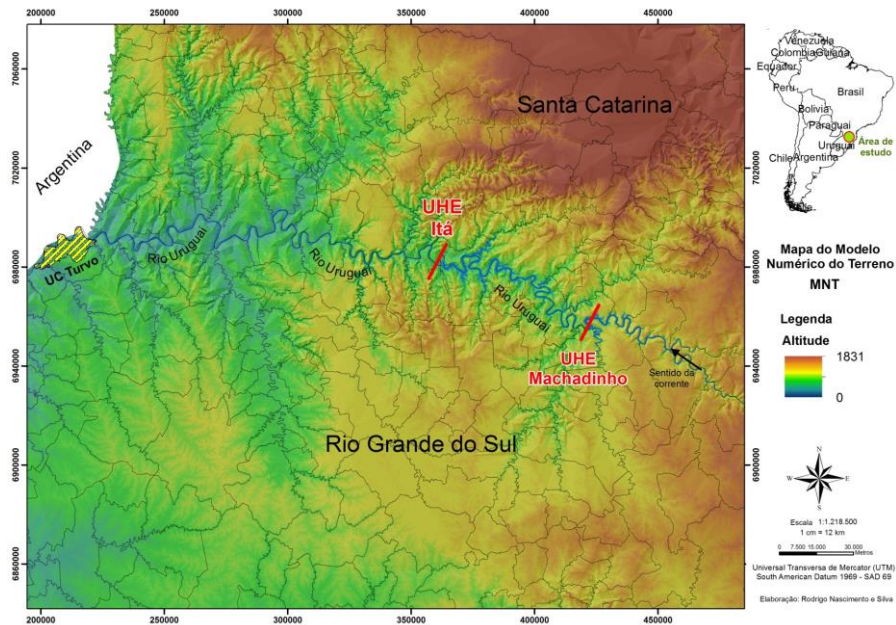


Figura 2. Base altimétrica da área de abrangência dos reservatórios das usinas hidrelétricas Machadinho e Itá.

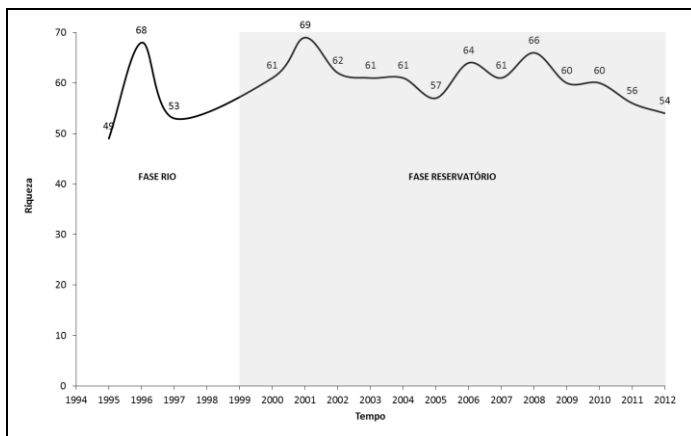
Para avaliar a riqueza de peixes ao longo dos anos, dados obtidos antes e depois da formação dos reservatórios (Figura 3) foram analisados. Os dados mostraram que houve aumento inicial na riqueza de espécies após a formação do reservatório de ambas as usinas. Com o aprofundamento das análises, no entanto, observou-se a seletividade do ambiente por algumas espécies, que produziu variação na estrutura da comunidade ao longo do tempo em ambos os locais estudados. Diversos pesquisadores mostraram que o represamento dos rios apresenta como resultado profundas modificações na estrutura, na abundância e na composição das assembleias de peixes, causando um período variável de instabilidade (Agostinho et al. 2004b). Os valores de riqueza observada de peixes para o alto rio Uruguai aumentaram num primeiro momento, mas com o passar dos anos, já na fase reservatório, foram se alterando e diminuindo nos últimos anos.

A comparação da riqueza entre os locais pode ser observada na curva de rarefação (Figura 4), onde próximo à abundância de 100.000 indivíduos, Itá apresentou maior riqueza do que Machadinho. Esta diferença estatisticamente significativa pode ser reconhecida pela não sobreposição dos intervalos de confiança de ambas as curvas.

Para melhor compreender os dados analisados produziu-se a curva de riqueza Chao 2 (Figura 5), que estimou que em Itá, onde foram encontradas 97 espécies seria possível encontrar 108, enquanto em Machadinho para número de 83 espécies capturadas foi estimada uma riqueza de 86 espécies. Portanto verifica-se que os valores estimados não diferiram muito dos valores observados, de modo que a análise utilizando a riqueza foi representativa nos ambientes estudados. Esta curva mostra ainda que uma maior riqueza de espécies Itá.

Para se avaliar qual o local e em qual ano ocorreu a maior riqueza, foi produzida uma curva de rarefação por local/ano (Figura 6), que mostrou a maior riqueza foi registrada em Itá no ano de 1996, ainda na fase rio. Itá ocupou também a segunda posição em 2008 e a terceira em 1997. Por outro lado observou-se que em Machadinho a maior riqueza foi registrada em 2003, na fase reservatório, dois anos após o barramento ser implantado.

a)



b)

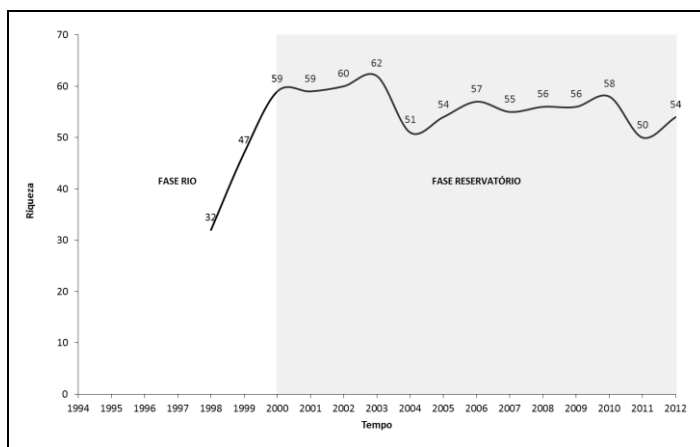


Figura 3. Riqueza de espécies ao longo dos anos na área de abrangência das usinas hidrelétricas de Itá (a) e de Machadinho (b), localizadas no alto rio Uruguai.

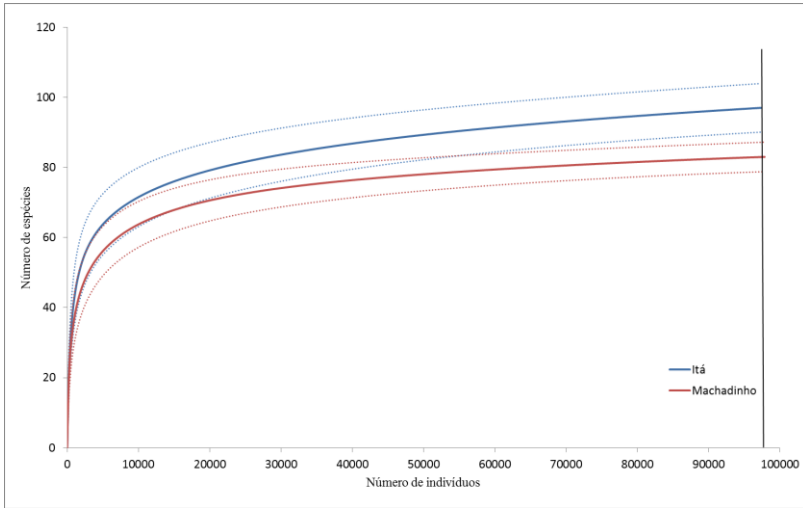


Figura 4. Curva de rarefação da riqueza (S) de espécies de peixes nas usinas hidrelétricas de Itá e Machadoinho com intervalo de confiança (linha pontilhada) de 95%.

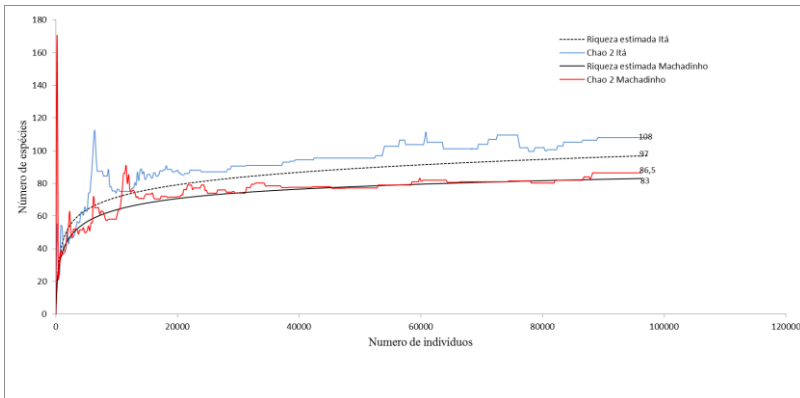


Figura 5. Riqueza acumulada observada e estimada de espécies (Chao 2) na área de influência das usinas hidrelétricas de Itá e Machadoinho.

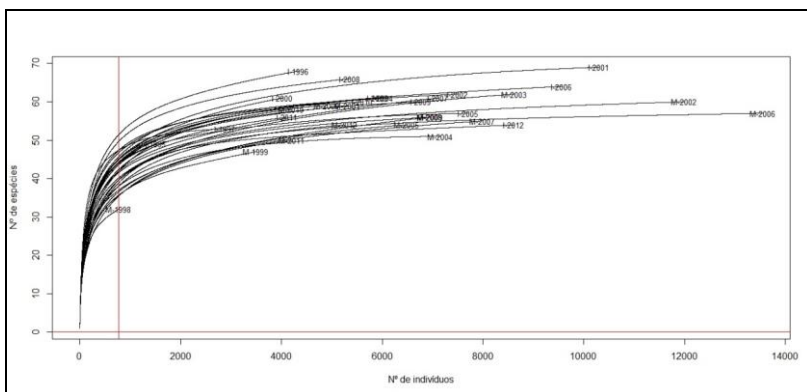


Figura 6. Curva de rarefação da riqueza (S) anual de espécies de peixes nas usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho com intervalo de confiança de 95%.

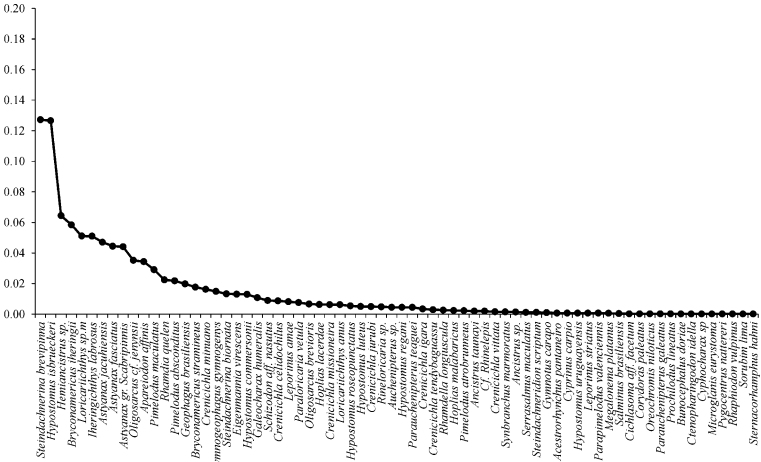
A riqueza de espécies antes e depois do barramento não apresentou diferença estatística significativa por meio do teste t (Itá: $t = -0,73$ $p = 0,54$ $gl = 2,15$; Machadinho: $t = -1,27$ $p = 0,33$ $gl = 2,15$). Esta riqueza vem se alterando, mas não ao ponto de apresentar diferença na riqueza antes e depois da formação do reservatório.

No entanto, ainda que esta riqueza não tenha se alterado, os diagramas de Whittaker mostraram alterações na estrutura das comunidades de peixes, que foi alterada entre a fase rio e a fase reservatório, em ambos locais estudados.

A Figura 7a mostra a abundância relativa de espécies antes da formação do reservatório de Itá, onde a comunidade íctica foi dominada por *Steindachnerina brevipinna*, *Hypostomus isbrueckeri*, *Hemiancistrus* sp., *Bryconamericus iheringii* e *Loricariichthys* sp.m foram as mais abundantes inicialmente. A Figura 7b mostra, no entanto que *Astyanax fasciatus*, *Steindachnerina brevipinna*, *Loricariichthys anus*, *Hypostomus isbrueckeri* e *Apareiodon affinis* foram as mais abundantes depois da formação do reservatório.

Em Machadinho a Figura 8a mostra que *Hypostomus isbrueckeri*, *Bryconamericus stramineus*, *Steindachnerina brevipinna*, *Astyanax* gr. *Scabripinnis* e *Astyanax fasciatus* foram as espécies mais abundantes na fase rio, enquanto na fase reservatório (Figura 8b) as mais abundantes foram *Astyanax fasciatus*, *Parapimelodus valenciennis*, *Steindachnerina brevipinna*, *Acestrorhynchus pantaneiro* e *Astyanax jacuhiensis*.

a)



b)

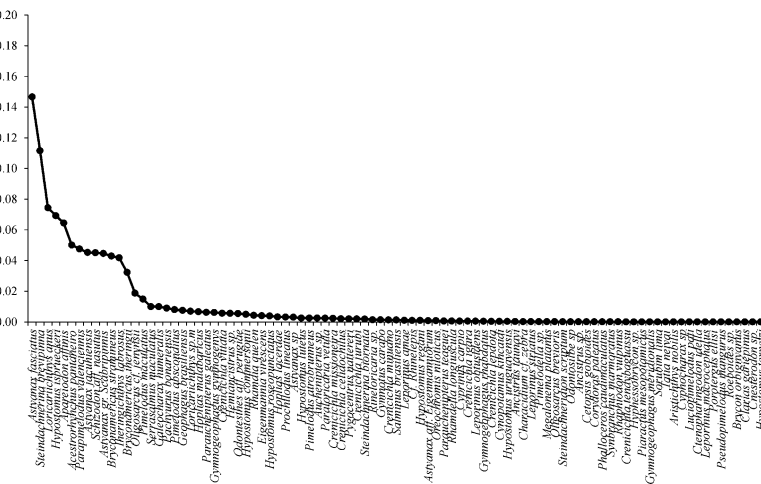


Figura 7. Abundância relativa de espécies de peixes na área de influência da usina hidrelétrica de Itá. a) antes da formação do reservatório. b) depois da formação do reservatório.

Destaca-se nesta abundância a espécie carnívora *Acestrorhynchus pantaneiro* ocupando situação de destaque na assembleia.

Dessa forma, espécies zooplancatófagas e herbívoras mostraram maior recrutamento na condição de um reservatório mais cheio. Observou-se então, uma mudança na riqueza de espécies após a implantação dos reservatórios de Itá e de Machadinho, possivelmente facilitando o acréscimo de espécies oportunistas na comunidade.

Dados similares a estes, referentes à dominância de algumas espécies no alto rio Uruguai, como por exemplo, o *Astyanax fasciatus*, foram anteriormente descritas por Zaniboni-Filho et al. (2008), Nuñez e Zaniboni-Filho (2009) e Nuñez e Zaniboni-Filho (2012), em um intervalo de tempo e em uma escala cartográfica menores que os analisados neste estudo.

Esses resultados podem também estar relacionados ao fato de que a condição ambiental nos primeiros anos após a implantação de um reservatório é mais crítica, pois durante esse período diversos fatores, bióticos e abióticos, são alterados, como por exemplo, a decomposição da flora inundada, a mudança da qualidade da água e a alteração do fluxo de água. Essas alterações tornam o ambiente instável e, dessa forma, impróprio ou inacessível para as espécies mais sensíveis às variações do ambiente (NOVAKOWSKI *et al.*, 2007).

A maior abundância de algumas espécies pode estar mais relacionada com o seu hábito alimentar, pois a variação da disponibilidade de diferentes tipos de alimento, provocada pela variação do nível da água, pode favorecer o aumento, ou a redução, da população de determinadas espécies, e, conseqüentemente, alterar a estrutura dessas comunidades em função do represamento.

Para avaliar a diferença na estrutura das espécies de peixes foi utilizada a dissimilaridade de Bray-Curtis entre os anos e entre as duas áreas, com teste de significância de agrupamentos (SIMPROF) significativo para alguns agrupamentos (Figura 9). Essa estrutura de resultados mostrou um agrupamento com diferença de quase 50% entre os períodos antes e depois da formação dos reservatórios. Outros agrupamentos significativos foram destacados, mostrando os anos e os locais que foram agrupados.

O mapa da dinâmica da vegetação com base no NDVI (Figura 10) foi produzido para avaliar geograficamente a área mais impactada nos últimos 20 anos. As áreas em magenta mostram a degradação retratando o histórico de ocupação da área. No Parque do Turvo

percebe-se a tonalidade de cinza, cor que indica que não houve mudanças na vegetação com o passar do tempo. Isto pode ser explicado em parte por se tratar de um parque criado nos anos 70 e que teoricamente não sofre com o desmatamento.

Uma das vantagens do uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é a forma simplificada que um mapa pode mostrar sobre a dinâmica do ambiente estudado. Neste sentido, o mapa da diversidade espacial (Figura 11), obtido por meio de geoprocessamento, apresenta a variação da diversidade na forma cartográfica, para indicar as áreas que tem sido mais fortemente impactadas, conforme se verifica na região a jusante de Itá.

Para encontrar a área que mais necessita de cuidados de conservação, a sobreposição, ou “overlay” destas informações cartográficas no geoprocessamento foi essencial. O resultado da sobreposição das informações de vegetação, áreas prioritárias, usinas planejadas e as existentes, juntamente com a diversidade espacial produziu a Figura 12, que mostra o trecho de maior susceptibilidade e fragilidade para conservação.

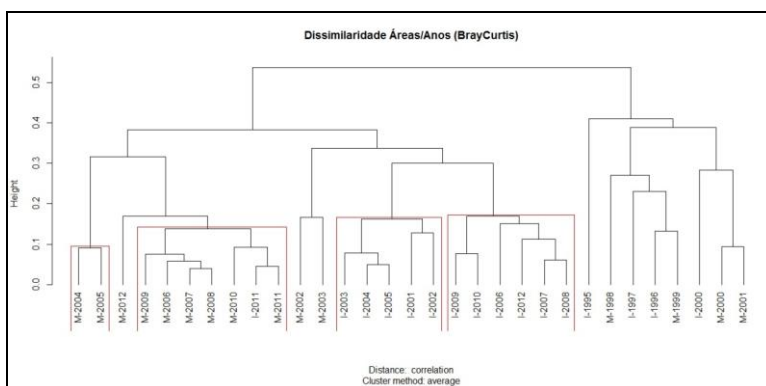


Figura 9. Grupos formados a partir da dissimilaridade de Bray-Curtis e da análise de agrupamento. Grupos similares pela análise SIMPROF estão em destaque.

De posse de todas essas informações e análises, conclui-se que a riqueza tem se alterado ao longo dos anos na área de abrangência dos

dois reservatórios, tendo sido encontrada diferença espacial, e alteração na estrutura das comunidades de peixes nesta área do alto rio Uruguai.

Portanto, cada vez mais há necessidade de diagnósticos corretos dos fatores que influenciam as comunidades ictílicas e de estudos aprofundados de como elas se comportam, para que medidas de conservação possam ser tomadas.

As análises das imagens e dos mapas temáticos, concomitantemente com o uso do geoprocessamento na produção dos mapas deste estudo comprovam que as ferramentas do SIG são métodos eficazes para a espacialização de dados ambientais. A cartografia produzida neste estudo poderá servir de base para trabalhos futuros com objetivo de fornecer bases para equilibrar o planejamento de futuras hidrelétricas na região com a conservação dos habitats dos peixes na região do alto rio Uruguai.

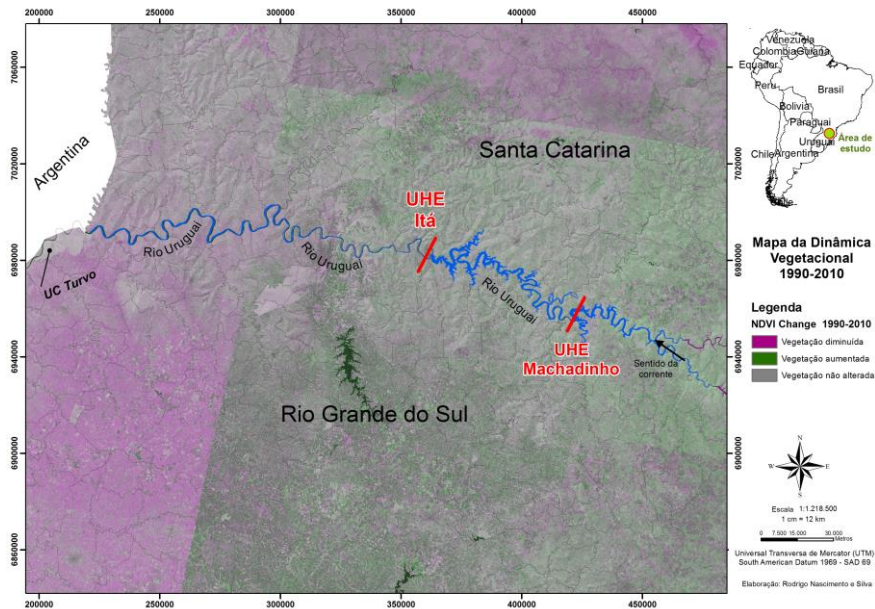


Figura 10. Mapa da dinâmica vegetacional na área de influência das usinas hidrelétricas de Machadinho e de Itá.

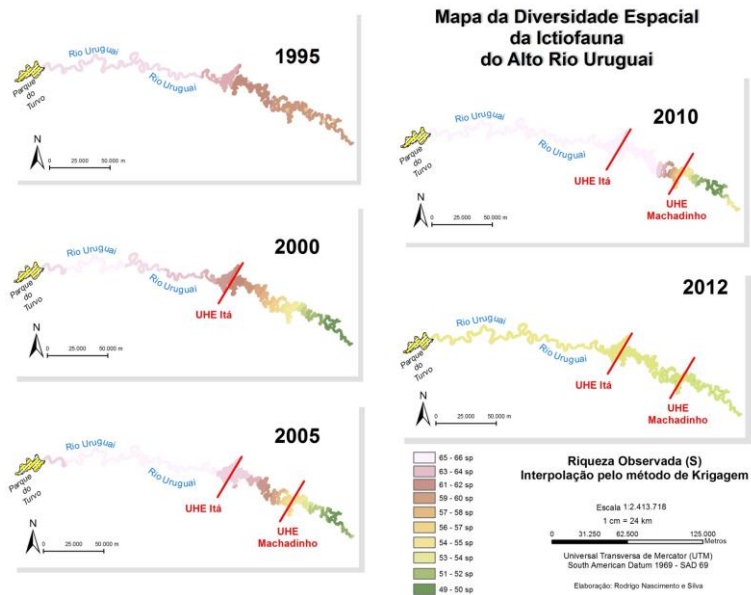


Figura 11. Mapa da diversidade espacial e temporal da ictiofauna na área de influências das usinas hidrelétricas de Itá e Machado.

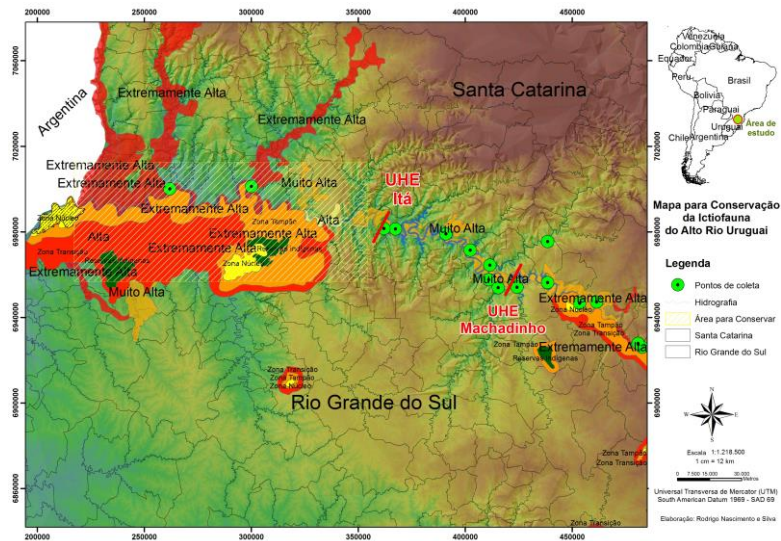


Figura 12. Áreas prioritárias para a conservação da diversidade de peixes na área de influências das usinas hidrelétricas de Ita e Machadinho.

Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, A. A., L. E. MIRANDA, L. M. BINI, L. C. GOMES, S. M. THOMAZ & H. I. SUZUKI. 1999. Patterns of colonization in Neotropical reservoir and prognoses on aging. 227-265p. In: TUNDISI, J. G. and M. STRASKRABA (Eds.) *Theoretical Reservoir Ecology and its applications*. São Carlos, International Institute of Ecology, Leiden, The Netherlands, Backhuys Publishers; Rio de Janeiro, Brazilian Academy of Sciences, 585p.
- AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M. and GOMES, L. C. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, 68:1119-1132.
- ALMODÓVAR, A., NICOLA, G. G. 1999. Effects of small hydropower station upon brown trout *Salmo trutta* L. in the River Hoz Seca (Tagus basin, Spain) one year after regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 15, n.5 477-484p.
- ANEEL. 2014. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim_de_Monitoramento_do_Sis_tema_Eltrico_-_Marxo-2014.pdf. Acesso em 10/06/2014.
- ARAÚJO, F. G., A.G. CRUZ-FILHO, M. C. C. AZEVÊDO & A. C. A. SANTOS. 2008. Estrutura da comunidade de peixes demersais da baía de Sepetiba, RJ. *Revista Brasileira de Biologia*, 58(3): 417-430.
- ARAÚJO, F. G., SANTOS, L. N. 2001. Estrutura das comunidades de peixes demersais da Baía de Sepetiba, RJ. *Revista Brasileira de Biologia*, 58(3): 417-430.
- ARAYA, P.; HIRT, L.; FLORES, S. 2009. Algunos aspectos de la pesquería artesanal en el área de influencia del embalse Yacuyretá. Alto río Paraná, Misiones, Argentina. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 35(2): 227-238.
- AUSTIN, M. P., AND I. NOY-MEIR. 1971. The problem of non-linearity in ordination: experiments with two-gradient models. *J. Ecol.* 59: 763-773.
- BERMANN, C. 2007. Impasses and controversies of hydroelectricity. *Estudos Avançados, São Paulo*, 21(59): 139-154p.
- BERTOLETTI, J. J. 1985. Aspectos sistemáticos e biológicos da ictiofauna do rio Uruguai. *Véritas*, 30(117):93-129.
- BERTOLETTI, J. J., C. A. S. LUCENA, Z. M. S. LUCENA, L. R. MALABARBA & R. E. REIS. 1989a. Ictiofauna do rio Uruguai superior entre os municípios de Aratiba e Esmeralda, Rio Grande do Sul, Brasil. *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS, Série Zoologia*, 32(48): 3-42.
- BERTOLETTI, J. J., C. A. S. LUCENA, Z. M. S. LUCENA, L. R. MALABARBA & R. E. REIS. 1989b. Ictiofauna do rio Canoas, sistema do rio Uruguai Superior, Campos Novos, Santa Catarina, Brasil. *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS, Serie Zoologia*, 32(49): 43-75.
- BIRGE, E.A. 1895. Cladocera. *Proc. Ind. Acad. Sci.* n.5, p. 244-246.
- BORROUGH, P.A. 1992. Principles of geographical information system for land resources assesment. Oxford University Press, Oxford. 194 p.
- BORTOLUS, A. 2008. Error cascades in the Biological Sciences: the unwanted consequences of using bad taxonomy in Ecology. *A Journal of the Human Environment*, 37: 114-118.
- BOSSEMEYER, I. M. K., M. L. C. WEIS, S. T. BENEMANN & M. L. S. BIER. 1985. Ictiofauna do Rio Santa Maria, RS. *Ciência e Natura*, 7: 209-222.
- CAIRS, J., P.V. CORMIC and B.R.NIEDERTENER, 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hidrobiologia* 163. p.1-44.
- CÂMARA, G. 1993. Anatomia de sistemas de informações geográficas, visão atual e perspectivas de evolução. In: *Sistemas de informações geográficas e suas aplicações na agricultura*. Brasília, DF. p. 37-59.

- CÂMARA, G., CARVALHO, M.S., CRUZ, O.G., CORRÊA, V. 2002. Análise Espacial de Áreas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE.
- CLARKE, K. R. & WARWICK, R. W. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratory. 859 p.
- COLWELL, R. K., A. CHAO, N. J. GOTELLI, S.-Y. Lin, C. X. MAO, R. L. CHAZDON, and J. T. LONGINO. 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology* 5:3-21.
- DI PERSIA, D. H. & J.J.NEIFF. 1986. The Uruguay River System. In: DAVIES, B. R., WALKER, K.F. (Eds). *The Ecology of River System*. Dordrecht, The Netherlands: Dr. W. Junk Publishers. 816p.
- DIGBY, P. G. N. & KEMPTON, R. A. 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. London, Chapman & Hall. 206 p.
- ESPÍRITO SANTO, E. 1999. *A agricultura no Estado de Santa Catarina*. Chapecó, SC: Editora Grifos. 170p.
- FEOLI, E. & L. ORLÓCI (eds.). 1991. *Computer Assisted Vegetation Analysis*. Kluwer, Dordrecht. 498 p.
- FERNADES, R. *et al* 2009. Effects of the hydrological regime on the ichthyofauna os riverine environments of the Upper Paraná river floodplain. *Brazilian Journal of Biology* 69(2): 669-680.
- FERREIRA, E. J. G. 1993. Composição, distribuição e aspectos ecológicos da ictiofauna de um trecho do rio Trombetas, na área de influência da futura UHE Cachoeira Porteira, Estado do Pará, Brasil. *Acta Amazonica* 23 (Supl.1/4). .1-88.
- GAUCH, H. G., R. H. WHITTAKER. 1972a. Coenocline simulation. *Ecology* 53: 446-451.
- GAUCH, H. G., R. H. WHITTAKER. 1972b. Comparison of ordination techniques. *Ecology* 53: 868-875.
- GOTELLI, N.J. & R.K. COLWELL. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379-391.
- HAHN, N. S., A. A. AGOSTINHO, L. C. GOMES & L. M. BINI. 1997. Estrutura trófica. In: Vazzoler, A. E. A. M., A. A. Agostinho & N. S. Hahn (Eds.). *A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá, Eduem, pp. 229-248.
- HAHN, N. S., A. A. AGOSTINHO, L. C. GOMES & L. M. BINI. 1998. Estrutura trófica da Ictiofauna do reservatório de Itaipu (Paraná-Brasil) nos primeiros anos de sua formação. *Revista Interciência*, 23: 299-305.
- HASENACK, H.; WEBER, E. 1998. *Manual do usuário do Idrisi: Exercícios tutoriais*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre.
- HELLAWELL, J. M. 1991. Development of rationale for monitoring. In: GOLDSMITH, F. B. *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman and Hall, London, p.1-14.
- HUMBOLDT, A. VON. 1814-1825. *Relation historique du voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent, fait en 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804, par A. de Humboldt e A. Bonpland*. Rédigé par Alexandre de Humboldt. Paris, vol. I 1814, vol. II 1819, vol. III 1825 (reimpressão: Introdução e índice de H. Beck, In: BECK, H. (Ed.). 1970. *Quellen und Forschungen zur Geschichte der Geographie und der Reisen* 8. Stuttgart, 3 vol.)
- JEGLUM, J. K., C. F. WEHRHANN, AND J. M. A. SWAN. 1971. Comparisons of environmental ordinations with principal component vegetation ordinations for sets of data having different degrees of complexity. *Can. J. For. Res.* 1: 99-112.
- LANDIM, P.M.B & STURARO, J.R. 2002. Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. *Geomatemática, Texto Didático n.6, DGA,IGCE,UNESP, Rio Claro*.
- LOURENÇO, R. M. & LANDIM, P. M. B. 2005. Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos. *Cad. Saúde Pública* vol. 21(1), 150-160.

- LOVEJOY, T.E. 1980. Discontinuous wilderness: minimum areas for conservation. *Parks* 5(2): 13-15.
- LOWE-McCONNEL, R.H. 1987. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge: Cambridge University Press. 382p.
- MAGURRAN, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey pp. 179.
- MAGURRAN, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, Blackwell Science, 256p.
- MAY, R.M. 1990. Taxonomy as destiny. *Nature*, 347: 129-130.
- MÜLLER, A.C., 1995. *Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo, Makron Books.
- NOVAKOWSKI, G.C., N.S. HAHN & FUGI, R. 2007. Alimentação de peixes piscívoros antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Paraná, Brasil. *Biota Neotropica*, 7:1-6
- NOY-MEIR, I., AND M. P. AUSTIN. 1970. Principal component ordination and simulated vegetation data. *Ecology* 51: 551-552p.
- NOY-MEIR, I., M. P. AUSTIN. 1970. Principal component ordination and simulated vegetation data. *Ecology* 51: 551-552.
- NUÑER, A. P. O. & ZANIBONI-FILHO, E. 2009. Length-weight relationships of fish species caught in the upper Uruguay river. *Brazilian Journal of Applied Ichthyology*, 25: 362-364p.
- NUÑER, A. P. O. & ZANIBONI-FILHO, E. 2012. *Reservatório de Machadinho: peixes, pesca e tecnologias de criação*. Florianópolis, Editora da UFSC: 256p.
- ORLÓCI, L. & N. KENKEL. 1985. *Introduction to Data Analysis*. International Co-operative Publishing House, Fairland, Maryland. 340 p.
- ORLÓCI, L. 1978. *Multivariate Analysis in Vegetation Research*. 2. ed. Junk, The Hague. 451p.
- ORLÓCI, L. 1978. *Multivariate Analysis in Vegetation Research*. 2. ed. Junk, The Hague. 451p.
- ORLÓCI, L. 1991. Poorean approximation and fisherian inference in bioenvironmental analysis. *Advances in Ecology* 1: 65-71.
- ORLÓCI, L., N. KENKEL. 1985. *Introduction to Data Analysis*. International Co-operative Publishing House, Fairland, Maryland. 340 p.
- PAIM, E. S.; ORTIZ, L. S. 2006. *Hidrelétricas na bacia do rio Uruguai: Guia para ONG's e movimentos sociais*. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra Brasil. 80 pp.
- PENCZARK, T., A. A. AGOSTINHO, E. K. OKADA. 1994. Fish diversity and community structure in two small tributaries of the Paraná River, Paraná State, Brazil. *Hydrobiologia*, 294: 243-251.
- PETTS, G. E. 1980. Long-term consequences of upstream impoundment. *Environmental Conservation* v.7: 325-332.
- PICKETT, S.T.A.; WHITE, P.S. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press: New York; 472.
- PIELOU, E. C. 1984. *The Interpretation of Ecological Data: a Primer on Classification and Ordination*. New York, J. Wiley. 263 p.
- PILLAR, V.D. 1996. *Variações espaciais e temporais na vegetação; métodos analíticos*. Departamento de Botânica. Laboratório de Ecologia Quantitativa, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- PODANI, J. 1994. *Multivariate Data Analysis in Ecology and Systematics*. The Hague, SPB Academic Publishing. 316 p.
- POFF, N. L., ODEN, J. D., MERRITT, D. M., PEPIN, D.M. 2007. Homogenization of regional dynamics by dams and global biodiversity implications. *PNAS*, v 104, n14: 573.
- POORE, M. E. D. 1962. The method of successive approximation in descriptive ecology. *Advances in Ecological Research* 1: 35-68.

- RICKLEFS, R. E., SCHLUTER, D. (eds.). 1993. *Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives*. University of Chicago. 414 pp.
- SANDERS, H. L. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *American Naturalist* 102: 243-282.
- SANTOS, dos P. C., SANTANA de, A. C., BARROS de, P. L. C., QUEIROZ, J. C. B., VIEIRA, T. de OLIVEIRA, 2011. O emprego da geoestatística na determinação do tamanho “ótimo” de amostras aleatórias com vistas à obtenção de estimativas dos volumes dos fustes de espécies florestais em Paragominas, Estado do Pará. *Acta Amazonica*, 41(2): 213-222.
- SANTOS, G. M. 1995. Impactos da hidrelétrica Samuel sobre as comunidades de peixes do Rio Jamari (Rondônia, Brasil). *Acta Amazonica*, 25: 247-280.
- SCBD - Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2005. *Handbook of the Convention on Biological Diversity Including its Cartagena Protocol on Biosafety*, 3rd ed., Montreal, UNEP. 1533p.
- SDM (SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE). 1997. *Bacias Hidrográficas de Santa Catarina: diagnóstico geral*. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina.
- TEIXEIRA, L., S.T. BENNEMANN. 2007. Ecomorfologia refletindo a dieta dos peixes em um reservatório no sul do Brasil. *Biota Neotropica*, 7 (2): 67-76.
- THOMAZ, S. M., BINI, L. M., ALBERTI, S. M. 1997. Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO, A. A. e GOMES, L. C. *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá, EDUEM, 378p.
- TROLL, C. 1939. Luftboldplan und ökologische bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde der Berlin*, pp. 241-298.
- Lord, J. M. & Norton, D. A. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Cons. Biol.*, 4:197-202.
- TUNDISI, J. G., T. MATSUMURA-TUNDISI and O. ROCHA. 1999. Theoretical basis for reservoir management, 505-508p. In: TUNDISI, J. G. and M. STRASKRABA (Eds.) *Theoretical Reservoir Ecology and its applications*. Leiden, Backhuys Publishers, 585p.
- VALENTIN, J. L. 2000. *Ecologia Numérica: uma introdução à análise multivariada*. Rio de Janeiro, Interciência, 118p.
- VILELLA, F. S. 2008. *A implantação de barramentos em sistemas fluviais: Ferramentas de planejamento e avaliação de impacto*. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 145p.
- WALTHER, G.-R. 2002. Weakening of climatic constraints with global warming and its consequences for evergreen broad-leaved species, *Folia Geobotanica*, 37:129-139.
- WEIS, M.L.C., I. M. K. BOSSERMEYER, M. L. S. BIER & H. O. LIPPOLD. 1983. *Inventário da fauna ictiológica do rio Ibicui-Mirim, RS*. *Ciencia & Natura*, 5: 135-152.
- WESTMAN, W. E. 1971. *Production, nutrient circulation, and vegetation-soil relations of the pygmy forest re-gion of northern California*. Ph.D. Thesis. Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
- WHITTAKER, R. H. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews* 42: 207-64.
- WHITTAKER, R. H.(ed.).1973. *Ordination and Classification*. Junk, The Hague. 737 p.
- WILDI, O. & L. ORLÓCI. 1987. Flexible gradient analysis: a note on ideas and example. *Coenoses* 2: 61-65.
- WILDI, O. & L. ORLÓCI. 1990. *Numerical Exploration of Community Patterns*. SPB Academic Publishing, The Hague. 124 p.
- ZANIBONI-FILHO, E. & U. H. SCHULZ. 2003. Migratory fishes of the Uruguay river. pp. 157-194. In: Carolsfeld J., B. Harvey, C. Ross & A. Baer (Eds.). *Migratory Fishes of the South America: Biology, Social Importance and Conservation Status*. Victoria, World Fisheries Trust, 372p.
- ZANIBONI-FILHO, E., A. P. O. NUÑER, D. A. REYNALTE-TATAJE, S. HERMES-SILVA & S. MEURER. 2008. Alterações espaciais e temporais da estrutura da comunidade de peixes em decorrência da implantação do reservatório de Itá (alto rio Uruguai). pp. 21-48. In: ZANIBONI-FILHO, E. & A. P. O. NUÑER (Eds.). *Reservatório de Itá. Estudos ambientais, desenvolvimento de tecnologias de cultivo e conservação da ictiofauna*. Florianópolis, Editora da UFSC.
- ZANIBONI-FILHO, E., S. MEURER, O. A. SHIBATTA & A. P. O. NUÑER. 2004. *Catálogo ilustrado de peixes do alto rio Uruguai*. Florianópolis, Editora da UFSC, 128p.

Anexo

Lista de espécies amostradas no período de 1995 a 2012 na região do alto rio Uruguai.

Nome científico	Nome científico
<i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	<i>Hypostomus regani</i>
<i>Ancistrus</i> sp.	<i>Hypostomus roseopunctatus</i>
<i>Ancistrus taunayi</i>	<i>Hypostomus ternetzi</i>
<i>Apareiodon affinis</i>	<i>Hypostomus uruguayensis</i>
<i>Aristichthys nobilis</i>	<i>Ictalurus punctatus</i>
<i>Astyanax</i> aff. <i>eigenmanniorum</i>	<i>Iheringichthys labrosus</i>
<i>Astyanax fasciatus</i>	<i>Leporinus amae</i>
<i>Astyanax</i> gr. <i>Scabripinnis</i>	<i>Leporinus macrocephalus</i>
<i>Astyanax jacuhiensis</i>	<i>Leporinus obtusidens</i>
<i>Astyanax</i> sp.	<i>Leporinus striatus</i>
<i>Auchenipterus</i> sp.	<i>Loricariichthys anus</i>
<i>Brycon orbignyianus</i>	<i>Loricariichthys</i> sp. m
<i>Bryconamericus iheringii</i>	<i>Luciopimelodus pati</i>
<i>Bryconamericus stramineus</i>	<i>Megalonema platanus</i>
<i>Bunocephalus doriae</i>	<i>Microglanis eurystoma</i>
<i>Callichthys callichthys</i>	<i>Odontesthes aff. perugiae</i>
<i>Cetopsis gobioides</i>	<i>Odontostilbe</i> sp.
<i>Cf. Rhinelepis</i>	<i>Oligosarcus brevioris</i>
<i>Characidium</i> cf. <i>zebra</i>	<i>Oligosarcus</i> cf. <i>jenynsii</i>
<i>Characidium serrano</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>
<i>Charax leticiae</i>	<i>Pachyurus bonariensis</i>
<i>Cichlasoma</i> aff. <i>facetum</i>	<i>Paraloricaria vetula</i>
<i>Clarias gariepinus</i>	<i>Parapimelodus valenciennis</i>
<i>Cnesterodon</i> sp.	<i>Parauchenipterus ceratophysis</i>
<i>Corydoras paleatus</i>	<i>Parauchenipterus galeatus</i>
<i>Crenicichla celidochilus</i>	<i>Parauchenipterus teaguei</i>
<i>Crenicichla igara</i>	<i>Phalloceros caudimaculatus</i>
<i>Crenicichla jurubi</i>	<i>Piaractus mesopotamicus</i>
<i>Crenicichla lepdota</i>	<i>Pimelodella</i> sp.
<i>Crenicichla minuano</i>	<i>Pimelodus absconditus</i>
<i>Crenicichla missioneira</i>	<i>Pimelodus atrobrunneus</i>
<i>Crenicichla tendybaguassu</i>	<i>Pimelodus maculatus</i>
<i>Crenicichla vittata</i>	<i>Poecilia reticulata</i>
<i>Ctenopharingodon idella</i>	<i>Porotergus ellisi</i>
<i>Cynopotamus kincaidi</i>	<i>Prochilodus lineatus</i>
<i>Cyphocharax</i> sp.	<i>Pseudopimelodus mangurus</i>
<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Pygocentrus nattereri</i>
<i>Eigenmannia virescens</i>	<i>Rhambdella longiuscula</i>
<i>Galeocharax humeralis</i>	<i>Rhamdia quelen</i>
<i>Geophagus brasiliensis</i>	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>
<i>Gymnogeophagus gymno-genys</i>	<i>Rineloricaria</i> sp.
<i>Gymnogeophagus meridionalis</i>	<i>Roeboides</i> sp.
<i>Gymnogeophagus rhabdotus</i>	<i>Salminus brasiliensis</i>
<i>Gymnotus carapo</i>	<i>Schizodon</i> aff. <i>nasutus</i>
<i>Hemiancistrus</i> sp.	<i>Serrasalmus maculatus</i>
<i>Hemipsilichthys</i> sp.	<i>Sorubim lima</i>
<i>Hoplias lacerdae</i>	<i>Steindachmeridion scriptum</i>
<i>Hoplias malabaricus</i>	<i>Steindachnerina biornata</i>
<i>Hyphessobrycon</i> sp.	<i>Steindachnerina brevipinna</i>
<i>Hypostomus commersoni</i>	<i>Sternacorhamphus hahni</i>
<i>Hypostomus isbrueckeri</i>	<i>Synbranchus marmoratus</i>
<i>Hypostomus luteus</i>	<i>Tatia neivai</i>