

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

**COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES DE PEQUENOS
RIACHOS AFLUENTES DO LAGO AJURUXI, MAZAGÃO-AP, BRASIL**

RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR

Manaus, Amazonas

Agosto, 2013

RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR

**COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES DE PEQUENOS
RIACHOS AFLUENTES DO LAGO AJURUXI, MAZAGÃO-AP, BRASIL**

DR. WILLIAM E. MAGNUSSON

Orientador

DR. JANSEN A. S. ZUANON

Coorientador

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia (Ecologia).

Manaus, Amazonas

Agosto, 2013

M538 Mendes Júnior, Raimundo Nonato Gomes

Composição e estrutura das assembleias de peixes de pequenos riachos afluentes do lago Ajuruxi, Mazagão-AP, Brasil / Raimundo Nonato Gomes Mendes Júnior. --- Manaus : [s.n], 2013.
x, 38 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2013.

Orientador : William Ernest Magnusson.

Coorientador : Jansen Alfredo Sampaio Zuanon.

Área de concentração : Ecologia.

1. Comunidades - Peixes. 2. Lagos - Peixes. 3. Riacho - Peixes. I.
Título.

CDD 19. ed. 597.0929

Sinopse:

Foram investigadas as diferenças na composição e na estrutura das assembleias de peixes de pequenos riachos relacionadas com a fitofisionomia na bacia hidrográfica do rio Ajuruxi. A relação das variáveis ambientais com a ocorrência, riqueza e abundância dos peixes também foi avaliada.

Palavras-chave: Peixes, Assembleias, Pequenos riachos, Fitofisionomia,

Temperatura da água

Aos meus pais e exemplos de vida,
Conceição Freitas e Nonato Mendes (*in
memorian*), pelo amor incondicional;
À minha esposa Carolina Gomes e
à minha pequena Isabela Mendes, pela
tolerância nos momentos de ausência e
por trazerem cor e vida aos meus dias
cinzentos!

Banca examinadora do trabalho escrito

Dra. Lilian Casatti (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho)

Aprovado

Dr. Fabrício Barreto Teresa (Universidade Estadual de Goiás)

Aprovado com correções

Dr. Kirk O. Winemiller (Texas A & M University, Texas)

Necessita de revisão

Banca examinadora da defesa oral pública

Dra. Cintia Cornelius Frische (Universidade Federal do Amazonas)

Aprovado

Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas (Universidade Federal do Amazonas)

Aprovado

Dr. Efrem Jorge Gondim Ferreira (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia)

Aprovado

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi o resultado da junção do apoio intelectual, financeiro, logístico e emocional de uma miríade de pessoas e instituições. Agradeço a Deus por me fortalecer nos momentos de angústia durante todas as fases do trabalho. Aos meus pais Maria da Conceição de Freitas Mendes e Raimundo Nonato Gomes Mendes (*in memorian*) pelo amor e dedicação à minha formação de caráter e intelectual. A minha esposa Carolina Gomes de Souza e a minha filha Isabela Souza de Freitas Mendes pelo apoio, por me permitirem a sua companhia e a me tornar uma pessoa melhor, além de agradecer pela paciência durante os momentos de ausência durante o mestrado. A minha vó Inês Gomes (*in memorian*), a tia Suely Araújo e o tio Nonato Barbosa pelo incentivo constante aos meus estudos e as minhas pesquisas. À tia Adriana, Djair e ao primo Hudson Alan pelo apoio à pesquisa. Aos meus irmãos Lucas e Paulo pela paciência durante todo esse período de ausência devida ao trabalho. A todos os meus familiares, que de alguma maneira colaboraram para o êxito deste estudo, em especial ao meu primo-irmão Willian de Freitas Martins (*in memorian*), trágicamente retirado de nosso convívio durante a elaboração do trabalho. Aos meus sogros Nazaré e Benedito Souza pelo apoio durante a realização do mestrado. Ao cunhado Diego Souza e sua esposa Rosana Roque pela ajuda durante a triagem dos animais.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade pela concessão do afastamento para capacitação de longa duração, e pelo financiamento da expedição piloto. Aos amigos da equipe da RESEX Cajari (Francisco Edemburgo, Cristiane Góis e Juliana Giacometti) pela paciência, cessão do combustível, veículos, embarcações e piloto de embarcação. A Patrícia Pinha, Iranildo Coutinho e Eduardo Marques (REBIO Piratuba) pela amizade e extrema compreensão diante da solicitação do motorista. Aos amigos da equipe da FLONA do Amapá, Erico Kauano e Sueli Pontes pela cessão de veículos utilizados nas expedições. Ao Sr. Francisco Negreiros pela gentileza de liberação da embarcação. Ao Sr. Carlos Silva pela amizade e transporte aos locais de desembarque. Aos amigos Ronaldo Araújo, Aldebaro Amoras e ao Wilson Torres que conduziram as equipes aos locais de coleta, atuaram como fotógrafos “oficiais” das expedições e proporcionaram boas risadas, mesmo nas situações mais complicadas. Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, em especial aos professores do Programa de Pós-graduação em Ecologia, por fornecerem o conhecimento necessário para elaboração e execução do projeto de pesquisa. Aos meus orientadores William “Bill” Magnusson e Jansen Zuanon pela amizade, pelo conhecimento ecológico repassado e, acima de tudo, pela paciência durante os meus momentos de agoniação e falta de fé. À Dra.

Claudia Keller pelo apoio constante diante da impossibilidade de participar do curso em outras ocasiões. A Rosirene pelo apoio nas questões burocráticas. Ao Dr. Tim Moulton e aos dois avaliadores anônimos do meu Plano de Mestrado, aos membros da banca da aula de qualificação Dr. Efrem Ferreira, Dra. Cláudia de Deus e Dr. Geraldo Mendes, aos avaliadores da primeira versão do manuscrito Dra. Lilian Casatti, Dr. Fabrício Teresa e Dr. Kirk O. Winemiller, e aos membros da banca de defesa presencial Dr. Carlos Edwar, Dr. Efrem Ferreira e a Dra. Cintia Cornelius pelos apontamentos valiosos, e pela gentileza durante o processo de avaliação do meu trabalho. Aos meus amigos da turma de mestrado em Ecologia 2011 pelos bons momentos, mesmo nas “Pirambas” da Reserva Ducke ou na reserva do PDBFF. Ao Sr. Jonas e Dona Rosemira Rocha pela amizade e acolhida durante a minha estada em Manaus. Aos amigos Tati Andreza, Beto, Isai Jorge, David Valentim, André Gonçalves, Lorena, Eliz e Rafa Leitão pelo apoio. Aos amigos Helder, Marla e Tiago por repassarem as técnicas de campo do Projeto Igarapés. Aos amigos Cláudia Funi e Zé Maria pela elaboração dos mapas do Projeto de Mestrado. Ao Projeto Florestam, em especial ao Dr. Marcelino Guedes, pelo pagamento de diárias do piloto de embarcação. O Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) e o Instituto Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Biodiversidade Amazônica (INCT-CENBAM) providenciaram apoio em vários momentos, principalmente pela cordialidade e atuação extremamente eficiente da técnica Andresa Mello. A Universidade Federal do Amapá pela cessão do grande amigo e biólogo do Curso de Ciências Huann Vasconcelos e a amiga e professora do Curso de Ciências Ambientais Alzira Dutra. Ao amigo Prof. Dr. Júlio Sá Oliveira pelos ensinamentos durante a graduação e pela liberação da acadêmica Thays Sanches, que foi fundamental na coleta dos peixes. Ao amigo Prof. Dr. Alan Cunha pela cessão de equipamentos e estagiários, e cessão dos acadêmicos Larissa Pinheiro, Keyla Cambraia, Débora Isacksson e Elizângela Carvalho, que foram decisivos para aquisição dos dados de qualidade da água. À Sra. Iracema Dutra pelo apoio na coleta de dados limnológicos. A Universidade Estadual do Amapá pela cessão do discente Osiel Amoras e à Escola de Pesca do Amapá pela cessão do técnico em piscicultura Malaquias Mendes, ambos extremamente atuantes na coleta de dados ambientais e dos peixes. Aos amigos Zé Saraiva, Valdirlei e Breno pela revisão do manuscrito. Aos moradores do lago Ajuruxi pela amizade e o apoio, sem os quais não haveria pesquisa: Rildo, Bena, Dona Socorro, Benedita, Luiz, Dona Sabá, Romário, Tiago, Jatobá, Regilina, Nego, Clóvis, Mayane, Nayane, Jorel, Natalina e Samara Freitas. Aos extrativistas do lago Ajuruxi pela acolhida, amizade e pelas partidas de futebol do final da tarde. Muito obrigado a todos!

RESUMO

Características estruturais e limnológicas de pequenos riachos são fortemente influenciadas pelo ambiente de entorno, e afetam direta e indiretamente a fauna local. Por isso, é provável que diferentes fitofisionomias afetem as características ambientais e ictiofaunísticas de riachos de cabeceira na Amazônia, alterando a estrutura e composição das assembleias de peixes. A presente dissertação teve por objetivo determinar: 1) se há diferenças nas assembleias de peixes de riachos em áreas de floresta e savana amazônica de uma mesma bacia hidrográfica no Estado do Amapá, e 2) como essas assembleias estão relacionadas com a fitofisionomia e as características ambientais locais dos riachos. Foram amostrados 12 riachos em áreas de floresta contínua, quatro na savana amazônica e quatro em manchas de floresta na savana. Uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada para ordenar as variáveis ambientais (temperatura da água, profundidade média, presença de pedras no substrato e cobertura vegetal). As assembleias de peixes foram ordenadas com uso de Escalonamento Multidimensional não-Métrico (nMDS), com base em matriz de dissimilaridade de Sørensen para os dados de presença-ausência e de Bray-Curtis para número de indivíduos. As relações entre composição e estrutura das assembleias de peixes e as variáveis ambientais foram testadas por meio da Análise de Variância, Regressão Múltipla e Análise de Covariância. A estrutura das assembleias de peixes foi relacionada principalmente com o tamanho dos riachos; os riachos de savana apresentaram uma quantidade menor de indivíduos e espécies. A composição das assembleias de peixes diferiu entre os riachos nas diferentes fitofisionomias, com duas espécies exclusivas dos riachos de savana, o que indica a importância da conservação do mosaico de fitofisionomias para a diversidade regional de peixes de riachos. A cobertura vegetal e a composição do substrato foram relacionadas com a composição das assembleias de peixes, mas a variável mais relacionada foi a temperatura da água. Isto indica que alterações na temperatura ambiente decorrentes do uso intensivo da terra, bem como as alterações climáticas resultantes do aquecimento global em curso, podem afetar os ambientes de riachos na Amazônia e resultar em mudanças na composição das assembleias de peixes, com risco de extinção de espécies.

Palavras-chave: Comunidades, peixes, água doce, riachos, mudanças climáticas

ABSTRACT

Composition and structure of small-stream fish assemblages in tributaries of Ajuruxi lake, Mazagão-AP

Surrounding terrestrial areas strongly affect the structural and limnological characteristics of small streams, directly and indirectly affecting the aquatic fauna. Thus, it is likely that different vegetation types affect the environmental characteristics and fish assemblages in headwater streams of the Amazon. This study aimed to determine 1) whether there are differences in the fish assemblages of streams in areas of the Amazon forest and savanna in the same river basin in Amapá State, and 2) how these assemblages are related to vegetation type and local environmental features of streams. We sampled 12 streams in areas of continuous forest, four in Amazonian savanna and four in forest patches in savanna. A Principal Component Analysis (PCA) was used to ordinate the environmental variables (water temperature, average depth, presence of stones in the substrate and vegetation cover). The fish assemblages were ordinated by Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) based on a Sørensen dissimilarity matrix for presence-absence data, and a Bray-Curtis dissimilarity matrix for number of individuals. Relationships between composition and structure of the fish assemblages and environmental variables were tested by Analysis of Variance, Multiple Regression and Analysis of Covariance. The structure of the fish assemblages was mainly related to the size of the streams, and streams in savanna had fewer individuals and species. The composition of the fish assemblages differed between streams in different vegetation types, with two species unique to savanna streams, indicating the importance of conservation of the vegetation mosaic for the regional diversity of stream fish. The composition of the fish assemblages was related to vegetation and substrate, but the variable most associated with the fish-assemblage structure was water temperature. This indicates that changes in environmental temperature resulting from intensive land use and climate change resulting from global warming will affect the environmental characteristics of streams in the Amazon and result in changes in the composition of fish assemblages, with the risk of species extinction.

Keywords: Community, fish, freshwater, streams, climate change.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	1
HIPÓTESES	2
OBJETIVO.....	2
ARTIGO	3
TITLE PAGE	4
SUMMARY	5
INTRODUCTION	6
METHODS	8
RESULTS	11
DISCUSSION	13
ACKNOWLEDGEMENT	16
REFERENCES	17
TABLES	21
FIGURE LEGENDS	22
ILLUSTRATIONS	23
SUPPORTING INFORMATION	29
CONCLUSÕES	33
APÊNDICES	34

APRESENTAÇÃO

Os estudos de assembleias de peixes de riachos da Amazônia foram realizados em escalas espaciais que variaram desde as diferenças de microhabitats associadas a estratificação da coluna d'água e tipos de substrato (Silva, C. P. D. 1993; Sabino e Zuanon, 1998), até diferenças entre bacias hidrográficas, e a sua associação com características da qualidade da água e da estrutura dos riachos (Mendonça, Magnusson e Zuanon, 2005). Foram realizados poucos estudos comparando áreas de floresta prístina e áreas com diferentes graus de degradação (Bojsen e Barriga, 2002; Dias, Magnusson e Zuanon, 2009), mas estes todos mostraram relações entre a supressão da floresta que margeia os riachos e as assembleias de peixes. A principal fitofisionomia da Amazônia é a floresta tropical, mas a região tem muitas outras associações vegetais, incluindo manchas de áreas campestres denominadas savanas amazônicas (Sanaiotti, Bridgewater e Ratter, 1997). A maioria dos estudos realizados com assembleias de peixes em riachos da Amazônia ocorreu em áreas de floresta da Amazônia Central, embora as manchas de savana amazônica também sejam drenadas por pequenos riachos. As condições ambientais homogêneas nos riachos de floresta dificultam a detecção da influência de variáveis ambientais importantes em outros ecossistemas de água doce, como a temperatura da água, além de inviabilizar a determinação da importância de outros tipos de vegetação para a diversidade de peixes da Amazônia. O presente artigo irá mostrar como as composições e estrutura das assembleias de peixes em riachos de cabeceira da Amazônia variam entre florestas e savanas, além de determinar quais características ambientais são importantes para a distribuição das espécies de peixes em pequenos riachos. O estudo foi realizado em riachos de cabeceira tributários de um “ria-lake” no Sul do Estado do Amapá, em áreas de floresta contínua, manchas de floresta na matriz de savana e na savana. A presente pesquisa científica fez parte do esforço dos pesquisadores do Projeto Igarapés (<http://www.igarapes.bio.br>) em compreender a estrutura e o funcionamento dos pequenos riachos da Amazônia.

HIPÓTESES

I – Há diferenças na composição e na estrutura das assembleias de peixes em pequenos riachos em função das características fitofisionômicas da área de entorno.

II – A estrutura e composição das assembleias de peixes apresentam forte relação com as variáveis locais relacionadas com as diferenças na fitofisionomia, como a temperatura da água e o tipo de substrato.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Determinar se existem diferenças na composição da assembleia de peixes em riachos de savana e floresta, afluentes do lago Ajuruxi (Amapá), e avaliar como as características dos riachos influenciam as assembleias de peixes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o grau de similaridade entre a composição da assembleia de peixes de riachos de floresta e de savana, afluentes do lago Ajuruxi;
- Determinar como as características físico-químicas dos riachos estão relacionadas com a estrutura das assembleias de peixes de riachos de floresta e de savana, afluentes do lago Ajuruxi.

Capítulo I

Mendes-Júnior, R. N. G., Magnusson, W. E. & Zuanon, J. 2013. Temperature as a key factor affecting the distribution of fish in Amazonian streams in forest and savanna. Formatado para submissão na revista *Freshwater Biology*.

TEMPERATURE AS A KEY FACTOR AFFECTING THE DISTRIBUTION OF FISH IN AMAZONIAN STREAMS IN FOREST AND SAVANNA

RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES-JÚNIOR^{1,2}, WILLIAM ERNEST MAGNUSSON³ & JANSEN ALFREDO SAMPAIO ZUANON³

¹ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Macapá, AP, Brazil.

² Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brazil.

³ Coordenação de Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brazil.

Corresponding author: Raimundo Nonato Gomes Mendes Júnior, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), av. Leopoldo Machado, 1126, bairro Central, CEP: 68.900-067, Macapá, AP, Brazil. E-mail: eelectricus@yahoo.com.br.

Short title for the pages of the manuscript: Stream fish assemblages in Amazonian savanna and forest areas.

Keywords: Community, fish, freshwater, streams, climate change.

SUMMARY

1. We investigated the influence of vegetation structure on the composition and structure of fish assemblages of small streams in old-growth areas of Amazonian forest and savanna in the same river basin. We also investigated whether environmental characteristics of the streams are related to tree cover, and whether these affect fish assemblages.
2. Tree cover was strongly related to local species richness, but was weakly related to abundance of the fish. Savanna streams were poorer in number of species and abundance than streams in forest patches within savannas and streams in continuous forests.
3. Water temperature in the stream was directly related to tree cover, and it was strongly related to the distribution of fish in the small streams. Two species (an undescribed species of *Rivulus* and *Pyrrhulina* aff. *zigzag*) were recorded only in streams with warmer water located in savannas and forest patches within the savanna matrix.
4. A strong correlation between water temperature and species composition in the streams suggests that alterations caused by deforestation or global climate change will affect the composition of fish assemblages in small streams in the Amazon. However, it is not possible to determine whether an increase in temperature will cause the extinction of the fish species that are currently restricted to savannas, or whether these species will move to forest streams in search of temperatures within their tolerance range.

Introduction

Small streams are strongly associated with their surrounding environment (Vannote *et al.*, 1980), and there are rapid changes in environmental conditions and in the fish assemblage in response to natural or human disturbance to stream margins (Resh *et al.*, 1988). The relationships between fish assemblages of small streams and tree cover and geomorphology has been well documented (Angermeier & Karr, 1984; Jackson, Peres-Neto & Olden, 2001; Teresa & Romero, 2010). Surrounding environments influence water quality, habitat structure, and temporal stability of small streams (Suguió & Bigarella, 1990; Casatti, Ferreira & Carvalho, 2009; Espírito-Santo, Magnusson & Zuanon, 2009), as well as species composition and abundance of fish (Teresa & Romero, 2010). The relationships between environmental variables and the fish assemblages vary across spatial scales (Poff, 1997). In addition to the influence of local environmental characteristics on fish assemblages, historical factors, such as isolation or river capture by drainage basins, affect the regional ichthyofauna (Poff, 1997).

Riparian vegetation is important for small stream fish in the Amazon, because it provides food and shelter for several species (i.e. Knopel, 1970; Sabino & Zuanon, 1998). However, most ecological studies in streams in the Amazon were carried out in areas of dense tropical forests of Central Amazonia (Knopel, 1970; Silva, 1993; Sabino & Zuanon, 1998; Mendonça, *et al.*, 2005; Dias, Magnusson & Zuanon, 2009). Temperature and dissolved-oxygen concentration are relatively constant in forest streams and have little effect on the structure of fish assemblages in old-growth forests. In those streams, the most important influences on fish assemblages are conductivity and acidity (Mendonça *et al.*, 2005). Temperature is an important determinant of fish distributions in temperate areas (Moyle & Cech, 2004). Nevertheless, its importance to tropical fish assemblages has not been properly evaluated since most studies were conducted in regions with a low range of temperature variation (Sabino & Zuanon, 1998; Bojsen & Barriga, 2002; Mendonça *et al.*, 2005; Espírito-Santo *et al.*, 2009). Although the main phytogeography of the Amazon is tropical rainforest, the region contains various other natural types of vegetation, including patches of grassland, known as Amazonian savannas (Sanaiotti, Bridgewater & Ratter, 1997). Light incidence is probably higher in savanna streams, which could lead to higher water temperature than found in forest streams. The streams located in areas of southeastern Amazonia which were

converted into cattle pasture and soybeans fields showed an increase in temperature of about 4°C compared to areas with riparian vegetation, largely due to the number of impoundments and the removal of the riparian forest cover (Macedo *et al.*, 2013). Changes in the landscape, resulting from different forms of land use, are cited as the main threat to fish assemblages (Schlosser, 1991), but Amazonian stream fish may be exposed to other threats, such as global climate change, which will probably result in reduction in water volume (Xenopoulos *et al.*, 2005) or in the conversion of forests into open vegetation, such as grasslands and savannas. The “savannization of the Amazon” hypothesis predicts conversion of Amazonian forests into savanna as a consequence of global warming (Salazar *et al.*, 2007; Fearnside, 2009). The prehistorical savannization of Amazonian forests has already been documented by Rull (2006), who related the formation of savannas in Venezuela during the Pleistocene-Holocene transition to global warming in that period. The warming of headwater streams may lead to the extinction of species associated with waters with low temperature, and may allow the colonization of small streams by species of larger and warmer streams (Buisson *et al.*, 2008). It is also likely that savannization will affect the fish assemblages of forest streams through habitat simplification, due to the reduction of terrestrial inputs, such as those that result in litter banks.

Amazonian savannas occur in the state of Amapá, far northern Brazil (Magnanini, 1952; Sanaiotti, Bridgewater & Ratter, 1997; Silva, Takyama & Silva, 2006), where the limnological characteristics and ichthyofauna of small streams are poorly known. The possibility of savannization of forests in the Amazon and the strong relationship between riparian vegetation and fish assemblages makes it imperative to understand the factors regulating fish assemblages of small streams covered by these phytophysiognomies.

Therefore, the objective of the present study was to test for differences in the fish assemblages between streams located in Amazonian forests and savannas, within the same river basin in order to assess how the phytophysiognomy and local environmental characteristics affect the fish assemblage. We hypothesized that the differences in vegetation type are reflected in the composition and structure of fish assemblages, mainly due to the influence of environmental characteristics directly related to plant cover, such as water temperature and substrate type.

Methods

Study area

We carried out the present study in small tributaries of Ajuruxi Lake (Mazagão Municipality, Amapá, northern Brazil), which are within the Cajari River Extractive Reserve (RESEX-CA) and the Agroextractivist Settlement Project on the Maracá River (PAS-Maracá) (0.504469°S, 51.782767°W). The whole area is drained by the Ajuruxi River, a tributary on the left bank of the Amazon River (Fig. 1). The predominant vegetation types in the region are dense rainforest, Amazonian savanna, and lowland flooded forest (*várzea*) (Silva *et al.*, 2006). These small streams drain three types of physiognomy: continuous forests, forest patches within savanna, and Amazonian savannas.

→Figure 1

Data collection

The sampling units consisted of 50-m stretches of 1st and 2nd order streams, all of which were tributaries of the Ajuruxi Lake. We classified the order of the streams following Horton's scale modified by Strahler (Petts, 1994), and sampled each stretch only once during the study period (from June to November 2013). We determined the potential sampling units using a grid (1-km resolution) overlaid on a map of the Ajuruxi River and its tributaries, which is a modification of the RAPELD system (Costa & Magnusson, 2010). We mapped the 1st and 2nd order streams that crossed the grid lines and classified them according to tree cover surrounding each sampling unit: streams of continuous forests (C), forest patches within savannas (P), and savannas (S). The continuous-forest area is characterized by dense vegetation and absence of fragmentation, with few areas cleared by residents of RESEX-CA for planting Cassava *Manihot* spp., used in the production and marketing of manioc meal. The savanna area has two distinct types of vegetation: patches of forest and Amazonian savanna. The natural patches of forest are variable in size and occur within a savanna matrix. The Amazonian-savanna area consists of natural grassland and shrubs, with clusters of Buriti palm trees *Mauritia flexuosa* bordering the channels of streams. Fires set by local people occur in

the grasslands during the dry season, which runs from June to November. Based on information about site accessibility, we selected 12 streams in continuous forests, four in forest patches within savannas, and four without riparian forest in savannas.

The structural and limnological characteristics of each stream were measured following a modified version of the protocol given by Mendonça *et al.*, (2005). We measured channel mean width (m), mean depth (m), maximum depth (m), mean discharge (m³/s), and type of substrate at four equidistant points within each of the 20 sample units (one per stream). We classified the substrate into rocks, coarse litter (leaves and twigs), fine litter (fine particulate material), sand, roots (roots of the riparian forest), fine roots (entangled roots of diameter < 5 mm, trunk (branches with diameter over 10 cm), clay, and aquatic plants. We estimated the canopy cover of the riparian forest over the channel of each stream, based on the analysis of photos taken at the four sampling positions, with Adobe Photoshop CS6 Extended. We converted the photographs into monochromatic images and calculated the proportion (%) of illuminated areas (white) and areas shaded by the vegetation (black) (Mendonça *et al.*, 2005). We measured physicochemical variables related to water quality, such as dissolved oxygen (mg/l), water temperature (°C), conductivity (µS), acidity (pH), and total dissolved solids (TDS), with a digital multiparameter probe (YSI 556 MPS). Water transparency was measured following Bales *et al.* (1998), using a transparent 3 cm diameter, 100 cm high graduated plastic tube that had an opening at the top and a small Secchi disk at the bottom. In each of the four sampling sites in each stream, we filled the tube with water and emptied it slowly through an orifice at its base, until we could see the Secchi disk through the upper opening and measured the water column remaining in the tube (cm).

We collected fish following Mendonça *et al.* (2005) by active collection with seine nets, dip nets, and sieves. We standardized the sampling effort with three collectors sampling each 50-m stretch for two hours, or until no fish was observed during 10 minutes of search. To prevent the fish from escaping, we blocked the extremities of each stretch with nets (5 mm stretched mesh). We maintained the specimens in plastic bags with water from the stream until processing. One specimen of each species was photographed alive in an aquarium. Fish were killed with a lethal dose of anesthetic eugenol (clove oil), and fixed in formalin 4% for 72 h, then washed and conserved in alcohol 70% until sorting and identification. For better fixation, we injected formalin in the intestinal cavity of specimens larger than 15 cm. We used dichotomous keys, the literature, and consulted specialists from INPA to identify the fish. Fish specimens will be deposited in the INPA fish collection.

Data analysis

We used data on species presence/absence (qualitative) or species abundance (quantitative) to construct an ordination of the sampling units using nonmetric multidimensional scaling (NMDS). NMDS reduces the dimensionality of the data, thus highlighting the strongest pattern of similarity in species composition between sampling sites. We based the ordination on dissimilarity matrices using the Sørensen index for qualitative data and the Bray-Curtis index for quantitative data. Abundance values were previously transformed by dividing them by the total for each sampling unit. The relationship between original distances and distances in one or two dimensions (see Appendix S1 in Supporting Information) explained similar percentages of the variance for both qualitative (one dimension: $r^2 = 0.80$; two dimensions: $r^2 = 0.91$) and quantitative data (one dimension: $r^2 = 0.75$; two dimensions: $r^2 = 0.95$). Due to the small difference observed between the variance explained, we used only the result of the analysis with one dimension (NMDS) to investigate the relationship between environmental variables and species composition. The ordination in two dimensions was used only to illustrate the differences in fish assemblages between phytophysiognomies.

Covariation among predictor variables was investigated with a principal component analysis (PCA; Table S1). Based on the value of the loadings on the three first PCA axes, we chose three continuous variables to represent each of the axes: water temperature (water quality, PCA 1), mean depth (size, PCA 2) and the proportion of rocks in substrate (substrate type, PCA 3). Temperature and mean depth were the variables related to axis PCA 1 and PCA 2, respectively. The mean current velocity was the variable most related to PCA3, but it was correlated with the mean depth, and was represented in the model by the proportion of rocks in the substrate, the second variable more related to the third PCA axis. In addition to the three variables based on PCA, we included plant cover, which quantitatively represents the variation in vegetation types. To determine the relationship between environmental characteristics and fish assemblages we used multiple regression to continuous environmental variables, analysis of variance (ANOVA) for categorical environmental variables, and Analysis of Covariance (ANCOVA) for continuous and categorical environmental characteristics. We investigated whether the observed differences in presence-absence data and number of individuals was due to spatial distance or environmental characteristics by means of a partial Mantel test based on 999 permutations. All analyses were done in the R program (R Development Core Team, 2007).

Results

Environmental characteristics of streams

The streams differed in canopy cover, water quality, structure, and size (Table 1), but in all sample stations the water was acid, poor in ions, and transparent. Savanna streams had little canopy cover, and streams in continuous forests and forest patches were strongly shaded by riparian forest. The water in streams in continuous forest had lower temperature than savanna streams, and streams in forest patches had intermediate temperatures. Streams in forest patches had lower current velocity and dissolved oxygen. Savanna streams were narrower than streams in continuous forest, and streams in forest patches were intermediate in size (Table 1).

The substrate of continuous–forest streams was composed mainly of coarse and fine litter, sand, and fine roots, whereas streams in forest patches had rocky substrate, and savanna streams had predominantly clay substrate covered by layers of coarse litter and fine roots. Aquatic plants occurred in all savanna streams, but were infrequent in streams in continuous forests and forest patches (Table 1).

Fish assemblages

We collected 2,924 fish of six orders, 15 families, and 33 species (Table S2). We found differences (ANOVA, $F_{2,17} = 38.7$, $P < 0.05$) in the composition of fish assemblages between phytophysiognomies (Fig. 2a). Of the 33 species collected, ten (30.3%) were common to the three physiognomies, seven (21.1%) were collected only in forest streams, four (12.1%) only in streams in forest patches, and only one (3.0%) occurred exclusively in savanna streams. There were more fish with exclusive occurrence in streams of continuous forest and forest patches (eight species, 24.2%), than between streams of continuous forest and savanna (one species, 3.0%), and between streams of forest patches and savanna (two species, 6.0%).

→ Figure 2

There was no significant relationship (ANOVA, $F_{2,17} = 2.7$, $P = 0.09$) between phytophysiognomy and fish abundance in streams (Fig. 2b). Characiformes (55.5% of

specimens) and Cyprinodontiformes (25.44%) were the orders with the highest relative abundance in forest streams. These orders also predominated in savanna streams (58.95% and 36.84%, respectively), whereas Characiformes (84.78%) and Perciformes (7.87%) had more individuals collected in streams in forest patches (Tabela S2). *Hyphessobrycon amapaensis*, *Rivulus* sp.1, *Copella arnoldi*, and *Nannostomus marginatus* were the species with highest number of individuals collected, corresponding to 70.7% of the total, and occurred in most streams, independent of phytophysiognomy (Table S2).

Relationships between fish assemblages and environmental variables

Species composition was related to environmental characteristics of the streams (multiple regression, $F_{4,15} = 7.9$, $R^2 = 0.7$, $P < 0.05$). The nMDS axis of presence-absence data (PA) was related to water temperature (WT), occurrence of rocks in the substrate (RS), mean depth (MD), and canopy cover (CC) ($PA = -2.93 + 0.11*WT + 0.17*MD + 0.51*RS - 0.01*CC$). Water temperature and presence of rocks in the substrate were the variables with highest contributions to the model. Water temperature alone explained ca. 55% of the variation in the presence-absence nMDS axis (Figs. 3 and 4a). Temperature was significantly related to nMDS axis based on presence-absence data, independent of distance between sampling units (Partial Mantel Test, $r = 0.24$, $p < 0.05$). Some species were collected in only one or two stretches, hindering inferences about their occurrence patterns. However, some species occurred in several stretches, but were restricted to streams with similar characteristics. We collected the pelagic characid *Iguanodectes rachovi* only in forest streams with lower temperature, whereas *Rivulus* sp. 2 and *Pyrrhulina* aff. *zigzag* were only captured in streams with higher temperatures.

→ Figure 3

→ Figure 4

The number of fish species per stream stretch was related to phytophysiognomy (PP) and stream size (analysis of covariance, $F_{3,16} = 9.58$, $P < 0.05$), with 64% of the variance explained by differences in phytophysiognomy and average depth (Fig. 5). The number of fish (NF) captured was also related to stream size (SS), canopy cover (CC), substrate type (ST), and water temperature (WT) - ($NF = 2.56 - 0.07*WT - 1.24*SS - 0.54*ST - 0.01*CC$, $F_{4,15}$

= 7.1 , $r^2 = 0.6$, $P < 0.05$). Mean depth alone explained 43% of the variance in the ordination axis based on number of individuals per species (Fig. 4b). The mean depth was significantly related to nMDS axis based on quantitative data, independent of the distance between sample units (Partial Mantel Test, $r = 0.23$, $p < 0.05$). The characid *Hyphessobrycon amapaensis*, the lebiasinid *Copella nigrofasciata*, and the cichlid *Apistogramma* aff. *gossei* were more abundant in deep streams, whereas the rivulid *Rivulus* sp. 1 and the lebiasinid *Copella arnoldi* were more abundant in shallow streams (Figure 6).

→ Figure 5

→ Figure 6

Discussion

The present study shows that stream fish assemblage composition was strongly related to vegetation type, with water temperature as one the main environmental variable associated with the observed differences. As there are no physical barriers for fish dispersal between the streams in the different vegetation types sampled in the present study, which occur in the same river basin, the observed differences in species composition probably do not result from historical factors, such as proposed in relation to some adjacent river basins in the Ducke Reserve by Mendonça *et al.* (2005). The number of species and individuals collected was strongly related to stream size, as occurs in streams of other localities in the Amazon (Mendonça *et al.*, 2005; Anjos & Zuanon, 2007). However, there were fewer individuals and species in stretches of savanna streams than in streams of similar size in forests and forest patches. It is likely that the harsh environmental conditions in savanna streams limit the density of species and individuals. The low canopy cover by riparian vegetation makes savanna streams more exposed to direct sunlight, and other phenomena specific to savannas, such as seasonal fires. Two species were collected only in streams located in savannas and forest patches surrounded by savanna (6.1% of all species collected), despite the small number of sample units in savanna, indicating that the savannas may contribute to the fish diversity in the region, and studies should be undertaken in other savanna streams to determine whether there are other species restricted to them.

Variation in fish-assemblage composition was strongly related to variation in cover of rocky substrate, especially in savannas. Variation in substrate composition allows the occurrence of

species with different life histories and habitat use (e.g. Sabino & Zuanon, 1997; Sazima *et al.*, 2006; Zuanon *et al.*, 2006). Cichlids, such as *Crenicichla cf. hummelinkii*, deposit their eggs in the rocky crevices, and exhibit parental care. The rocky crevices are also used by sit-and-wait predators, such as *Hoplias malabaricus*. These results contrast with those of Mendonça *et al.* (2005) for continuous forest streams in Central Amazonia, where the substrate, which was covered principally by fine and coarse litter, contributed little to the differences in fish-species composition..

Although canopy cover and the substrate influenced the species composition, the environmental variable most associated with variation in species composition was water temperature. Water temperature of streams usually has little effect on the composition of the fish assemblages in headwater streams in the Amazon, and greater importance is generally attributed to pH and electrical conductivity (Mendonça *et al.*, 2005). However, this may be due to the small variation in temperature investigated in previous studies, which were all undertaken in continuous forest. Variation in distribution is probably not related to absolute physiological limitations of the fish, since the observed water-temperature range was typical for the Amazon River Basin (Val, Chippari Gomes & Lopes, 2006). Hence, we suggest that the differences in fish assemblage composition in the three vegetation types studied are related to the behavioral selection of habitats with more favorable temperatures. Ethological and physiological studies in controlled environments may help uncover the factors that regulate the occurrence of fish species in the small streams of the Amazon.

The composition at species level in the present study differed from that observed in streams of Central Amazon, but the mean species richness per stream was similar to that reported in previous studies in small Amazonian streams. Moreover, the genera recorded were the same as those observed in headwater streams in Central Amazonia (Mendonça *et al.*, 2005; Espirito-Santo *et al.*, 2009). Thus, the observed differences in species composition between streams in this study and the Central Amazon is probably largely due to the geographic distance between the regions and not environmental differences, as has been observed in a large-scale study in the Amazon (FP Mendonça, unpublished data).

Water temperature was a key factor in the distribution of fish species in small streams in the Ajuruxi River basin. The strong relationship between water temperature and species composition suggests that an increase in ambient temperature in the region, resulting from improper land use (Macedo *et al.*, 2013) or from global warming, may change the composition of fish assemblages in small Amazonian streams, as predicted by Buisson *et al.*

(2008) for streams in France. It is not possible to determine whether the predicted increase in global temperature in the next decades will result in an increase in water temperature in streams, and whether this increment in temperature will cause the extinction of species typical of continuous forest streams. Cowell *et al.* (2008) speculated that global warming will promote the movement of species associated with lowland tropical habitats to higher altitudes, and possible extinction of species with more restricted distributions. The Ajuruxi River Basin is located in an area with little altitudinal variation, but some species that currently live in savanna streams may move to forest streams if water temperatures become too high in the savanna. Also, fish species presently associated with small cold-water streams might be threatened with extinction if overall temperatures increase (Eaton & Scheller, 1996). While the exact form of change is uncertain, global warming will almost certainly affect the distributions of fish along the forest-savanna boundary, and long-term monitoring of the composition of the fish assemblages of streams under different vegetation types will be important to evaluate risks of biodiversity loss in aquatic systems of this largest rainforest area on the planet.

Acknowledgements

We thank the staff of the Cajari River RESEX, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, for providing us with vehicles, vessels, pilots, and drivers for field expeditions, as well as ICMBio for the research license (29.982). The Federal University of Amapá gave us logistic support, providing us with students and technicians for field expeditions. The Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) gave research grants to William Magnusson (304088/2011-0) and Jansen Zuanon (307464/2009-1), as well as funding their projects in past years. The residents of Ajuruxi provided us with logistic support during the expeditions. Maria da Conceição de Freitas Mendes, Sueli Maria Mendes Araújo, Nazaré and Benedito Souza gave logistic and financial support to the fieldwork. The Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) and The Center for Amazonian Biodiversity Research (CENBAM) maintained the data repositories used in this study. The manuscript was greatly improved by the contributions of the MSc. Thesis referees L. Casatti, K.O. Winemiller, and F. Teresa.

References

- Almeida-Val, V. M. F., Chippari-Gomes, A. R. & Lopes, N. P. (2006) Metabolic and physiological adjustments to low oxygen and high temperature in fishes of the Amazon. In: *The physiology of tropical fishes* (Eds A. L. Val, V. M. F. Almeida-Val & D. J. Randall), pp. 443-500. Fish Physiology series, Vol. 21. Ed. INPA, Manaus, Amazonas, Brazil.
- Angermeier, P. L. & Karr, J. R. (1984) Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. In: *Evolutionary ecology of neotropical freshwater fishes* (Eds T. M. Zaret) pp. 39-57. The Hague, Netherlands.
- Anjos, M. B. & Zuanon, J. (2007) Sampling effort and fish species richness in small terra firme Forest streams of Central Amazonia, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, **55**, 45-52.
- Bales, R. C., Peters, C. J., Conklin, M. H. & Rosengreen, S. (1998) Assessing changes in Surface Water Quality over Time Using GLOBE Transparency and Dissolved Oxygen Data. GLOBE Annual Conference, Snowmass, Colorado, USA.
- Bojsen, B.H. & Barriga, R. (2002) Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshwater Biology*, **47**, 2246-2260.
- Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P. & Grenouillet, G. (2008) Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology*, **34**, 2232-2248.
- Casatti, L., Ferreira, C. P. & Carvalho, F. R. (2009) Grass-dominated stream sites exhibit low fish species diversity and dominance by guppies: an assessment of two tropical pasture river basins. *Hydrobiologia*, v. 632, p. 273-283.
- Costa, F. R. C. & Magnusson, W. E. (2010) The Need for Large-Scale, Integrated Studies of Biodiversity – the Experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Natureza & Conservação*, **8**, 3-12.

Cowell, R. K., Brehm G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C. & Longino, J. T. (2008) Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science*, **322**, 258-261.

Dias, M. S.; Magnusson, W. E. & Zuanon, J. (2009) Effects of reduced-impact logging on fish assemblages in Central Amazonia. *Conservation Biology*, **24**, 278-286.

Eaton, J. G. & Scheller, R. M. (1996) Effects of climate warming on fish thermal habitat in streams of the United States. *Limnology and Oceanography*, **41**, 1109-1115.

Espírito-Santo, H. M. V., Magnusson, W. E., Zuanon, J., Mendonça, F. P. & Landeiro, V. L. (2009) Seasonal variation in the composition of fish assemblages in small Amazonian Forest streams: evidence for predictable changes. *Freshwater Biology*, **54**, 536-548.

Fearnside, P. M. (2009) Global warming in Amazonia: Impacts and mitigation. *Acta Amazonica*, **39**, 1003-1012.

Ferreira, E., Zuanon, J., Forsberg, B., Goulding, M. & Briglia-Ferreira, S. R. (2007) *Rio Branco: Peixes, Ecologia e Conservação de Roraima*. Ed. INPA, Manaus, Amazonas, Brasil.

Jackson, D. A., Peres-Neto, P. R. & Olden, J. D. (2001) What controls who is where in freshwater fish communities – the roles of biotic, abiotic and spatial factors?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**, 157-170.

Knopel, H. A. (1970) Food of Central Amazonian Fishes. Contribution to the nutrient-ecology of amazonian rain-forest-streams. *Amazoniana*, **2**, 257-352.

Magnanini, A. (1952) As regiões naturais do Amapá: observações sobre fito e zoogeografia, geografia humana e geografia física. *Revista Brasileira de Geografia*, **14**, 243-304.

Macedo, N. M.; Coe, M. T.; DeFries, R.; Uriarte, M.; Brando, P.M.; Neill, C.; Walker, W. S. (2013) Land-use-driven stream warming in southeastern Amazonia. *PhilTrans R Soc B*, 368: 20120153, 1-9.

Mendonça, F. P.; Magnusson, W. E.; Zuanon, J. A. S. (2005) Relationships Between Habitat Characteristics and Fish Assemblages in Small Streams of Central Amazonia. *Copeia*, v. 2005, n. 4, p. 750-763.

Moyle, P. B. & Cech, J. J., Jr. (2004) *Fishes: an introduction to ichthyology*. Ed. Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Petts, G. E. (1994) Rivers: dynamic components of catchment ecosystems In: *The River Handbook* (Eds P. Calow & G. E. Petts), Vol. 2., Blackwell Scientific, Oxford, UK.

Poff, N. L. (1997) Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, **16**, 391-409.

Resh, V. H., Brown, A. V., Covich, A. P., Gurtz, M. E., Li, H. W., Minshall, G. W., Reice, S. R., Sheldon, A. L., Wallace, J. B. & Wissmar, R. C. (1988) The Role of Disturbance in Stream Ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**, 433-455.

Rull, V. (2006) Holocene global warming and the origin of the Neotropical Gran Sabana in the Venezuelan Guayana. *Journal of Biogeography*, **34**, 278-288.

Sabino, J. & Zuanon, Z. (1998) A stream fish assemblage in Central Amazonia: distribution, activity patterns and feeding behavior. *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, **8**, 201-210.

Salazar, L. F., Nobre, C. A. & Oyama, M.D. (2007) Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, **34**, L09708 .

Sanaiotti, T. M., Bridgewater, S & Ratter, J. A. (1997) A floristic study of the savannah vegetation of the State of Amapá, Brazil, and suggestions for its conservation. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica*, **13**, 3-21.

- Sazima, I, Carvalho, L. N., Mendonça, F. P. & Zuanon, J. (2006) Fallen leaves on the water-bed: diurnal camouflage of three night active fish species in an Amazonian streamlet. *Neotropical Ichthyology*, **4**, 119-122.
- Schlosser, I. J. (1991) Stream fish ecology: A landscape perspective. *BioScience*, **41**, 704-712.
- Silva, C. P. D. (1993) Alimentação e distribuição espacial de algumas espécies de peixes do igarapé do Candirú, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, **23**, 271-285.
- Silva, U. R. L., Takyama, L. R. & Silva, S. L. F. (2006) *Atlas da Zona Costeira Estuarina do Estado do Amapá: do Diagnóstico Sócio-Ambiental ao Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro Participativo*. IEPA, Macapá, Brazil.
- Suguo, K. & Bigareça, J.J. (1990) *Ambientes Fluviais*. Ed. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil.
- Teresa, F. B. & Romero, R. M. (2010) Influence of the riparian zone phytophysiognomies on the longitudinal distribution of fishes: evidence from a Brazilian savanna stream. *Neotropical Ichthyology*, **8**, 163-170.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummings, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. (1980) The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**, 31-36.
- Xenopoulos, M. A., Lodge, D. M., Alcamo, J., Märker, M., Schulze, K. & Van Vuuren, D. P. (2005) Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Global Change Biology*, **11**, 1557-1564.
- Zuanon, J., Bockmann, F. A. & Sazima, I. (2006) A remarkable sand-dwelling fish assemblage from Central Amazonia, with comments on the evolution of psammophily in South American freshwater fishes. *Neotropical Ichthyology*, **4**, 107-118.

Tables

Table 1 Structural and limnological characteristics of streams of savannas, forest patches, and continuous forests, which are tributaries of the Ajuruxi Lake. The values represent mean values and range.

Environmental variables	Forest (N=12)	Forest patch (N = 4)	Savanna (N=4)
Canopy cover (%)	68.78 (58.49 – 80.08)	74.77 (69.61 – 83.18)	20.97 (6.36 – 34.38)
Limnological characteristics			
pH	4.54 (4.20 – 5.30)	4.61 (4.45 – 4.77)	4.69 (4.51 – 4.85)
Temperature (°C)	25.31 (24.94 – 26.00)	26.56 (25.85 – 27.89)	27.65 (26.98 – 28.85)
Conductivity (µS)	13.60 (5.00 – 19.00)	9.50 (7.00 – 11.00)	7.00 (6.00 – 9.00)
Dissolved oxygen (mg/L)	6.02 (2.09 – 8.42)	3.81 (2.60 – 5.42)	5.05 (2.84 – 6.92)
Total dissolved solids (ppm)	0.008 (0.003 – 0.011)	0.004 (0.004 – 0.005)	0.004 (0.003 – 0.006)
Water Transparency (cm)	68.7 (73.75 – 92-25)	64.19 (44.50 – 81.25)	69.6 (53.00 – 82.75)
River structure			
Mean current velocity (m/s)	0.17 (0.08 – 0.33)	0.03 (0.02 – 0.04)	0.10 (0.07 – 0.14)
Mean width (m)	2.41 (1.48 – 5.39)	1.77(1.00 – 2.35)	0.70 (0.44 – 0.95)
Discharge (m ³ /s)	0.11 (0.01 – 0.57)	0.01 (0.00 – 0.02)	0.01 (0.00 – 0.01)
Mean depth (m)	0.22 (0.05 – 0.54)	0.24 (0.17 – 0.34)	16.25 (0.11 – 0.26)
Maximum depth (m)	0.37 (0.10 – 0.86)	0.35 (0.25 – 0.46)	0.31 (0.17 – 0.45)
Rocks (%)	1.0 (0.0 – 11.0)	21.7 (0.00 – 42.0)	0.0 (0.0 – 0.0)
Fine litter (%)	18.0 (1.0 – 36.0)	0.0 (0.0 – 0.0)	5.5 (0.0 – 22.0)
Sand (%)	17.2 (0.0 – 39.0)	9.75 (0.00 – 25.0)	2.25 (0.0 – 6.0)
Root (%)	2.0 (0.0 – 11.0)	0.0 (0.0 – 0.0)	0.1 (0.0 – 0.3)
Fine root (%)	10.4 (0.0 – 28.0)	6.5 (0.0 – 11.0)	22.5 (6.0 – 42.0)
Trunk (%)	4.2 (0.0 – 8.0)	20.5 (3.0 – 38.0)	7.7 (0.0 – 14.0)
Clay (%)	0.5 (0.0 – 3.0)	6.0 (0.0 – 18.0)	41.0 (0.17 – 64.0)
Aquatic plants (%)	0.0 (0.0 – 3.0)	1.5 (0.0 – 6.0)	5.7 (3.0 – 8.0)
Coarse litter (%)	45.0 (14.0 – 81.0)	34.5 (11.0 – 47.0)	15.5 (3.0 – 36.0)

Figure legends

Fig. 1 Ajuruxi River Basin, showing the distribution of sampling units. Squares represent sites in savanna streams, triangles sites in forest patches streams within the savanna matrix, and circles indicate sites in continuous-forest streams.

Fig. 2 Ordination of stream sites in continuous forests (C), savanna (S), and forest patches (P) by non-metric multidimensional scaling (NMDS) based on Sørensen distances for presence/absence data (a) and on Bray-Curtis distances for abundance data (b).

Fig. 3 Presence/absence data for the 33 species collected in small tributaries of Ajuruxi Lake in relation to water temperature. C = continuous forest, P = forest patch, and S = savanna.

Fig. 4 Relationship between water temperature and an NMDS ordination based on presence/absence data (a), and between mean depth of the streams (m) and an ordination based on fish-abundance data (b). C = continuous forest, P = forest patch, and S = savanna.

Fig. 5 Relationship between mean depth of stream stretches (m) and number of species collected. C = continuous forest, P = forest patch, and S = savanna.

Fig. 6 Abundance of the 33 fish species collected in small tributaries of Ajuruxi Lake in relation to mean depth (m).

Illustrations

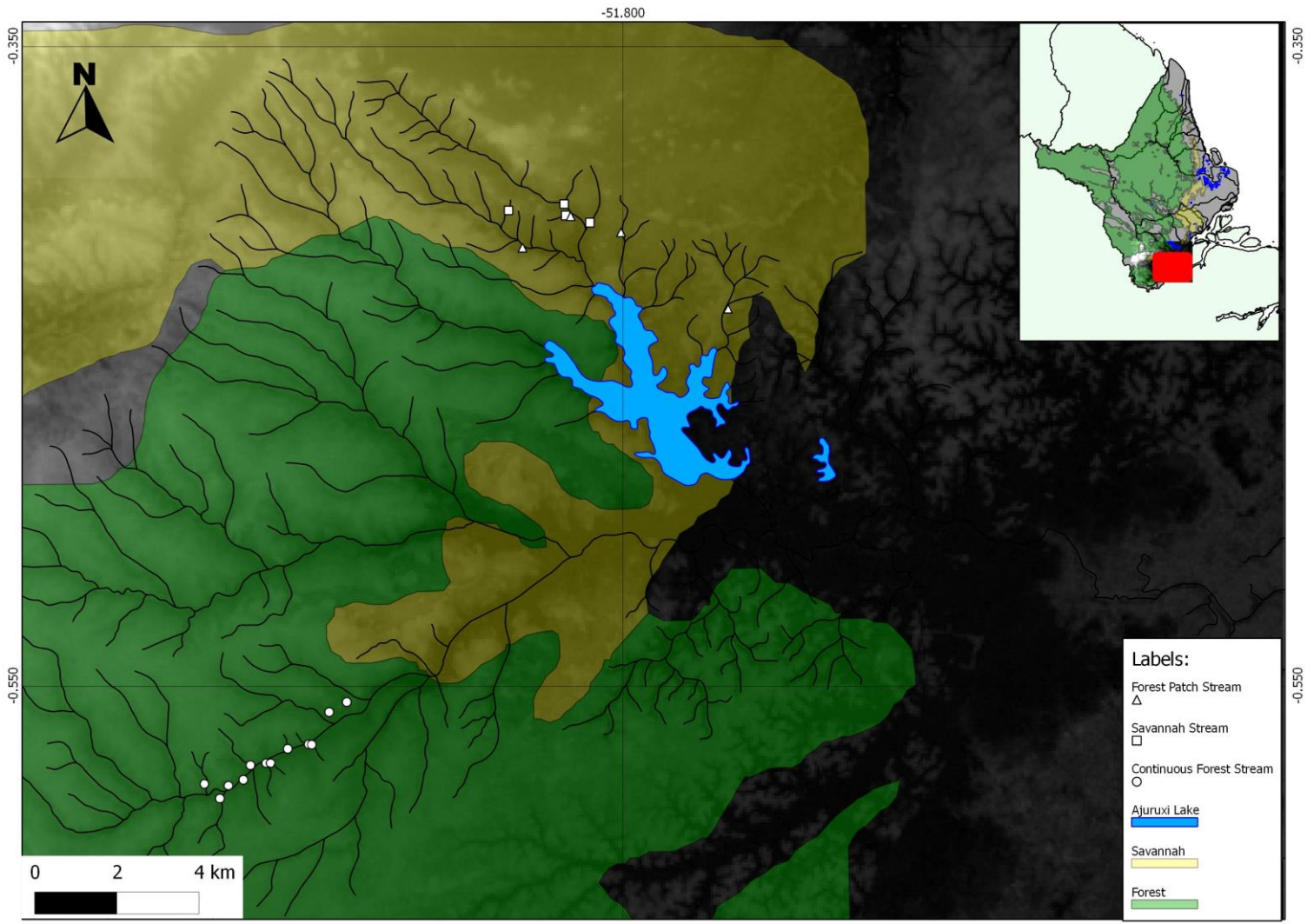
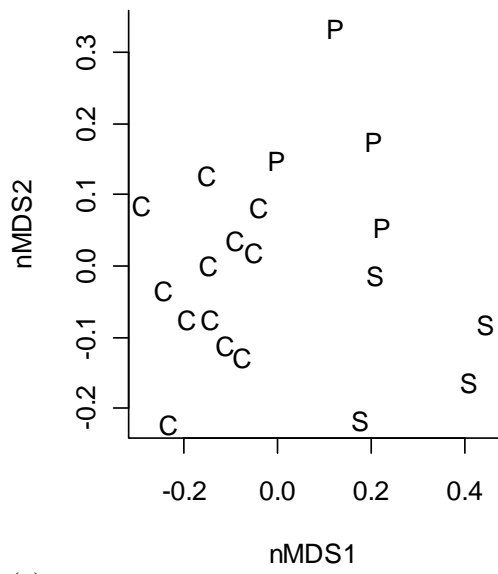
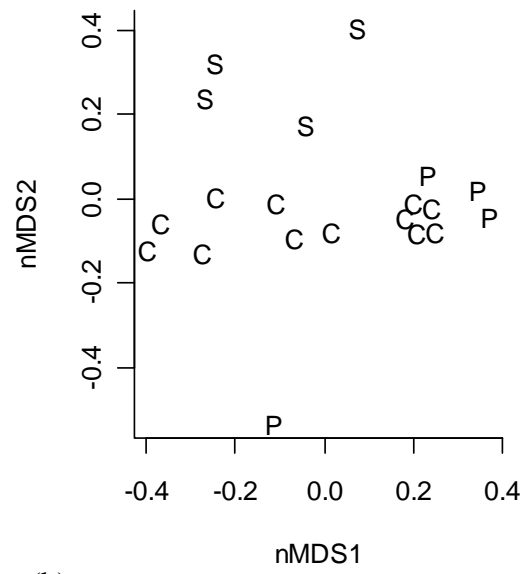


Figure 1



(a)



(b)

Figure 2

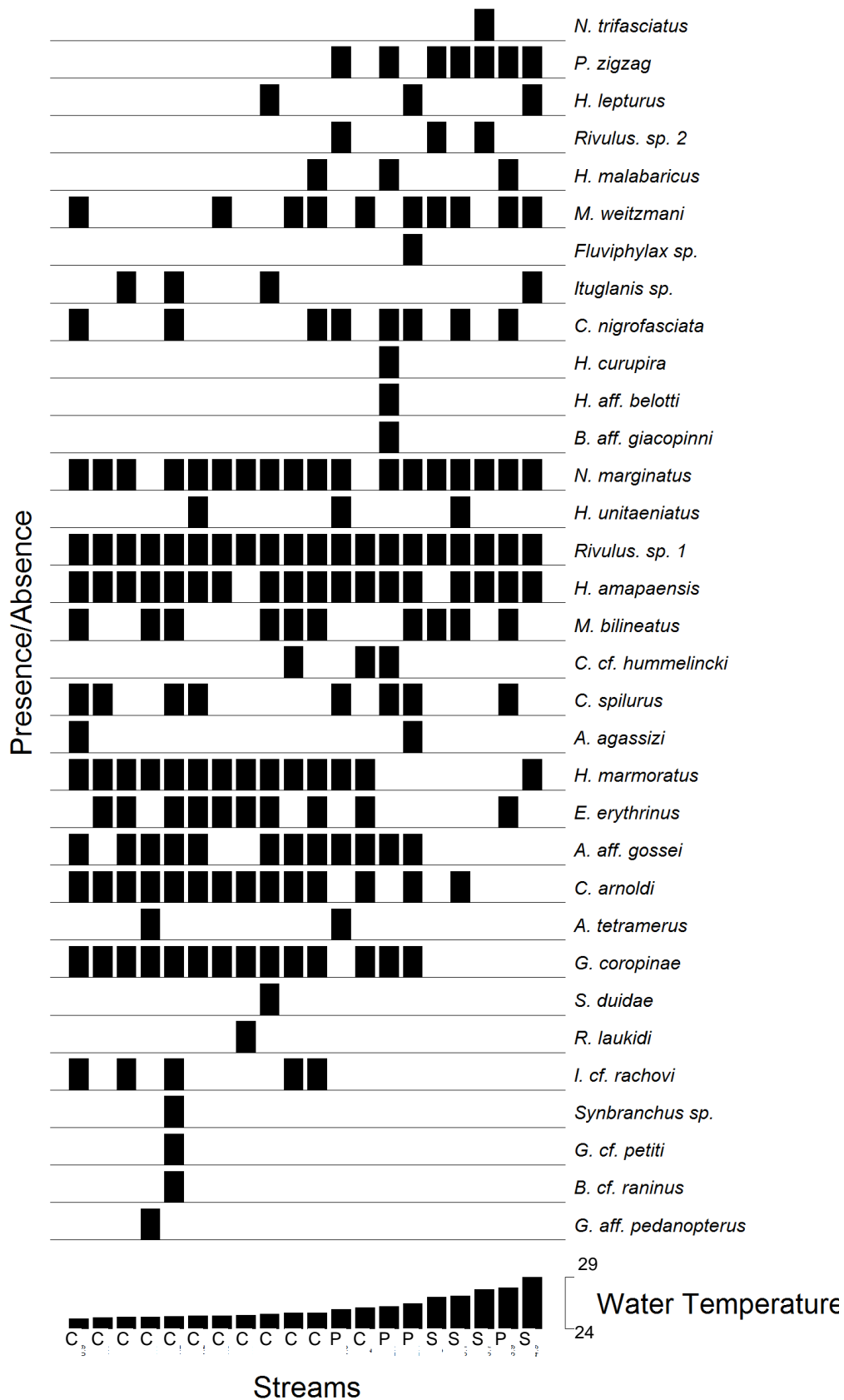


Figure 3

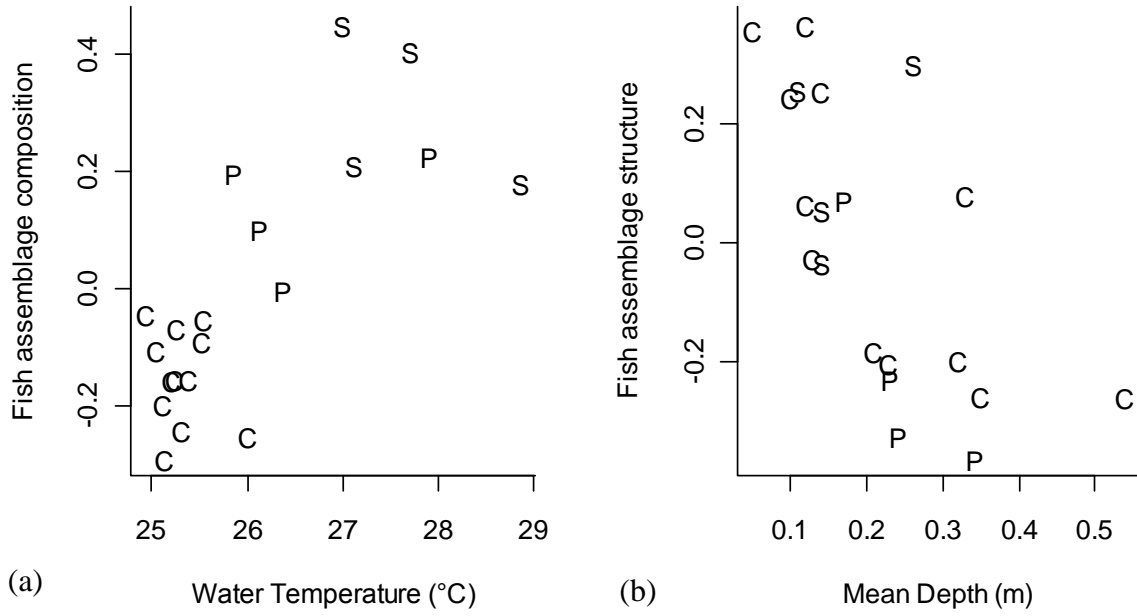


Figure 4

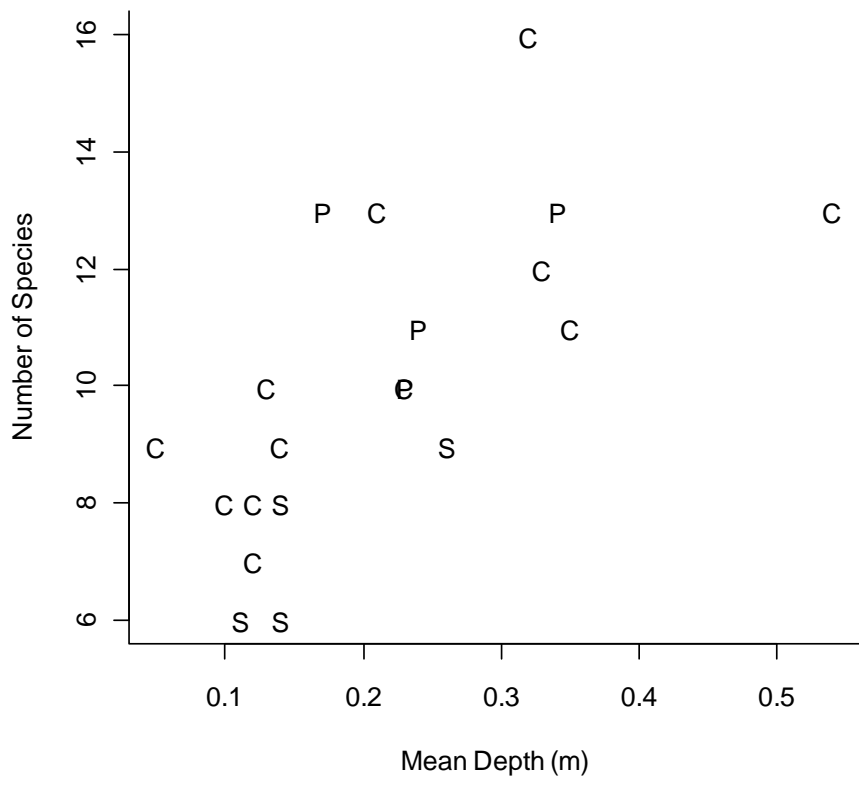


Figure 5

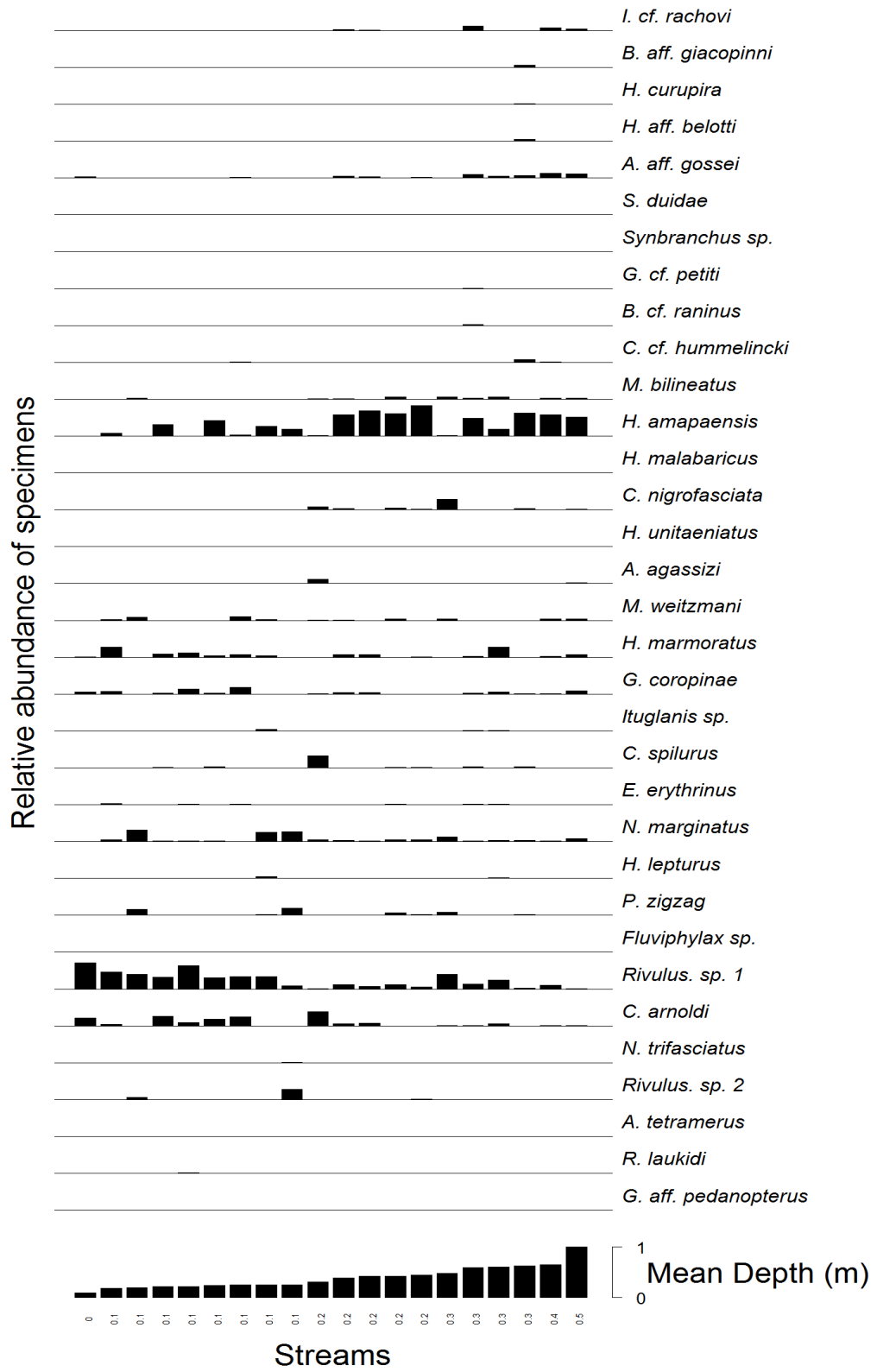


Figure 6

Supporting Information

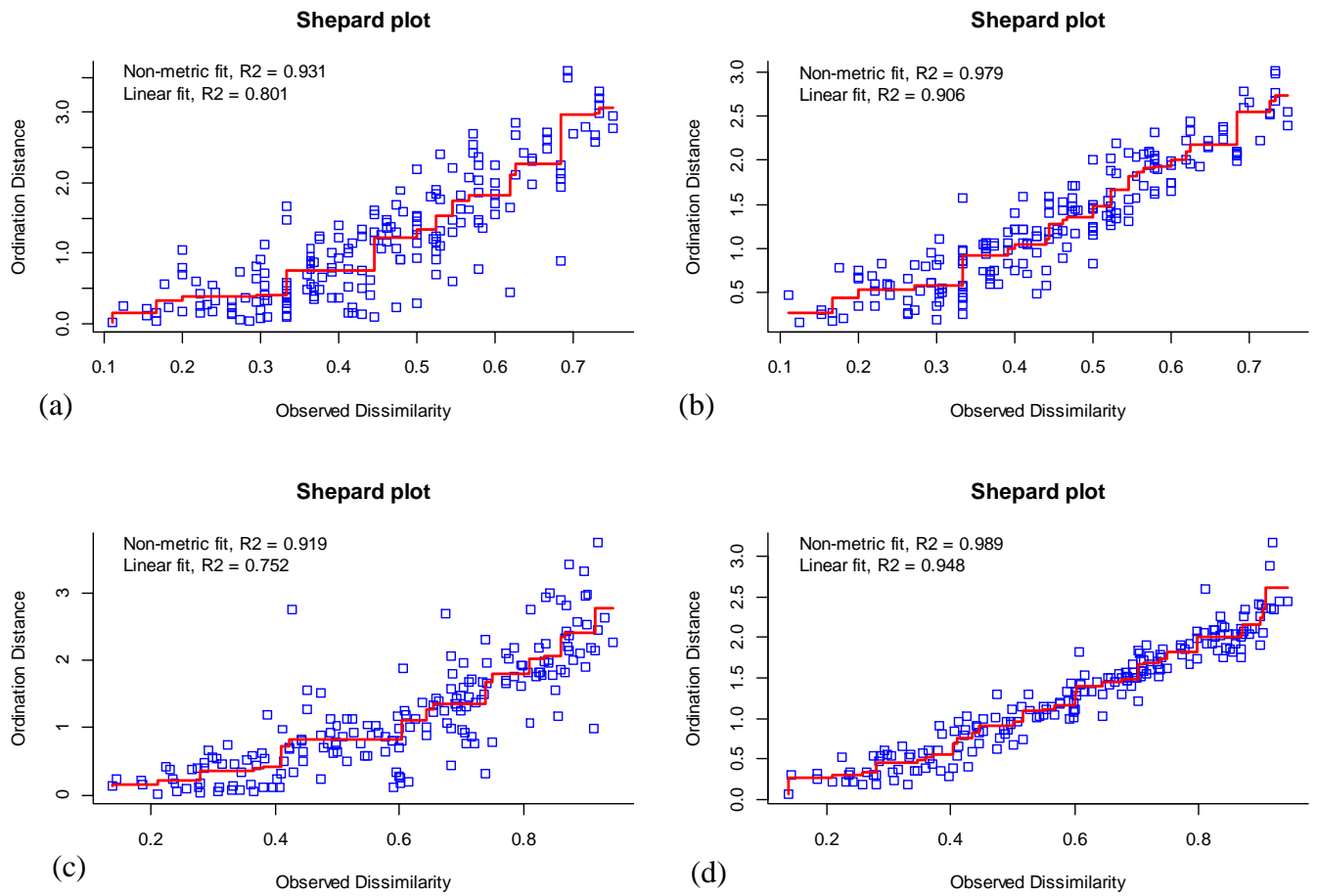


Figure S1 Relationship between the distance observed among sites and the distance calculated in the NMDS for the presence/absence data (a. one axis and b. two axes) and abundance data (c. one axis and d. two axes).

Table S1 Results of the PCA of environmental variables related to structure, water quality, and substrate composition of streams, showing their loadings and percentage of the variance explained by the first three axes. Numbers in boldface indicate variables with values higher than 0.30.

Variables	PCA 1	PCA 2	PCA 3
Plant cover	0.26	-0.11	0.22
Water quality			
Ph	-0.05	-0.24	0.20
Conductivity	0.27	-0.24	0.11
Temperature	-0.33	0.10	0.02
Dissolved oxygen	0.09	0.25	-0.38
Total solid dissolved	0.26	-0.26	-0.05
Water transparency	0.24	-0.16	-0.21
Stream size			
Mean current velocity	0.20	0.08	-0.43
Mean width	0.31	0.24	0.11
Discharge	0.24	0.36	-0.06
Mean depth	0.17	0.45	0.16
Maximum depth	0.16	0.45	0.09
Stream structure			
Rock	-0.04	0.09	0.39
Fine litter	0.16	-0.21	-0.30
Sand	0.21	0.07	0.05
Root	0.17	-0.13	0.08
Fine Root	-0.13	0.02	-0.29
Trunk	-0.16	0.10	0.31
Clay	-0.29	0.05	-0.11
Aquatic plants	-0.28	0.12	-0.13
Coarse litter	0.21	-0.07	0.04
% Variance Explained	31.9	15.0	13.1
% Accumulated Variance	31.9	47.0	60.1

Table S2 List of the species collected in small streams of forests and savannas, which are tributaries of the Ajuruxi Lake, Mazagão, state of Amapá, Brazil. Relative abundances in relation to the number of specimens collected per phytophysiognomy and for the entire study area are presented in boldface.

Taxon	Number of specimens			Total
	Phytophysiognomy			
	Continuous Forest N=12	Forest Patch N=4	Savanna N=4	
Characiformes	55.52	84.78	58.95	65.39
Characidae				
<i>Bryconops</i> aff. <i>giacopinii</i> (Fernández-Yépez, 1950)	0	11	0	11
<i>Hemigrammus</i> aff. <i>belottii</i> (Steindachner, 1882)	0	8	0	8
<i>Hyphessobrycon amapaensis</i> Zarske & Géry, 1998	617	399	33	1049
<i>Iguanodectes</i> cf. <i>rachovi</i> Regan, 1912	32	0	0	32
Crenuchidae				
<i>Crenuchus spilurus</i> Günther, 1863	11	128	0	139
<i>Microcharacidium weitzmani</i> Buckup, 1993	18	9	8	35
Erythrinidae				
<i>Erythrinus erythrinus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	11	3	0	14
<i>Hoplias curupira</i> Oyakawa & Mattox, 2009	0	2	0	2
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	1	2	0	3
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i> (Spix & Agassiz, 1829)	1	1	1	3
Lebiasinidae				
<i>Copella arnoldi</i> (Regan, 1912)	191	134	1	326
<i>Copella nigrofasciata</i> (Meinken, 1952)	9	48	26	83
<i>Nannostomus marginatus</i> Eigenmann, 1909	45	43	63	151
<i>Nannostomus trifasciatus</i> Steindachner, 1876	0	0	1	1
<i>Pyrhulina</i> aff. <i>zigzag</i> Zarske & Géry, 1997	0	20	35	55
Siluriformes	8.07	0.10	0.70	4.82
Cetopsidae				
<i>Helogenes marmoratus</i> Günther, 1863	130	1	2	133
Heptapteridae				
<i>Rhamdia laukidi</i> Bleeker, 1858	1	0	0	1
Pseudopimelodidae				
<i>Batrochoglanis</i> cf. <i>raninus</i> (Valenciennes, 1840)	2	0	0	2

Tricomycetidae				
<i>Ituglanis</i> sp.	3	0	2	5
Gymnotiformes	6.47	2.20	2.81	3.28
Gymnotidae				
<i>Gymnotus</i> aff. <i>pedanopterus</i> Mago-Leccia, 1994	2	0	0	2
<i>Gymnotus coropinae</i> Hoedeman, 1962	86	8	0	94
Hypopomidae				
<i>Hypopygus lepturus</i> Hoedman, 1962	1	1	2	4
<i>Microsternarchus bilineatus</i> Fernández-Yépez, 1968	18	12	6	36
<i>Steatogenys duidae</i> (La Monte, 1929)	1	0	0	1
Rhamphichthyidae				
<i>Gymnorhamphichthys</i> cf. <i>petiti</i> Géry & Vu, 1964	1	0	0	1
Perciformes	4.45	7.87	0.00	5.13
Cichlidae				
<i>Apistogramma</i> aff. <i>gossei</i> Kullander, 1982	69	20	0	89
<i>Apistogramma agassizii</i> (Steindachner, 1875)	3	39	0	42
<i>Aequidens tetramerus</i> (Heckel, 1840)	1	1	0	2
<i>Crenicichla</i> cf. <i>hummelinckii</i> Ploeg, 1991	2	15	0	17
Cyprinodontiformes	25.44	5.04	36.84	19.90
Poeciliidae				
<i>Fluviphylax</i> sp.	0	1	0	1
Rivulidae				
<i>Rivulus</i> sp. 1	429	44	74	547
<i>Rivulus</i> sp. 2	0	3	31	34
Synbranchiformes	0.06	0.00	0.00	0.03
Synbranchidae				
<i>Synbranchus</i> sp.	1	0	0	1
Total of specimens	1686	953	285	2924

CONCLUSÕES

O presente estudo corroborou hipótese de relação da variação na fitofisionomia e a variação na composição das assembleias de peixes, entretanto não foi observada relação entre as diferenças no tipo de vegetação natural e a estrutura das assembleias de peixes. A temperatura da água representou um fator chave para a distribuição das espécies de peixes nos pequenos riachos da bacia do Lago Ajuruxi. A relação forte entre a temperatura e a presença das espécies indica que um eventual aumento da temperatura ambiente na região, decorrente do uso inadequado da terra (Macedo *et al.* 2013) ou pelo aquecimento global em curso, poderá modificar a composição das assembleias de peixes nos pequenos riachos da Amazônia, conforme previsto por Buisson *et al.* (2008) para riachos temperados na França. Não é possível determinar se o aumento previsto da temperatura planetária nas próximas décadas resultará em um aumento correspondente na temperatura da água dos riachos, e se esse incremento na temperatura provocará a extinção de espécies típicas de riachos de floresta contínua. Cowell *et al.* (2008) estimaram que o aquecimento global irá promover o deslocamento de espécies associadas a ambientes tropicais de planície para regiões de maior altitude e com temperaturas mais frias, com possível extinção de espécies com distribuição mais restrita. A bacia hidrográfica do rio Ajuruxi está inserida em uma área com pouca variação altitudinal, então é possível que algumas das espécies que vivem atualmente nos riachos de savana passem a ocupar os riachos de floresta, se a temperatura da água se tornar muito alta na savana. Entretanto, as espécies de peixes associadas aos pequenos riachos de temperatura mais baixa, poderão ser ameaçadas de extinção se a temperatura aumentar (Eaton & Scheller, 1996). Embora a forma exata da mudança seja incerta, o aquecimento global irá certamente modificar a distribuição dos peixes na fronteira floresta-savana, e o monitoramento em longo prazo da composição das assembleias de peixes dos riachos em diferentes tipos de vegetação será importante para avaliar os riscos de perda da biodiversidade em sistemas aquáticos da maior área florestal prístina do planeta.

APÊNDICES



AULA DE QUALIFICAÇÃO

PARECER

Aluno(a): RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR
Curso: ECOLOGIA
Nível: MESTRADO
Orientador(a): WILLIAM ERNEST MAGNUSSON
Co-orientador(a): JANSEN ALFREDO SAMPAIO ZUANON

Título

"Composição e estrutura das assembleias de peixes de pequenos riachos afluentes do Lago Ajuruxi, Mazagão-AP"

BANCA JULGADORA

TITULARES:

Efrem Jorge Gondim Ferreira (INPA)
Geraldo Mendes dos Santos (INPA)
Cláudia Pereira de Deus (INPA)

SUPLENTE:

Rosselval Galdino Leite (INPA)
Sidineia Aparecida Amádio (INPA)

	PARECER	ASSINATURA
Efrem Jorge Gondim Ferreira (INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Geraldo Mendes Dos Santos (INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Cláudia Pereira De Deus (INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Rosselval Galdino Leite (INPA)	() Aprovado () Reprovado	
Sidineia Aparecida Amádio (INPA)	() Aprovado () Reprovado	

Manaus(AM), 30 de março de 2012

OBS: A banca avaliadora sugere que o trabalho seja feito nos aspectos locais (caracterização dos riachos e comparação da ictiofauna) sem inferências em mudanças climáticas, já que estas não são justificáveis pelo desenho amostral, e nem pelos objetivos propostos.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA/INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA PPG-ECO
Av. Efigênio Sales, 2239 - Barro: Aleixo - Caixa Postal: 478 - CEP: 69.011-970, Manaus/AM.
Fone: (+55) 92 3643-1909 Fax: (+55) 92 3643-1908
Site: <http://ppg.inpa.gov.br> e-mail: ppgecologia@gmail.com

Avaliação de dissertação de mestrado

Título: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES DE PEQUENOS RIACHOS AFLUENTES DO LAGO AJURUXI, MAZAGÃO-AP

Aluno: RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR

Orientador: William Magnusson

Co-orientador: Jansen Zuanon

Avaliador: Fabricio Barreto Teresa

Por favor, marque a alternativa que considerar mais apropriada para cada item abaixo, e marque seu parecer final no quadro abaixo

	Muito bom	Bom	Necessita revisão	Reprovado
Relevância do estudo	(X)	()	()	()
Revisão bibliográfica	()	(X)	()	()
Desenho amostral/experimental	()	(X)	()	()
Metodologia	()	()	(X)	()
Resultados	()	(X)	()	()
Discussão e conclusões	()	()	(X)	()
Formatação e estilo texto	(X)	()	()	()
Potencial para publicação em periódico(s) Indexado(s)	(X)	()	()	()

PARECER FINAL

() **Aprovada** (Indica que o avaliador aprova o trabalho sem correções ou com correções mínimas)

(X) **Aprovada com correções** (Indica que o avaliador aprova o trabalho com correções extensas, mas que não precisa retornar ao avaliador para reavaliação)

() **Necessita revisão** (Indica que há necessidade de reformulação do trabalho e que o avaliador quer reavaliar a nova versão antes de emitir uma decisão final)

() **Reprovada** (Indica que o trabalho não é adequado, nem com modificações substanciais)

Anápolis

Local

25 de abril de 2013

Data



Assinatura

Comentários e sugestões podem ser enviados como uma continuação desta folha, como arquivo separado ou como anotações no texto impresso ou digital da tese. Por favor, envie a folha assinada, bem como a cópia anotada da tese e/ou arquivo de comentários por e-mail para pgecologia@gmail.com e flaviaocosta001@gmail.com ou por correio ao endereço abaixo. O envio por e-mail é preferível ao envio por correio. Uma cópia digital de sua assinatura será válida.

Endereço para envio de correspondência:

Flavia Costa
DCEC/CEC/INPA
CP 478
88011-970 Manaus AM
Brazil

Avaliação de dissertação de mestrado

Título: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES DE PEQUENOS RIACHOS AFLUENTES DO LAGO AJURUXI, MAZAGÃO-AP
Aluno: RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR

Orientador: William Magnusson Co-orientador: Jansen Zuanon

Avaliador: Lilian Casatti

Por favor, marque a alternativa que considerar mais apropriada para cada item abaixo, e marque seu parecer final no quadro abaixo

	Muito bom	Bom	Necessita revisão	Reprovado
Relevância do estudo	(x)	()	()	()
Revisão bibliográfica	(x)	()	()	()
Desenho amostral/experimental	()	(x)	()	()
Metodologia	()	(x)	()	()
Resultados	()	(x)	()	()
Discussão e conclusões	()	(x)	()	()
Formatação e estilo texto	(x)	()	()	()
Potencial para publicação em periódico(s) indexado(s)	()	(x)	()	()

PARECER FINAL

- Aprovada** (índice que o avaliador aprova o trabalho sem correções ou com correções mínimas)
- Aprovada com correções** (índice que o avaliador aprova o trabalho com correções extensas, mas que não precisa retornar ao avaliador para reavaliação)
- Necessita revisão** (índice que há necessidade de reformulação do trabalho e que o avaliador quer reavaliar a nova versão antes de emitir uma decisão final)
- Reprovada** (índice que o trabalho não é adequado, nem com modificações substanciais)

São José do Rio preto, 05 de abril de 2013



Comentários e sugestões podem ser enviados como uma continuação desta ficha, como arquivo separado ou como anotações no texto impresso ou digital da tese. Por favor, envie a ficha assinada, bem como a cópia anotada da tese e/ou arquivo de comentários por e-mail para pgecologia@gmail.com e flaviacosta001@gmail.com ou por correio ao endereço abaixo. O envio por e-mail é preferível ao envio por correio. Uma cópia digital de sua assinatura será válida.

Endereço para envio de correspondência:

Flávia Costa
DCEC/PEC/INPA
CP 478
69011-970 Manaus AM
Brazil

Avaliação de dissertação de mestrado

Título: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES DE PEQUENOS RIACHOS AFLUENTES DO LAGO AJURUXI, MAZAGÃO-AP

Aluno: RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR

Orientador: William Magnusson

Co-orientador: Jansen Zuanon

Avaliador:

Por favor, marque a alternativa que considerar mais apropriada para cada item abaixo, e marque seu parecer final no quadro abaixo

	Muito bom	Bom	Necessita revisão	Reprovado
Relevância do estudo	(X)	()	()	()
Revisão bibliográfica	()	(X)	()	()
Desenho amostral/experimental	()	()	(X)	()
Metodologia	()	()	(X)	()
Resultados	()	()	(X)	()
Discussão e conclusões	()	()	(X)	()
Formatação e estilo texto	()	()	()	()
Potencial para publicação em periódico(s) indexado(s)	()	(X)	()	()

PARECER FINAL

() **Aprovada** (indica que o avaliador aprova o trabalho sem correções ou com correções mínimas)

() **Aprovada com correções** (indica que o avaliador aprova o trabalho com correções extensas, mas que não precisa retornar ao avaliador para reavaliação)

(X) **Necessita revisão** (indica que há necessidade de reformulação do trabalho e que o avaliador quer reavaliar a nova versão antes de emitir uma decisão final)

() **Reprovada** (indica que o trabalho não é adequado, nem com modificações substanciais)

College Station, Texas, USA , 7 May, 2013

Local

Data

Assinatura

Comentários e sugestões podem ser enviados como uma continuação desta ficha, como arquivo separado ou como anotações no texto impresso ou digital da tese. Por favor, envie a ficha assinada, bem como a cópia anotada da tese e/ou arquivo de comentários por e-mail para pgecologia@gmail.com e flaviacosta001@gmail.com ou por correio ao endereço abaixo. O envio por e-mail é preferível ao envio por correio. Uma cópia digital de sua assinatura será válida.

Endereço para envio de correspondência:

Flávia Costa

 DCEC/CPEC/INPA

 CP 478

 69011-970 Manaus AM

 Brazil



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ECOLOGIA DO INSTITUTO NACIONAL
DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA.

Aos 23 dias do mês de agosto do ano de 2013, às 09:00 horas, no auditório do Programa de pós Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior – PPG BADPI /INPA, reuniu-se a Comissão Examinadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: o(a) Prof(a). Dr(a). **Carlos Edwar de Carvalho Freitas**, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, o(a) Prof(a). Dr(a). **Cintia Cornelius Frische**, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM e o(a) Prof(a). Dr(a). **Efrem Jorge Gondim Ferreira**, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, tendo como suplentes o(a) Prof(a). Dr(a). **Tânia Margarete Sanaioffi**, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e o(a) Prof(a). Dr(a). **Fabrizio Beggato Baccaro**, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, sob a presidência do(a) primeiro(a), a fim de proceder a arguição pública do trabalho de **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO** de **RAIMUNDO NONATO GOMES MENDES JÚNIOR**, intitulado "Composição e estrutura das assembleias de peixes de pequenos riachos afluentes do lago Ajuruxi, Mazagão-AP", orientado pelo(a) Prof(a). Dr(a). **William Ernest Magnusson**, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e coorientado pelo(a) Prof(a). Dr(a). **Jansen Alfredo Sampaio Zuanon**, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Após a exposição, o(a) discente foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final:

- APROVADO(A) REPROVADO(A)
 POR UNANIMIDADE POR MAIORIA

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof(a).Dr(a). Carlos Edwar de Carvalho Freitas

Prof(a).Dr(a). Cintia Cornelius Frische

Prof(a).Dr(a). Efrem Jorge Gondim Ferreira


Coordenação PPG-ECO/INPA