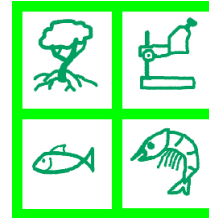
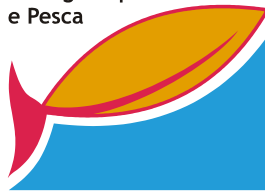




Programa de pós-graduação
Ecologia Aquática
e Pesca



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA - PPGEAP
LABORATÓRIO DE BIOLOGIA PESQUEIRA E MANEJO DE RECURSOS AQUÁTICOS
GRUPO DE ECOLOGIA, MANEJO E PESCA DA AMAZÔNIA - GEMPA

TESE DE DOUTORADO

A PESCA DE MULTIESPÉCIES DE REDE NA MESORREGIÃO DO BAIXO AMAZONAS E SUAS RELAÇÕES COM A VARIABILIDADE CLIMÁTICA REGIONAL E GLOBAL

WALTER HUGO DIAZ PINAYA

Orientadora: Prof. Dr^a. Victoria J. Isaac Nahum

Belém – PA
2013

Walter Hugo Diaz Pinaya

**A PESCA DE MULTIESPÉCIES DE REDE NA MESORREGIÃO DO BAIXO
AMAZONAS E SUAS RELAÇÕES COM A VARIABILIDADE CLIMÁTICA
REGIONAL E GLOBAL**

Tese apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Aquática e Pesca da Universidade Federal do
Pará como quesito parcial para obtenção do
título de Doutor em Ecologia Aquática e
Pesca.

Orientadora: Profa. Dr^a. Victoria Isaac Nahum

Belém – PA

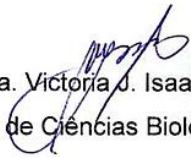
2013

Walter Hugo Diaz Pinaya


A pesca de multiespécies de rede na mesorregião do Baixo Amazonas e suas relações com a variabilidade climática regional e global


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ecologia Aquática e Pesca, cuja banca examinadora foi constituída pelos Professores listados abaixo.

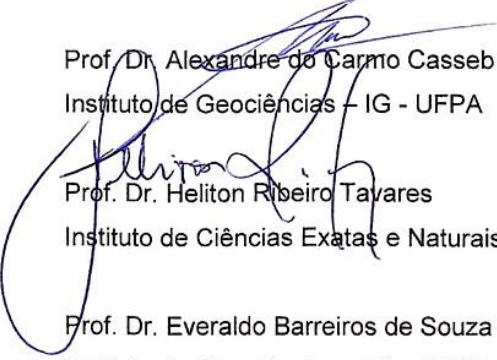
Orientadora:

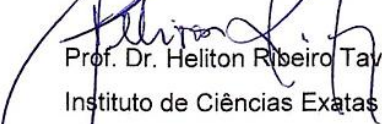

Prof. Dra. Victoria J. Isaac Nahum
Instituto de Ciências Biológicas – ICB – UFPA

Examinadores:

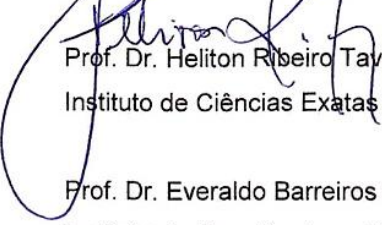

Prof. Dr. Ronald Buss de Souza
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE


Prof. Dr. Eduardo Tavares Paes
Instituto Sócio Ambiental e dos Recursos Hídricos – ISARH
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA


Prof. Dr. Alexandre do Carmo Casseb
Instituto de Geociências – IG - UFPA


Prof. Dr. Heliton Ribeiro Tavares
Instituto de Ciências Exatas e Naturais – ICEN - UFPA

Suplentes:


Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Instituto de Geociências – IG – UFPA

Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag
Instituto de Ciências Biológicas – ICB - UFPA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Pinaya, Walter Hugo Diaz, 1962-
A pesca de multiespécies de rede na
mesorregião do baixo amazonas e suas relações
com a variabilidade climática regional e global
/ Walter Hugo Diaz Pinaya. - 2013.

Orientador: Victoria Judith Isaac Nahum.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do
Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Programa
de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca,
Belém, 2013.

1. Pesca Amazonas, Rio. 2. Pesca Aspectos
ambientais. 3. Mudanças climáticas Amazonia. 4.
Hidrologia Amazonia. I. Título.

CDD 22. ed. 639.2109811

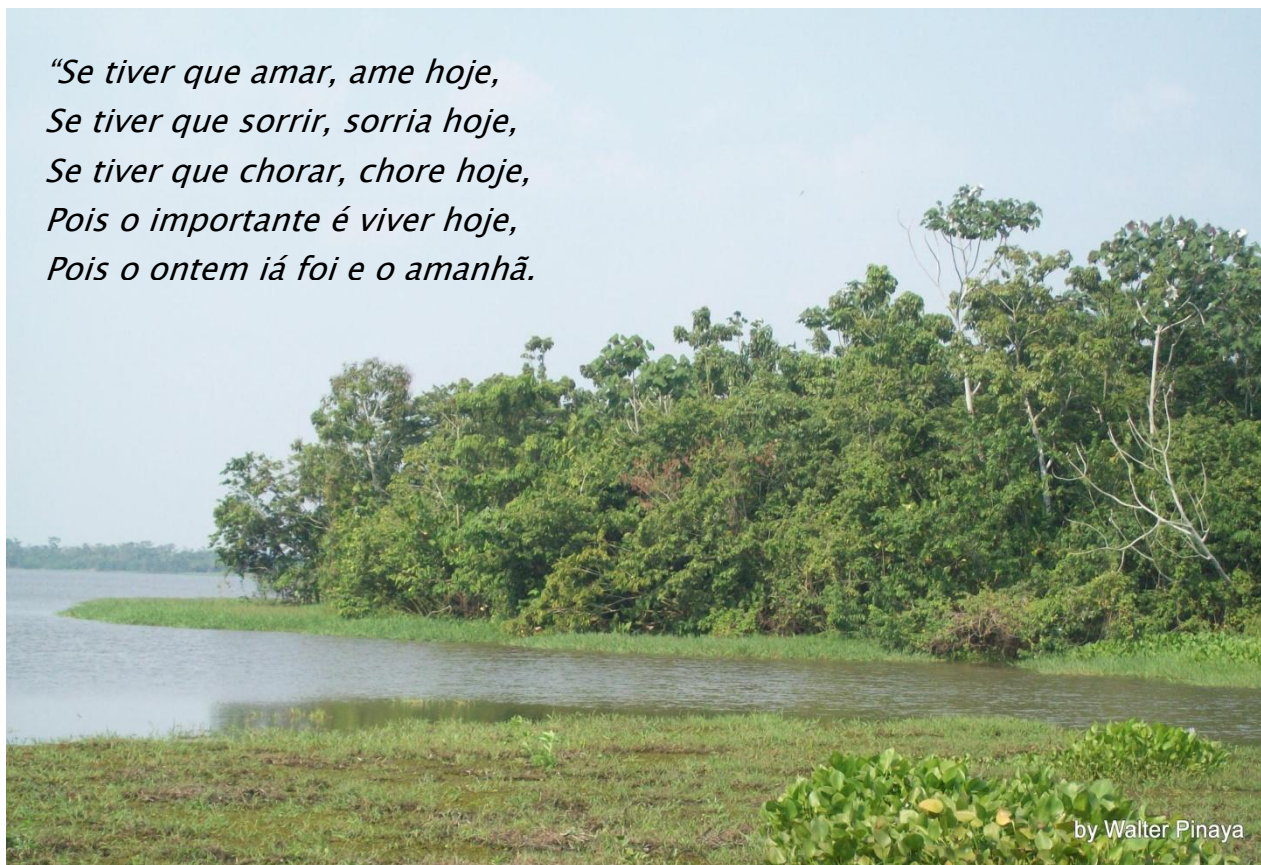
*“Na convivência, o tempo não importa...
Se for um minuto, uma hora e uma vida
O que importa é o que ficou,
deste minuto, desta hora... desta vida...”
(Mario Quintana)*

*“As vezes você apenas tem que acreditar que
as coisas boas estão por vir, deixe esta
crença ser seu imã...” (Dimitri Camilot)*

*“A possibilidade de realizarmos um sonho é o
que torna a vida interessante.” (Paulo Coelho)*

*“A arte de vencer é não se abater a cada
obstáculo... é lutar, lutar, lutar até alcançar
seu objetivo...” (Walter Pinaya)*

*“Se tiver que amar, ame hoje,
Se tiver que sorrir, sorria hoje,
Se tiver que chorar, chore hoje,
Pois o importante é viver hoje,
Pois o ontem já foi e o amanhã.*



Dedico esta tese à GAIA (Planeta Terra), à minha família e ao meu amor e guia de luz Jorge Marcos Ribeiro da Silva (in memoriam) que sempre me deram um amor e um bem querer inestimáveis.

AGRADECIMENTOS

Orunmilá, Deus criador de todas as coisas, OBRIGADO pela vida! Meus Orixás Sàngó e Òsún, guias e monitores espirituais por me darem sabedoria, equilíbrio e fé em cada instante de meu caminhar.

Agradeço a minha família meu pai Walter Hugo Pinaya Calatayud, minha mãe Carmem Diaz Pinaya, irmã Maria Del Carmem Diaz Pinaya, irmão Jorge Luiz, sobrinho (Walter Hugo) e sobrinhas (Ana Carolina e Cláudia), tios e tias, primos e primas do Brasil e da Bolívia que sempre estiveram de meu lado em todos momentos de minha vida. Um obrigado especial para minha tia Sofia Dias Xavier e minha prima Gladys Tesoro Michel Pinaya.

Jorge Marcos Ribeiro da Silva (*in memoriam*) que ter sido a luz na minha vida e ter me ensinado tanto e permitido que tivéssemos uma vida em conjunto, dividindo sonhos, conquistas e tristezas, uma vida intensa cheia de cumplicidade e quem me aguentou e me estimulou para seguir em frente, em todos os momentos de minha vida. Acredito muito que ele desde onde esteja, olha e torce por nós.

A minha orientadora Prof. Dr. Victoria Judith Isaac Nahum e Dr. Ronald Buss de Souza (Centro Regional Sul/INPE) pela confiança concedida desde o início desde doutorado, pelas contribuições e direcionamento que me deram para o desenvolvimento dessa tese e estímulo constante para vencer. A vocês minha estima, respeito, amizade e gratidão.

Ao PPGEAP e seu corpo docentes e discentes agradeço pelos constantes ensinamentos e colaboração, a PROPESP e FADESP pelo auxílio para publicação dos artigos dessa tese. A CAPES pelo apoio financeiro como bolsa de doutorado no Brasil e na Espanha durante o estágio sanduíche (proc. 9894/11-0). Ao Ministério de Pesca e Aquicultura (MPA), Agência Nacional de Águas (ANA), National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) pela liberação dos dados.

Aos meus amigos Dr. Marcus Polette (Univali) e Dra. Adriana Gisel González (Universidad de Baja California – Mexico) que me incentivaram a continuar na área da pesquisa científica.

“*Gracias*” ao Grupo de Investigación en Recursos Marinos y Pesquerías da Universidad de A Coruña (Dr. Juan Freire, Dr. Pablo Pitta, Dra. Noela Sanchez, Dr. Ignacio Alborés Blanes, Dra. Patricia Verisimo Amor, Dra. Maria Jose Jorda Nicolau, Dra. Rosana Ourens, Dra. Diana F Marquez, Inmaculada Alvarez, MSc. Ana Túbio Gómez) e Dr. José Ribamar da Cruz Freitas Júnior pela amizade, pelos conhecimentos, pela acolhida e momentos inesquecíveis compartilhados durante meu estágio de doutorado sanduiche em Coruña, Espanha. Obrigado Dr Francisco Javier Lobon-Cérvia e todos os amigos do Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-Madrid) e do Consejo Superior de Investigacion Cientifica (CSIC), que colaboraram comigo durante minha estadia em Madrid para realização da 2ª etapa de meu estágio do doutorado sanduiche na Espanha.

Sempre serei grato a todos os amigos de Madrid, Coruña, Corme (Galicia) y Cullera (Valencia) e em especial a Thelma Priscila Cassapula, Renata Corgosinho, Jacinto Benitez Matinez, Paula Almansa, Trinidad González y González, Izabel González y González, Carmela Angeles, Jorge, Manolo, Aurora e todos amigos do CEyDET, por me mostrarem que não importa o lugar e nem a origem, todos podemos ser irmãos e felizes.

Aos inesquecíveis amigos da UFPA – Morgana Carvalho de Almeida, Dra. Bianca Bentes, Vera Lucia dos Santos Brito, Ana Paulo Oliveira Roman, Dr. Julio Sá, Clara, Vanessa Costa, Alison Conceição Costa, Arthur Souza Ramos, Renata da Costa e Silva Crespim, Alvaro Araujo Jr., Thais Costa.

Também obrigado aos amigos do INPE, Dr. Luciano Pezzi, Dr. João Antonio Lorenzatti, Dr. José Stech, Dra. Tatiana Kuplich, M.Sc. Eduardo Gigliotti, Dr. Luiz Eduardo pela ajuda e incentivo.

Meus amigos inseparáveis de todas as horas seja de São Paulo, Jane e Durcival, Ana Paula Carlos, Adailton, Dany e Carlos, Dê e Hugo, Araci, Edson Paixão, Toco,

Regina, Samantha, Karina, Duas Pernas e tantos outros, toda família do Jorge Marcos, Elaine Cristina de Oliveira, Miriam Magna de Paula; da cidade de Santos, a Renata Oliveira, Atito, Mariluci Santos, D. Clarice, Tia Cacilda (in memoriam), Ina (in memoriam), Rosana Rotelli... Dra. Ellie Anne Bellota Lopez, MSc. Maria Camila Roso, Eng. Camila Thompson, MSc. Kalina Manabe Brauko e todos de Pontal do Paraná que sempre torceram por mim. Aos amigos de Belém e do Pará, Socorro, Joana, Benilthon, Célio, Claudimir de Oliveira Silva.

Aos meus irmãos e amigos do axé, Iyalorixá Mari T' Òsún (Osasco/SP), Mam'etu Nangetu (Belém/PA), Mam'etu D'Ubanda (Belém/PA), Iyalorixá Regina de Oxosi (RJ), mãe Regina Paixão (SP), do Ilê Asé T'Òsún e Cigana Izadora (Osasco), do Mansu Nangetu (Belém) e Casa de Mina Estrela Guia (Belém).

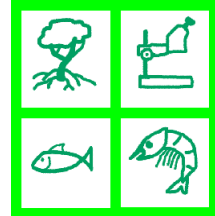
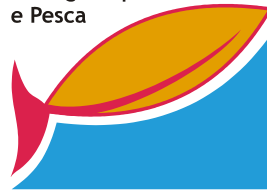
Ao Astor Smith, Bonney Smith, Era Smith, Rodolfo e Cecilia que sempre me ouviram e que trouxeram mais alegria para minha vida.

Finalmente OBRIGADO a todos os amigos visíveis e invisíveis, presentes e ausentes que por ventura ou por um lapso de memória não coloquei nos agradecimentos mais que foram muito importantes no meu caminhar.

APOIO LOGÍSTICO E FINANCEIRO



Programa de pós-graduação
Ecologia Aquática
e Pesca



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
APOIO LOGÍSTICO E FINANCEIRO	10
SUMÁRIO	11
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	22
RESUMO	26
ABSTRACT	28
INTRODUÇÃO	30
Área de Estudo	35
Objetivos	38
Justificativa	39
Material e Métodos	43
<i>Materiais</i>	43
<i>Dados Hidrológicos</i>	43
<i>Dados Meteorológicos, Hidrológicos e do Solo</i>	45
<i>Temperatura da Superfície do Mar</i>	48
<i>Índices Climatológicos</i>	50
<i>Dados de Pesca</i>	54
<i>Métodos</i>	59
<i>Anomalia Normalizada</i>	60
<i>Transformada de Ondeleta (TO)</i>	60
<i>Análise de Correlação Cruzada</i>	63
<i>Análise de Espectro Cruzado de Ondeletas (ECO) e Ondeleta de Covariância</i> ..	64
<i>Análise de Redundância (RDA)</i>	65
Organização do Trabalho	67
Referências Bibliográficas	68

Capítulo 1: Interações dos sistemas rio-oceano-atmosfera e clima na região do Baixo Amazonas (River-ocean-atmosphere system interactions and climate in the Lower Amazon)

Abstract.....	79
Introduction	80
Materials and Methods.....	83
<i>Study area</i>	83

<i>Data and analysis procedure</i>	84
<i>Data sets</i>	84
<i>Analysis</i>	91
Results and Discussion	93
<i>Climatology of the hydrological variables</i>	93
<i>Wavelet</i>	95
<i>Cross-Wavelet</i>	97
<i>Redundancy Analysis</i>	102
Conclusion	<u>106</u> 105
Acknowledgements	106
References.....	<u>107</u> 106

Capítulo 2: Efeito de fatores hidrometeorológicos na composição específica da pesca de pequena escala no Baixo Amazonas (Effect of hydrological and meteorological factors on fish assemblies caught by small-scale fishery in the Lower Amazon)

Abstract.....	116
Introduction	117
Materials and Methods.....	119
<i>Study Area</i>	119
<i>Materials</i>	120
<i>Fishery Data</i>	120
<i>Hydrological Data</i>	121
<i>Meteo-Oceanographic Data</i>	121
<i>Climatological Indexes</i>	121
<i>Methods</i>	122
<i>CPUE (Catch per Unit Effort)</i>	124
<i>Single and Multivariate Statistical Analyses</i>	124
Results	125
<i>Fishery</i>	125
<i>Monthly and yearly patterns of fishery</i>	127
<i>Ordination of fishery pattern</i>	129
<i>Environment ordination</i>	130
<i>Association between environment and fishery success</i>	132
Discussion.....	137
Conclusion	142
Acknowledgements	143
References.....	144

Capítulo 3: A pesca multiespecífica de rede de emalhe no Baixo Amazonas e suas relações com a variabilidade climática regional e

global (Catching multispecies by driftnetting in the Lower Amazon and their relationships with regional and global climactic variability)

Summary.....	153
Introduction	154
Material and Methods.....	155
<i>Study area</i>	155
<i>Materials</i>	156
<i>Fisheries data</i>	156
<i>Hydrological data</i>	157
<i>Meteorological data</i>	157
<i>Climatological indices</i>	157
<i>Methods</i>	158
<i>CPUE (Catch per Unit Effort)</i>	158
<i>Statistical analysis</i>	159
Results	159
<i>Fishing in the Lower Amazon and specific composition</i>	159
<i>Fisheries production</i>	159
<i>Monthly and annual fishing pattern</i>	164
<i>Management of fishing patterns</i>	165
<i>Relationship between fisheries production and climatic variability</i>	167
Discussion.....	170
Conclusion	175
Acknowledgements	176
References.....	176

Capítulo 4: A pesca do mapará (*Hypophthalmus marginatus* e *H. edentatus*) em lagos do Baixo Amazonas e sua relação com a variabilidade climática

Resumo.....	188
Introdução	189
Material e Métodos.....	192
<i>Materiais</i>	193
<i>Dados de pesca</i>	193
<i>Dados Hidrológicos</i>	194
<i>Dados meteorológicos e temperatura da superfície do mar</i>	194
<i>Índices Climatológicos</i>	195
<i>Métodos</i>	195
<i>CPUE (Captura por Unidade de Esforço)</i>	195
<i>Análise Estatística</i>	196
Resultados	197

<i>Produção Pesqueira</i>	197
<i>Correlação Cruzada</i>	199
<i>Ondeleta e Ondeleta Cruzada</i>	199
<i>Modelo GAM</i>	201 202
<i>Obidos</i>	202
<i>Santarém</i>	202
<i>Monte Alegre</i>	203
Discussão	204
Conclusão	209
Agradecimentos	209
Referências bibliográficas	210
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	220
ANEXOS	226

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 As migrações de peixes e mamíferos terrestres entre o canal do rio, lagos de várzea, várzea e terra firme, em diferentes fases do ciclo de alagação da bacia amazônica. (adaptado de JUNK <i>et al.</i> , 2011).....	33
Figura 2: (a) Área de estudo, mesorregião do Baixo Amazonas e as três (3) áreas menores sendo: Parintins-Óbidos, Óbidos-Monte Alegre e Monte Alegre-Almeirim; (b) mapa de precipitação pluvial anual do Estado do Pará (fonte: EMBRAPA – Amazônia Oriental).....	36
Figura 3: Séries temporais (média mensal) de vazão do rio Amazonas no município de Óbidos e de cotas no rio Amazonas nos municípios de Parintins, Óbidos e Santarém para o período de janeiro de 1975 a dezembro de 2006. Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas, 2010.	44
Figura 4: Séries temporais (média mensal) de chuva do período de janeiro de 1975 e dezembro de 2006 geradas para as áreas de estudo: Baixo Amazonas, Parintins-Óbidos, Óbidos-Monte Alegre e Monte Alegre-Almeirim. Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas, 2010.	45
Figura 5: Séries temporais de anomalias da componente zonal do vento (u), da componente meridional do vento (v), da umidade do ar (SPFH2m), da umidade do sol (SWSOILM), da evaporação potencial (PEVPR) e do escoamento superficial (Runoff) no Baixo Amazonas. Período: janeiro de 1975 a dezembro de 2006.....	48
Figura 6: Área da Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB) e as três sub-áreas Plataforma Continental do Pará (PA), Plataforma Continental do Amazonas (AZ) e Plataforma Continental do Amapá (AP).	49
Figura 7: Séries temporais das anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na plataforma continental do Pará (PA), Amazonas (AZ) e Amapá (AP). Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2006.	50
Figura 8: Índice Multivariado do ENSO (MEI) para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 2006. Valores positivos do MEI estão associados ao <i>El Niño</i> , enquanto os negativos estão associados a <i>La Niña</i>	52
Figura 9: Índice Oscilação do Atlântico Norte (NAO) para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 2006.	52
Figura 10: Índice do Gradiente Inter-Hemisférico da TSM no Oceano Atlântico (GITA) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006.	54
Figura 11: Estrutura Relacional do Banco de Dados do IARA-ProVárzea.	55
Figura 12: Séries temporais de captura mensal e esforço de pesca médio (número de pescadores e dias de pesca) (a) total, (b) em ambiente de rio e (c) em ambiente de lago no Baixo Amazonas. Período: janeiro de 1993 a dezembro 2004.....	59

Figure 1: (a) Area of Study, the Lower Amazon region and the three (3) smaller areas: Obidos (1), Santarém (2) and Monte Alegre (3); (b) Northern Continental Shelf of Brazil (NCSB) divided into three sub-regions at the Continental Shelf of Northeastern (PA); the Continental Shelf of the Amazon (AZ) and the Continental Shelf of Amapá (AP).	84
Figure 2: Time series of anomaly of (a) the zonal Wind, (b) the meridional Wind, (c) the surface (soil) temperature (TMPsfc), (d) the minimum air temperature at 2 m height (TMIN2m), (e) the specific humidity at 2 m height (SPFH2m), (f) the water content of the soil (SWSoilM) and (g) the latent heat flux (LHF). Period: January 1975 to December 2009.	89
Figure 3: Times series of the Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) at the (a) continental shelf of Amapá (AP), (b) continental shelf of Amazonas and (c) continental shelf of Pará. Period from January 1982 to December 2009.	91
Figure 4: (a) The discharge (ARD, in $m^3.s^{-1}$), (b) the water level (WL, in cm) climatology of the Amazon River and (c) rainfall (RF, in mm) for the studied region, for the period from 1975 to 2005. PT: Parintins, ST: Santarém, LA: Lower Amazon, 1: Parintins-Óbidos, 2: Óbidos-Monte Alegre, 3: Monte Alegre-Almeirim. .	94
Figure 5: Cross-wavelet of the time series of the Amazon River anomaly discharge (ARD) and (a) of surface temperature (TMPsfc) in the Lower Amazon as well as (b) ENSO events (MEI). On the left, power of the cross-wavelet. On the right, wavelet coherence. The contours represent the variance. The 5% significance level against red noise is shown as a thick outline.	98
Figure 6: Cross-wavelet between anomalies: (a) the water level of the Amazon River in Santarém (WL_ST) and the sea surface temperature on the continental shelf of Pará (SSTA_PA) and (b) ENSO events. The left side is the cross-wavelet power and the right is wavelet coherence. The contours represent the variance. The 5% significance level against red noise is shown as a thick outline (cone of influence). The relative phase is shown as a vector.	99
Figure 7: Canonical Redundancy Analysis (RDA) for (left) anomalies of the variables of the hydrological cycle, discharge of the Amazon River (ARD), water level at and Parintins (WL_PT) and Santarém (WL_ST), (right) rainfall anomaly (RF) in the areas of study, both against anomalies of climate variables, where u : zonal wind at 10 m, TMPsfc: surface (soil) temperature, TMIN2m: minimum air temperature at 2 m from the surface, SWSoilM: volumetric soil moisture, SPFH2m: specific humidity of the air, LHF: latent heat flux or evapotranspiration, SSTA: sea surface temperature anomaly, GITA: Atlantic Interhemispheric Sea Surface Temperature Gradient, MEI: Multivariate ENSO index and area => LA: Lower Amazon, 1: Parintins/Óbidos, 2: Óbidos/Monte Alegre and 3: Monte Alegre/Almeirim, PA: continental shelf of northeastern of Pará State, AZ: continental shelf of Amazon.	103

CAPÍTULO 2

Figure 1: The study area included the mesoregion of the Lower Amazon and three (3) minor areas: Óbidos (O), Santarém (S) and Monte Alegre (M). Boundaries of

fishing areas are in black and the main Amazon River and floodplain lakes are in grey.....	120
Figure 2: Similarity dendrogram of stretches based on fish species co-occurrence from fishery environment (river and lake) in fishing grounds near Óbidos, Santarém and Monte Alegre.....	123
Figure 3: Graphic representation of the mean values of CPUE (t.fisherman ⁻¹ .day ⁻¹) in floodplain lakes and in the Amazon River, showing monthly and annual variations during the period from 1993 to 2004, for the fishery in the Lower Amazon region.	129
Figure 4: Principal Component Analysis (PCA) of the environmental variables with the first and second axes. ARD: Amazon River discharge; RF: rainfall; WL: Amazon River level; u, v: zonal and meridional wind component in the Lower Amazon region; TMPsfcC: surface temperature, TMIN2m: minimum air temperature at 2 m; SPFH2m: specific air humidity at 2 m; SWSoilM: soil moisture, SSTA: sea surface temperature; MEI: Multivariate ENSO Index; NAO: North Atlantic Oscillation Index; and GITA: Gradient Inter-Hemispheric of TSM in the Atlantic Index. LA: Lower Amazon; OB,1: Obidos; ST,2: Santarém ; MA,3: Monte Alegre; AP: Amapa Continental Shelf ; AZ: Amazon Continental Shelf; PA: Pará Continental Shelf.....	131

CAPÍTULO 3

Figure 1: The study area included the meso-region of Lower Amazon and three (3) lesser areas: Óbidos (O), Santarém (S) and Monte Alegre (M). The boundaries of these fisheries appear in light grey; the Amazon River and floodplain lakes appear in dark grey.....	156
Figure 2: Monthly fishery production in the Amazon river near the fishery grounds of Óbidos, Santarém and Monte Alegre from January of 1993 to December of 2004.	161
Figure 3: Monthly fishery production in floodplain lakes near the fishery grounds of Óbidos, Santarém and Monte Alegre from January of 1993 to December of 2004.	162
Figure 4: Diagram showing temporal variation in the average CPUE by taxonomic family in the catches in the (a) Amazon River, and in (b) floodplain lakes in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004.....	163
Figure 5: Graphic illustration of the results of the ANOVA test for the average CPUE for fisheries in the river (above) and floodplain lakes (below) in the Lower Amazon, according to target family and year.....	165
Figure 6: Graphic illustration of the DCA analysis for the monthly average CPUE in the Lower Amazon, by fishery ground and environment.....	166
Figure 7: Graphic illustration of the first and second main component of the DCA analysis of the monthly average CPUE by target families caught in the Lower Amazon by fishery and fishery environment.	166+167
Figure 8: Graphic illustration of the RDA analysis results for the monthly average CPUE in the Lower Amazon (river and floodplain lakes) in relation to the anomalies in hydrometeorological variables.	170

CAPÍTULO 4

- Figura 1: A área de estudo incluiu a região do Baixo Amazonas e a subdivisão em três municípios de pesca: Óbidos, Santarém e Monte Alegre (M). Limites dos municípios de pesca estão em cinza claro (linhas); o rio Amazonas e lagos de várzea em cinza escuro (polígonos). 193
- Figura 2: Série temporal da (a) produção pesqueira (kg.mês^{-1}) e do esforço de pesca como (b) número de pescadores e (c) dias de pesca de gênero *Hypophthalmus* para os municípios de pesca de Óbidos, Santarém e Monte Alegre da região do Baixo Amazonas. Período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004. 199
- Figura 3: Série temporal da anomalia normalizada e espectro de potência da TO (direita) da CPUE de *Hypophthalmus* nos locais de pesca de Obidos, Santarem e Monte Alegre. Período de 1993 a 2004. O contorno preto e grosso designa o nível de confiança de 95% contra o ruído vermelho e do cone de influência (COI), onde os efeitos de borda podem distorcer, a imagem é mostrada como uma tonalidade mais clara. 200
- Figura 4: Ondeleta cruzada entre a CPUE de *Hypophthalmus* nos pesqueiros de Óbidos, Santarém e Monte Alegre para ambientes de lagos e eventos ENSO (MEI). O lado esquerdo representa a energia da ondeleta cruzada (cw) e o lado direito a ondeleta coerência (wc). Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso (cone de influência). A fase relativa é mostrada como vetores. 201
- Figura 5: Representação gráfica do modelo GAM para CPUE de *Hypophthalmus* em ambiente lacustre nos pesqueiros do município de Óbidos. Considerando a variabilidade interanual (YEAR), a umidade do ar e do solo como o conjunto de variáveis mais explicativas do modelo. Linha continua é a previsão da CPUE e linha pontilhada é o intervalo de confiança. 202
- Figura 6: Representação gráfica do modelo GAM para CPUE de *Hypophthalmus* em ambiente lacustre nos pesqueiros do município de Santarém. Considerando a variabilidade interanual (YEAR), o escoamento superficial (RUNOF), o Gradiente Inter-hemisférico de Temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico (GITA) e a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) como as variáveis mais explicativas. Linha continua é a previsão da CPUE e linha pontilhada é o intervalo de confiança. 203
- Figura 7: Representação gráfica do modelo GAM para CPUE de *Hypophthalmus* em ambiente de lagos na várzea do município de pesca de Monte Alegre. Os extremos de temperatura do ar (TMAX2m, TMIN2m) e a temperatura da superfície do mar na plataforma continental do Amazonas (SSTA_AZ) e do Pará (SSTA_PA) junto com a variabilidade interanual (YEAR) como as variáveis mais explicativas. Linha continua é a previsão da CPUE e linha pontilhada é o intervalo de confiança. 204

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Localização das três sub-áreas de estudo	37
Tabela 2: Variáveis meteo-hidro-oceranográficos provenientes de reanálises, com as siglas e unidades de medida.	46
Tabela 3: Descrição dos aparelhos de pesca utilizados nas pescarias com redes na região do Baixo Amazonas. Fonte: adaptado de Isaac <i>et al.</i> , 2004.....	56

CAPÍTULO 1

Table 1: Summary of the power peaks and response times (phases) observed in the cross-wavelet analysis of the hydrological parameters in the Lower Amazon. Period: January 1982 - October 2009. Where anomalies: TMPsfc_LA = surface temperature in the Lower Amazon, SSTA_PA = sea surface temperature on the continental shelf of Pará and MEI = Multivariate ENSO Index.....	103
---	-----

CAPÍTULO 2

Table 1: The co-occurrence groups for each fishery environment (rivar and lake) in the Lower Amazon region.	123
Table 2: Distribution of the total catch (t) and average CPUE (t.fisherman ⁻¹ .day ⁻¹) of the different co-occurrence groups and standard deviation for floodplain lake and each fishing area (Óbidos, Santarém, Monte Alegre) in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004, with motorized vessels using gill net fishing technique. GL: co-occurrence group in the floodplain lake, GL1: <i>Hypophthalmus marginatus</i> , <i>H. edentatus</i> ; GL2: <i>Liposarcus pardalis</i> ; GL3: <i>Mylossoma duriventre</i> , <i>Myleus schomburgki</i> ; GL4: <i>Pimelodina flavipinnis</i> , <i>Schizodon fascitum</i> ; GL5: <i>Pachypops sp</i> , <i>Plagioscion auratus</i> ; <i>Prochilodus nigricans</i> ; <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>P. tigrinum</i> ; <i>Colossoma macropomum</i> ; <i>Brachyplatystoma vaillanti</i>	125
Table 3: Distribution of the total catch (t) and average CPUE (t.fisherman ⁻¹ .day ⁻¹) of the different co-occurrence groups and standard deviation for Amazon river and each fishing area (Óbidos, Santarém, Monte Alegre) in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004, with motorized vessels using gill net fishing technique. GR: co-occurrence group in the Amazon river; GR1: <i>Hypophthalmus marginatus</i> , <i>H. edentatus</i> ; GR2: <i>Mylossoma duriventre</i> , <i>Myleus schomburgki</i> ; GR3: <i>Prochilodus nigricans</i> ; GR4: <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>P. tigrinum</i> ; <i>Colossoma macropomum</i> ; <i>Brachyplatystoma filamentosum</i> ; GR5: <i>Brachyplatystoma vaillanti</i>	126
Table 4: Nested ANOVA results summary for the monthly mean values of CPUE in the three regions of the Lower Amazon, in the floodplain lakes and in the Amazon River, between January 1993 and December 2004. GL: co-occurrence group in floodplain lake, GR: co-occurrence group in Amazon River, M: month and Y: year.	128

- Table 5: The cross-correlation between the CPUE in the fishery areas near the cities of Óbidos, Santarém and Monte Alegre verified in floodplain lake environments and environmental variables. GL: co-occurrence group in floodplain lake; GL1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GL2: *Liposarcus pardalis*; GL3: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GL4: *Pimelodina flavipinnis*, *Schizodon fascitum*; GL5: *Pachypops sp*, *Plagioscion auratus*; *Prochilodus nigricans*; *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma vaillantii*; ARD: Amazon River discharge; WL: Amazon River level; u: wind zonal component in the Lower Amazon region; TMPsfc: surface temperature; TMIN2m: minimum air temperature at 2 m; SPFH2m; specific humidity; SWSoilM: water content of the soil; SSTA: sea surface temperature on North Brazilian Continental Shelf; MEI: El Niño/La Niña multivariate index; GITA: gradient inter-hemispheric of sea surface temperature in the Atlantic. Highlighted values: $r > 0,55$. Grey color: moderate to strong correlation (Dancey and Reidy, 2007)..... 132
- Table 6: Cross-correlation between the CPUE in the fisheries grounds of Óbidos, Santarém and Monte Alegre verified in Amazon river and environmental variables. GR: co-occurrence group in the Amazon River fisheries grounds; GR1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GR2: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GR3: *Prochilodus nigricans*; GR4: *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma filamentosum*; GR5: *Brachyplatystoma vaillantii*; ARD: Amazon river discharge; ; WL: Amazon River level; u: wind zonal component in the Lower Amazon region; TMPsfc: surface temperature; TMIN2m: minimum air temperature at 2 m; SPFH2m; specific humidity; SWSoilM: water content of the soil; SSTA: sea surface temperature on North Brazilian Continental Shelf; MEI: El Niño/La Niña multivariate index. Highlighted values: $r > 0,55$. Grey color: moderate to strong correlation (Dancey and Reidy, 2007). 134
- Table 7: Brief show the strongest cross-correlation, $r > 0.55$ (Dancy and Reidy, 2007) between the CPUE in the fishing grounds near the Óbidos, Santarém and Monte Alegre cities verified in floodplain lake environments and environmental variables. WL: Amazon River level (flood pulse); TMPsfc: surface temperature; MEI: El Niño/La Niña multivariate index..... 136

CAPÍTULO 3

- Table 1: Average monthly fish production (kg) and CPUE (kg/fisherman day) per taxonomic family and fish caught and by artisanal driftnet fishery environment in the Lower Amazon. 163
- Table 2: ANOVA results between average monthly CPUE and spatial-temporal variables. (Y) year, (M) month, (REG) fishery, (FM) Taxonomic family. 164

CAPÍTULO 4

Tabela 1: Correlação cruzada entre CPUE do gênero *Hypophthalmus* em lagos por municípios de pesca de Óbidos, Santarém e Monte Alegre e variáveis ambientais como descarga do rio Amazonas (ARD), nível do rio Amazonas (WL), componente zonal do vento (u), temperatura do solo (TMPsfc), escoamento superficial (RUNOF), e índice multivariado dos eventos ENOS (MEI)..... 199

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Adunbância
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Amazonas
AN	Anostomidae
ANA	Agência Nacional de Águas
ANOVA	Análise de Variância
AP	Plataforma Continental do Amapá
ARD	Vazão do rio Amazonas
AT	Água Tropical
ATSM	Anômalia da Temperatura da Superfície do Mar
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AZ	Plataforma Continental do Amazonas
C	Captura
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDAS	Climate Data Assimilation System
CI	Cichlidae
CL	Clupeidae
CN	Carnivores
CO	Ondeleta de Coerência
COI	Cone of Influence
CPUE	Captura por Unidade de Esforço
CSIC	Consejo Superior de Investigación Científica
CT	Cota do rio
CV	Chuva
CW	Cross Wavelet
DCA	Detrend Correspondence Analysis
DOG	Derivative of Gaussian
DR	Doradidae
DT	Detritivores
E	Esforço
ECO	Espectro Cruzado de Ondeletas

ENOS	El Niño/Oscilação Sul (em inglês ENSO)
EOF	Funções Ortogonais Empíricas (em inglês EOF)
FADESP	Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa
GAM	Modelo Aditivo Generalizado
GITA	Índice Gradiente Inter-hemisférico da TSM do Atlântico
GLM	Modelo Linear
GTZ	Agência de Cooperação Técnica Alemã
HB	Herbívoros
HY	Hypophthalmidae
IARA	Administração Recursos Pesqueiros na Região do Médio Amazonas
IBAMA	Instituto Bras. Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPCC	International Panel on Climate Change
LA	Lower Amazon
LAT	Latitude
LHF	Latent Heat Flux
LONG	Longitude
LR	Loricariidae
MA	Monte Alegre
MEI	Multivariate ENSO Index
NAO	Oscilação do Atlântico Norte
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCSB	Northern Continental Shelf of Brazil
NLSST	Non Linear Sea Surface Temperature
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NODC	National Oceanographic Data Center
OB	Óbidos
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
ON	Omnívoros
PA	Plataforma Continental do Pará
PC	Prochilodontidae
PCA	Principal Component Analysis

PCN	Plataforma Continental Norte
PCNB	Plataforma Continental Norte do Brasil
PEVPR	Evaporação Potencial
PI	Pimelodidae
PL	Planktophages
PODAAC	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
PPGEAP	Programa de Pós Graduação em Ecologia Aquática e Pesca
PROPESP	Pró-Reitoria de Educação e Pesquisa
PROVARZEA	Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea
PS	Piscivorous
PV5	Projeto Pathfinder versão 5.0
Q	Capturabilidade
RDA	Análise de Redundância
RF, RAINFAL	Pluviosidade (chuvas)
RSMAS	Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science
RUNOF	Escoamento Superficial
SC	Sciaenidae
SOG	Satellite Oceanography Group
SPFH2m	Umidade do ar a 2 metros da superfície
SR	Serrasalmididae
SST	Sea Surface Temperature
SSTA	Sea Surface Temperature Anomaly
ST	Santarém
SWSoilM	Umidade do solo
TMAX2m	Temperatura MAXima do ar a 2 m da superfície
TMIN2m	Temperatura MINima do ar a 2 m da superfície
TMP2m	Temperatura média do ar a 2 m da superfície
TMPsfc	Temperatura da superfície (solo)
TO	Transformada de Ondeleta
TRF	Transformada Rápida de Fourier
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
u	Componente zonal do vento a 10 m da superfície
UFPA	Universidade Federal do Pará
v	Componente meridional do vento a 10 m da superfície

VZ	Vazão
WC	Wavelet Coherence
WCS	Wavelet Cross Spectrum
WL	Nível do rio Amazonas
WT	Wavelet Transform
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar a variabilidade espaço-temporal da captura dos principais recursos pesqueiros no rio Amazonas e lagos do Baixo Amazonas, assim como relacionar a CPUE (Captura por Unidade de Esforço) com anomalias das variáveis ambientais do sistema rio-atmosfera-oceano, determinando a influência do ambiente sobre a pesca ou capturabilidade desses recursos. Os dados sobre pesca foram coletados nos desembarques das regiões pesqueiras de Obidos, Santarém e Monte Alegre, localizados no Baixo Amazonas, de janeiro de 1993 a dezembro de 2004. Foram empregadas técnicas de correlação cruzada, ondeleta, ondeleta cruzada, análise de variância (ANOVA), análise de correspondência destendenciada (DCA), análise de redundância (RDA) e modelo aditivo generalizado (GAM) para análise das séries temporais. A vazão do rio Amazonas é altamente correlacionada com eventos de *El Niño/La Niña* – Oscilação Sul (ENOS), bem como com a temperatura do ar (TMAX2m, TMP2m) e do solo (TMPsfc), a umidade do solo (SWSOILm), a evaporação potencial (PEVPR) e o Gradiente Inter-hemisférico da Temperatura da superfície do mar no Atlântico (Índice GITA). Por outro lado, a precipitação apresenta alta correlação com a componente zonal do vento (u), TMAX2m, TMPsfc, SWSOILm e o ENOS, estimado pelo MEI (Índice Multivariado do ENOS). Entretanto, este estudo demonstra que a dinâmica do ciclo hidrológico da Bacia Amazônica é dependente de outros fenômenos que atuam não só sobre a variabilidade sazonal, mas também em escalas de tempo mais longas, como os períodos interanuais e quasi-decadal. Isto é especialmente relevante durante a estação seca, quando há uma contração do ambiente aquático e uma escassez de alimentos disponíveis neste ambiente. As variáveis ambientais ou um conjunto delas agem de maneira distinta sobre os estoques pesqueiros e o sucesso das capturas de cada área de pesca estudada. Apesar da pesca covariar com as variáveis ambientais em escala anual, bianual e interanual, seu tempo de resposta mais intenso ocorre em uma escala infra-anual, indicando que as variações sazonais afetam fortemente o sucesso das pescarias. A produção pesqueira no Baixo Amazonas apresenta diferenças de acordo com o ambiente, sendo no rio aproximadamente a metade do que a produção em lagos de várzea. Essa variabilidade ocorre tanto ao longo da região do Baixo Amazonas (gradiente

longitudinal) como lateralmente em cada município estudado (gradiente latitudinal). No Baixo Amazonas, a produção pesqueira no rio Amazonas é aproximadamente a metade que a produção em lagos na várzea. A constante mudança da paisagem na várzea amazônica tem indicado que as áreas de pesca e conseqüentemente os estoques pesqueiros estão mais vulneráveis as mudanças climáticas locais, regionais e globais. Os resultados devem ajudar em futuras políticas de gestão pesqueira que visem proteger a ictiofauna e os diversos ecossistemas aquáticos.

Palavras-chave: pesca, ciclo hidrológico, várzea, Bacia Amazônica, sistema rio-atmosfera-oceano, mudanças climáticas.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study the spatio-temporal capture of the main fishery resources in the Amazon River and floodplain lakes of the Lower Amazon, as well as to relate the CPUE (Catch Per Unit Effort) with anomalies of the river-atmosphere-ocean system environmental variables determining the influence of the environment on fishing or catchability of these resource. Fisheries data were collected from landings of fishing areas in Obidos, Santarém and Monte Alegre, in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004. Techniques such as the Cross-Correlation, Wavelet, Cross Wavelet, Analysis of Variance (ANOVA), Detrended Correspondence Analysis (DCA), Redundancy Analysis (RDA) and Generalized Additive Model (GAM) were employed for the time series analysis. The river discharge, the water level and the precipitation of the Lower Amazon region have high entropy at the seasonal and interannual scales. The river flow is highly correlated to the *El Nino* - Southern Oscillation (ENSO) phenomenon, as well as with the air temperature (TMAX2m, TMP2m), the soil temperature (TMPsfc), the soil moisture level (SWSOILm), the potential evaporation (PEVPR) and the Atlantic Inter-Hemispheric Sea Surface Temperature Gradient (GITA) Index. On the other hand, precipitation has a high correlation with the zonal component of the wind (u), TMAX2m, TMPsfc, SWSOILm and the ENSO, as measured by the MEI (Multivariate ENSO Index). However, this study demonstrates that the dynamics of the Amazon River Basin hydrological cycle is dependent not only on the environment's seasonal variability, but also on other events acting in longer time scales, such as the interannual and quasi-decadal periods. This is especially important during the dry season, when there is a contraction of the aquatic environment and a shortage of food available in this environment. Environmental variables or a set of them act differently on fish stocks and the success of the catch of fishing area. Although fishing covariar with annual, biannual and interannual environmental variables scale, their response time is more intense on the infra-annual scale indicating that the seasonal variations strongly affect the fisheries success. Fish production in the Lower Amazon differs according to the environment, being on the river about half of the floodplain lakes production. This variability occurs both along the Lower Amazon

region (longitudinal gradient) and laterally in each fishing area (latitudinal gradient). Fish production in the Amazon River is approximately half the production of the floodplain lakes. The constant landscape changelings in the Amazon floodplain indicates that the fishing area and stock are consequently more vulnerable to local, and regional climate variability and to global changes. The results presented here may help in future fisheries policies aimed at protecting the diverse aquatic ecosystems and fish populations.

Keywords: fishing, water cycle, floodplain, Amazon basin, river-atmosphere–ocean system, global changes.

INTRODUÇÃO

Seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 2011, disponíveis para consulta gratuitamente no endereço eletrônico:

http://www.ufpa.br/bc/site/index.php?option=com_content&view=article&id=94:disponibilizacao-de-normas-da-abnt&catid=4:paginas-dinamicas&Itemid=24

A pesca é uma atividade tradicional da Amazônia praticada desde as populações indígenas que viviam na região no período pré-colombiano (MEGGERS, 1977; GILMORE, 1986). Tanto no Baixo Amazonas como em toda região amazônica, essa atividade se diferencia de outras regiões do país pela grande quantidade de espécies exploradas, e pela importância da produção pesqueira para a manutenção das populações ribeirinhas moradoras na área. É uma atividade essencialmente artesanal e faz uso de diversas artes de pesca com diferentes graus de desenvolvimento tecnológico. Diferentes estratégias de pesca e diferentes comportamentos frente aos recursos e ao ambiente contribuem para o aumento da complexidade da pesca amazônica. Essa variedade segundo Freitas e Rivas (2006) se deve, dentre outros fatos, ao predomínio de técnicas de baixo impacto na detecção dos cardumes e nas operações de captura. A pesca artesanal é uma pesca essencialmente oportunista, permite ao pescador adaptar diferentes técnicas e estratégias para pescar o recurso que em certos momentos otimiza os rendimentos (econômicos e produtivos), fazendo com que apresente um ordenamento dinâmico mas pouco padronizado (BATISTA *et al.*, 2004).

Roberts (1972) estimou em mais de 1.300 espécies a composição da ictiofauna na Amazônia. Barthem (1995) observou que, aproximadamente, 200 espécies eram comercialmente exploradas. Entretanto, Barthem e Fabre (2004) analisando o desembarque pesqueiro nos principais portos da Amazônia, verificaram que a quantidade de espécies comercialmente exploradas se restringe de seis (6) a doze (12) espécies, representando 80 % do total desse desembarque. Os autores também indicam que a composição e a quantidade do pescado comercializado numa região estão relacionadas ao tipo de ambiente que predomina na área de

pesca e à cultura regional, como ocorre por exemplo, no caso da preferência de peixes de escamas em relação aos bagres na Amazônia Central.

As espécies da ictiofauna amazônica possuem estratégias para se adaptarem às mudanças sazonais nos ambientes que ocupam, como rios, lagos, igarapés, paranás e a várzea propriamente dita (BARTHEM e FABRE, 2004). O pleno entendimento destas estratégias é fundamental para a compreensão da abundância e da composição dos recursos pesqueiros e, assim, para a gestão pesqueira sustentável. Diversas pesquisas sobre a biologia, alimentação, metabolismo, desenvolvimento, crescimento, migração e dinâmica populacional das espécies alvos das pescarias na Amazônia, bem como seu estado de exploração, tem contribuído para o entendimento destas estratégias (KNOPPEL, 1970; KRAMER *et al.*, 1978; BAYLEY 1988; LOUBENS e PANFILI, 1997; FABRÉ e SAINT-PAUL, 1998; RIBEIRO e PETRERE, 1990; RUFFINO e ISAAC, 1995; ISAAC e RUFFINO, 1996; BARTHEM e GOULDING, 1997; ISAAC e RUFFINO, 1999; ISAAC *et al.*, 2000; RUFFINO e ISAAC, 2000; ALONSO e FABRE, 2002; entre outros).

Analisando as pescarias do Baixo Amazonas, Isaac *et al.* (2004), analisando os dados de desembarque dos anos de 1994, 1995 e 1996 em Santarém indicam que as pescarias dos lagos, apesar de apresentar em uma menor eficiência das técnicas utilizadas e uma produtividade menor por ser efetuadas por pesca artesanal de menor escala, concentram o maior esforço pesqueiro e respondem por 62% do volume dos desembarques registrados em Santarém ou 46% do total capturado em toda a região. Já em ambientes fluviais, como rios, furos e igarapés foi capturado 53% do volume total produzido, mas com um número menor de viagens, indicando um rendimento maior e maior eficiência das pescarias nestes ambientes. Esses autores afirmam que os ambientes lacustres são utilizados de forma mais ou menos uniforme durante praticamente o ano inteiro, enquanto que as capturas nos rios apresentam maior produção nos meses de seca, quando os níveis dos rios são mais baixos. Um grande volume de chuvas, por outro lado, beneficiaria capturas em ambientes alagados se comparados às pescarias no rio, onde a localização de cardumes nesse período é prejudicada. Assim, três fatores relacionados à pesca na área de estudo podem ser identificados: i) as variações da capturabilidade com ciclo

sazonal e; ii) o recrutamento com variabilidade anual e interanual, iii) separação por ambiente de pesca lagos e rio.

O sucesso das capturas de pescado e os picos sazonais nos volumes de pescado desembarcado são influenciados diretamente pelo ciclo hidrológico, que imprime um importante papel no gerenciamento desses recursos e obriga o pescador a adaptar suas estratégias de captura quanto ao comportamento dos peixes, variando suas técnicas de pesca e adaptando-se variabilidade ambiental nessa área. A variabilidade do pulso de alagação, gerada a partir da dinâmica da vazão dos rios da bacia hidrográfica do rio Amazonas, tem sido indicada como responsável pela extensão de áreas alagadas que proveem uma importante porcentagem da base energética que sustenta os recursos pesqueiros comercialmente explorados. Com uma maior vazão, os rios transbordam o seu leito e alagam suas áreas marginais provocando, com isso, a expansão dos ambientes aquáticos (BARTHEM e FABRE, 2004). A alagação por transbordamento que ocorre nas áreas de pesca da planície amazônica é um dos principais fatores que governam a dinâmica da pesca nessa região. Isaac *et al.* (2004) observaram uma relação entre o ciclo hidrológico, bem como as variações do nível dos rios, com a variabilidade e a composição das capturas ao longo do ano, indicando que no começo da estação chuvosa (início do ano) as capturas eram baixas, crescendo até o mês de maio (cheia), onde ocorre o primeiro período de maior captura e depois tornando a decrescer e crescer até o segundo pico no mês de setembro (seca).

As principais fontes de energia primária na cadeia trófica aquática amazônica são frutos, folhas e sementes, provenientes das florestas e campos alagados, e algas oriundas de ambientes lacustres e áreas alagadas abertas (ARAUJO-LIMA *et al.*, 1986; FORSBERG *et al.*, 1993; ARAÚJO-LIMA *et al.*, 1995; JUNK *et al.*, 1997). Esses alimentos são disponibilizados para o meio durante o período de enchente (dezembro a fevereiro), que também permite a expansão dos ambientes aquáticos na planície de inundação. Esta fase do ciclo de inundação também está associada ao período de desova de inúmeras espécies migradoras (LOWE-McCONNEL, 1987 *apud* BARTHEM e FABRE, 2004).

Junk *et al.* (2011) exemplificam essa dinâmica de ajuste entre o pulso hidrológico e ecológico, através do esquema mostrado na Figura 1, que demonstra que muitas espécies de peixes migram para a planície inundada durante a enchente/cheia, após a desova, para se alimentar de frutos, sementes, insetos terrestres e detritos, além do fitoplâncton, macrófitas aquáticas, zooplâncton e insetos aquáticos produzidos na planície de inundação. Os predadores também podem aproveitar esses ambientes em busca de suas presas, ali distribuídas. Na vazante, os peixes migram de volta para os rios, ao mesmo tempo em que as plantas e os animais terrestres ocupam a planície de inundação.

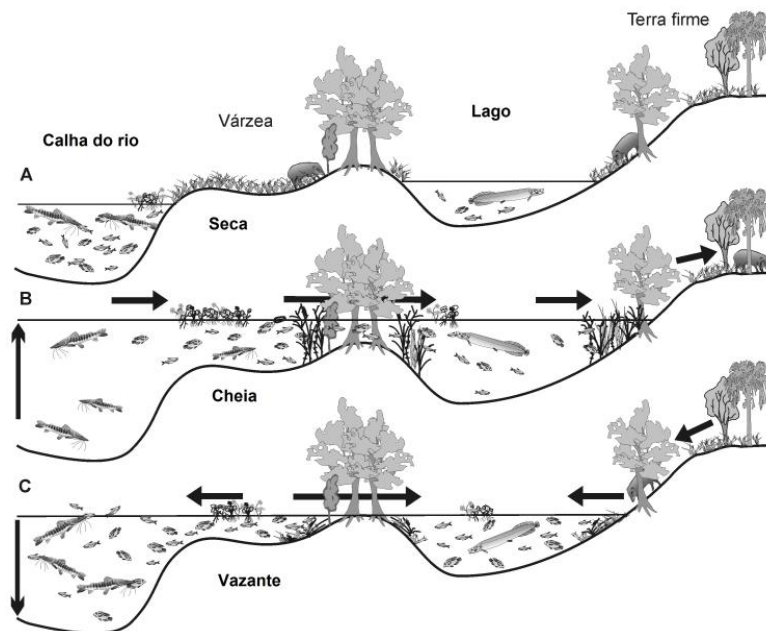


Figura 1 As migrações de peixes e mamíferos terrestres entre o canal do rio, lagos de várzea, várzea e terra firme, em diferentes fases do ciclo de alagação da bacia amazônica. (adaptado de JUNK *et al.*, 2011).

A cheia (março a maio) se caracteriza pelo domínio do ambiente aquático na planície de inundação. Nesse caso os peixes ficam mais dispersos devido ao incremento da área de distribuição da água. Durante a fase de vazante (junho a agosto), os peixes começam a se agrupar e as espécies migradoras iniciam a formação dos cardumes para sua migração de dispersão, que dura até o início da próxima enchente (RIBEIRO e PETRERE, 1990). O primeiro motivo de deslocamento dos peixes na Amazônia é de caráter trófico. Movimentos migratórios

com finalidade de reprodução são vistos como uma adaptação em função da abundância, pois não existem suficientes recursos numa área de desova ou criação para sustentar os indivíduos jovens e adultos (NIKOLSKY, 1969 *apud* ALONSO, 2002). A seca (setembro a novembro) é o período mais dramático para espécies aquáticas, pois o ambiente fica muito restrito e assim oferece pouco alimento e abrigo (BARTHEM e FABRE, 2004). Contudo, este período é mais favorável aos predadores, pois podem perseguir os cardumes que estão migrando no canal do rio ou presos em lagos e que tornam esses presas fáceis, como por exemplo, os caracoídeos e os siluroídeos (BARTHEM e FABRÉ, 2004; BARTHEM e GOULDING, 1997).

A geomorfologia e cobertura vegetal da planície de inundação do Baixo Amazonas foram alteradas significativamente ao longo dos anos, existindo uma tendência de degradação que deve intensificar com o desenvolvimento econômico (ZARIN *et al.*, 2001; RAFFLES e WINKLERPRINS, 2003). Um estudo realizado por Albernaz *et al.* (2007), através de um diagnóstico das comunidades arbóreas da várzea, verificara a existência de uma diferenciação longitudinal na composição de espécies na várzea. Estes autores indicam que práticas como cultivo de juta e criação de gado, por exemplo, causaram ou têm causado a redução de área florestada com perda de espécies nas áreas mais intensamente ocupadas ao longo da várzea. Informam ainda que a perda de floresta é citada pelos ribeirinhos como causa da diminuição do estoque pesqueiro. Desta forma, o fator que mais tem contribuído para a modificação da paisagem da várzea nessa região é o aumento de áreas para atividades agropecuárias.

Os recursos pesqueiros explorados pela pesca amazônica em geral são considerados apenas moderadamente explorados, apesar de que algumas das espécies de maior tamanho e/ou as mais intensamente comercializadas já tenham superado o máximo de exploração sustentável. Segundo Batista *et al.* (2004) este é o caso da piramutaba *Brachyplatystoma vaillantii* (BARTHEM e PETRERE, 1996), o tambaqui *Colossoma macropomum* (ISAAC e RUFFINO, 1996), os jaraquis *Semaprochilodus ssp* (BATISTA, 2000) e provavelmente o pirarucu *Arapaima gigas* (NEVES, 1995; QUEIROZ, 2000). Contudo, a modificação do habitat como resultado do uso desordenado da terra e mudanças hidrológicas é representem a maior

ameaça em longo prazo para a fauna de peixes da Amazônia e sua pesca (SAINT-PAUL *et al.*, 2000).

A arte e o apetrecho de pesca utilizado pelos pescadores depende da espécie alvo e/ou do ambiente de pesca escolhido. As redes de emalhar, apesar de sempre utilizadas, predominam nos ambientes lacustres. Mais especificamente, a *miqueira* (rede de nylon fino e malha pequena) e a *malhadeira* (rede de nylon mono ou multifilamento) predominam nos lagos e as *bubuias* (rede de nylon multifilamento utilizada à deriva na correnteza dos canais dos rios) são mais usadas nos rios (ISAAC *et al.*, 2004).

Isaac *et al.* (2004) distinguem a relação do uso de diversos tipos de rede com o ambiente e o recurso explorados, como: a) a miqueira é utilizada nos lagos, principalmente para a captura de *Hypophthalmus sp*, mas também é usada na pesca de peixes de escama como, por exemplo, o *Mylossoma duriventre* e o *Myleus schomburgki*; b) a malhadeira muito utilizadas na captura de *Colossoma macropomum*, *Liposarcus pardalis* e *Pachypops sp* em ambiente de lago, e para *Prochilodus nigricans* e bagres no rio; c) a bubuia é usada para a captura de bagres (como *Brachyplatystoma flavicans*, *Brachyplatystoma vaillanti*, *Brachyplatystoma filamentosum*, *Pseudoplatystoma sp*, *Paulicea luetkeni* e *Oxydoras niger*) principalmente nos canais dos rios.

Outro apetrecho de pesca muito utilizado é a tarrafa que é muito eficiente na captura de *Prochilodus nigricans* e *Pseudoplatystoma sp*, quer seja nas entradas de lago ou durante a piracema nos canais mais estreitos dos rios. Uma arte bastante específica é a redinha, rede retangular utilizada na forma de cerco, para a captura de pequenos peixes migradores, como *Semaprochiloduns sp* e também *Prochilodus nigricans*, *Brachyplatystoma vaillanti* e *Hypophthalmus sp*, nos canais dos rios.

Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho compreende a mesorregião do Baixo Amazonas nos Estados do Pará (PA) e Amazonas (AM), entre as latitudes $2^{\circ}20'N$ – $4^{\circ}00'S$ e longitudes $58^{\circ}20'W$ – $52^{\circ}30'W$ (Figura 2).

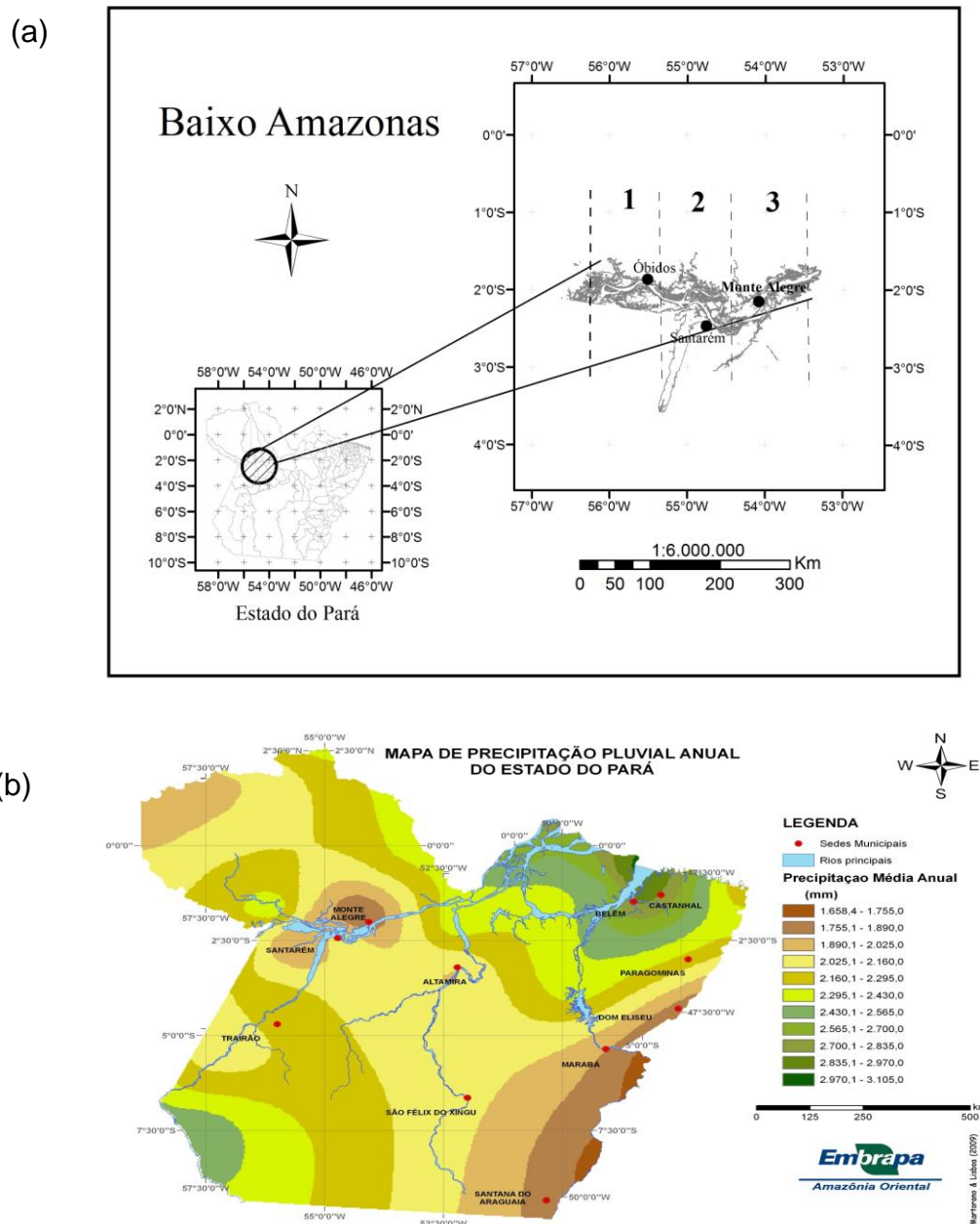


Figura 2: (a) Área de estudo, mesorregião do Baixo Amazonas e as três (3) áreas menores sendo: Parintins-Óbidos, Óbidos-Monte Alegre e Monte Alegre-Almeirim; (b) mapa de precipitação pluvial anual do Estado do Pará (fonte: EMBRAPA – Amazônia Oriental).

A região do Baixo Amazonas foi subdividida em três (3) sub-áreas menores buscando uma melhor regionalização dos dados de clima (Figura 2b) e de pesca, conforme tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1: Localização das três sub-áreas de estudo

Área	Limite	Latitude	Longitude
Baixo Amazonas	Estados do Pará (PA) e Amazonas (AM)	2°20'N – 4°00'S	58°20'W – 52°30'W
Área 1	Parintins/AM-Óbidos/PA	4°00'S - 2°00'N	58°20'W – 55°30'W
Área 2	Óbidos/PA-Monte Alegre/PA	4°30'S - 2°00'N	55°30'W – 53°30'W
Área 3	Monte Alegre/PA-Almeirim/PA	3°30'S - 2°00'N	53°30'W – 52°30'W

As características físico-químicas das águas que percorrem a bacia amazônica variam muito, em função da origem da água, do tipo de solo que drenam e das condições climáticas. Nesta pesquisa serão usados apenas corpos de água branca que de acordo com a classificação proposta por Sioli (1984), indicam rios de água turva, barrenta e amarela, como por exemplo, os rios Amazonas, Solimões e Purus.

Na Amazônia existem diferentes áreas úmidas ou planícies inundáveis. Em áreas periodicamente inundadas existem matas de várzeas, inundadas pelos rios de água branca durante o período chuvoso. A várzea representa um sistema complexo de inúmeras ilhas, diques marginais, lagos, furos e paranás, que variam de forma e tamanho conforme o nível das águas.

De maneira geral, as planícies inundáveis representam de 5% a 10% da área da Amazônia e são inundadas, quase inteiramente todos os anos, na época das cheias (JUNK *et al.*, 1989). As margens do rio Amazonas são planas e o rio corre periodicamente dentro da planície aluvial (várzea), com largura variando de 20 a 200 km (BARTHEM e FABRÉ, 2004). As regiões mais rebaixadas da várzea são ocupadas por lagos rasos, chamados de lagos de várzea, podendo atingir vários quilômetros de extensão.

O ciclo hidrológico na bacia amazônica é influenciado por sistemas atmosféricos que afetam a região como, por exemplo, as linhas de instabilidade (LIs), a brisa fluvial, a penetração de sistemas frontais (S/SW) e a organização da convecção tropical (Zona de Convergência Intertropical - ZCIT). A posição da ZCIT é a principal parâmetro responsável que governa o regime pluviométrico na Amazonia (SOUZA, KAYANO e AMBRIZZI, 2005). Os ventos alísios (de leste) são os dominantes na região amazônica e são responsáveis pela entrada de vapor de água, proveniente do Oceano Atlântico. Esta é também a região com os índices pluviométricos mais elevados do planeta, com média de 2.200 mm por ano (FREITAS e CASTRO, 2006). Os ventos e as precipitações são considerados fatores determinantes dos ciclos hidrológicos anuais, interferindo na vazão e no nível do rio.

Alguns autores investigaram a variabilidade do ciclo hidrológico e sua relação com a dinâmica, o recrutamento e a pesca de espécies comerciais em águas interiores como por exemplo podemos citar: Cetra e Petreire Jr. (2001), Craig *et al.* (2004), Agostinho *et al.* (2005), Welcomme (2006), Bailly *et al.* (2008), Luz-Agostinho *et al.* (2008), Murchie *et al.* (2008), Welcomme (2008), Zeug *et al.* (2008), da Silva *et al.* (2009), Janáč *et al.* (2010), Perkin *et al.* (2010), Tan *et al.* (2010).

Apesar da relevância dos estudos anteriores contudo, ainda falta estudar a influência do ciclo hidrológico e do clima regional e global na produtividade pesqueira da região utilizando um conjunto de dados contínuos de captura e de produção pesqueira ao longo do rio Amazonas e seu entorno.

Para sanar essa lacuna na pesquisa científica a presente tese foi elaborada e disposta no formato de artigos, integrados como capítulos onde cada artigo é apresentado no formato exigido pela revista científica escolhida. As normas de cada revista estão detalhadas nos anexos a essa tese.

Objetivos

O objetivo geral desta tese é:

Analisar a variabilidade de variáveis meteorológicas e hidrológicas na mesorregião do Baixo Amazonas e sua relação com a pesca comercial multiespecífica com redes de emalhar por meio de técnicas de análise uni e multivariadas de séries temporais.

De maneira específica, os objetivos deste trabalho são:

- ❖ Descrever o comportamento temporal e espacial de variáveis meteorológicas e hidrológicas, relacionadas ao ciclo hidrológico na área de estudo.
- ❖ Estudar a associação entre eventos climáticos do El Niño/Oscilação Sul (ENOS), Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e Gradiente Inter-hemisférico da Temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico (GITA) e a variabilidade dos parâmetros meteorológicos e hidrológicos da área de estudo;
- ❖ Verificar a variabilidade espaço-temporal dos principais recursos pesqueiros no Baixo Amazonas considerando os diferentes ambientes aquáticos locais (rio e lagos) e as capturas com rede de emalhe.
- ❖ Relacionar as variáveis como produção, CPUE (captura por unidade de esforço) e padrões de pesca (rio-lagos) de multiespécies na mesorregião do Baixo Amazonas com os dados ambientais observacionais, e estimados por sensoriamento remoto e índices climatológicos MEI (Índice Multivariado do El Niño), NAO e GITA.

Justificativa

A pesca comercial em águas continentais na região amazônica tem sofrido mudanças no decorrer dos últimos anos, quer seja pela forma do produto comercializado ou pela maior acessibilidade de novas tecnologias e artes de pesca. No início do século XX, se tratava de uma atividade baseada na exploração de

espécies de peixes que eram vendidos geralmente salgados ou secos. Essa produção era voltada especialmente para o mercado regional. A pesca é um dos principais setores da economia regional, sendo responsável direta ou indiretamente por mais de 87 mil postos de trabalho com 57% de pescadores de subsistência e 33% de pescadores comerciais e pela circulação de aproximadamente R\$ 471 milhões por ano, considerando toda a porção brasileira da bacia amazônica (ALMEIDA e LORENZEN, 2002).

Quase toda a população da várzea, bem como uma significativa parcela da população urbana do Baixo Amazonas, tem a pesca comercial como parte de sua renda familiar. Hoje, a pesca está direcionada para os grandes centros urbanos da região e, através dos frigoríficos, para outras regiões do país ou para o exterior (ISAAC, MILSTEIN e RUFFINO, 1998).

Segundo os dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2012) em 2010 a produção pesqueira extrativista nacional foi de 785.366 ton e a região norte representou quase 30% do total nacional (232.176 ton). A pesca extrativista continental contribuiu com 32 % da produção nacional e 60 % da produção pesqueira da região norte. Os estados do Pará e Amazonas são os maiores produtores de pescado de águas continentais da região Norte, de onde se verifica que os rios e lagos da Amazônia são uma importante fonte de suprimentos. Essa participação regional pouco aumentou se comparada com os anos de 2000 (SOUZA JUNIOR e ALMEIDA, 2006) e 1994 (ABDALLA e BACHA, 1999) que era de 30 %. No Estado do Pará, a pesca continental contribuiu, em 2010, com 37 % da produção pesqueira estadual (aproximadamente 51.000 t), mostrando um acréscimo de 21% em 2010, quando comparado a 2009. Deve-se considerar ainda que os dados estatísticos podem estar subestimando a produção pesqueira verdadeira, pelo grande consumo de pescado que não aparece nos mercados de comercialização (CERDEIRA *et al.*, 1996; ISAAC e ALMEIDA, 2011).

O emprego de novas tecnologias na pesca, a expansão dos mercados consumidores e o aumento das exportações têm inserido uma pressão excessiva sobre os estoques pesqueiros de importantes espécies comerciais podendo levar a um colapso da pesca regional (SOUZA JUNIOR e ALMEIDA, 2006). McGrath *et al.*

(1993a, b), observaram que o uso de malhadeira e a crise da produção de juta, são fatores que contribuíram decisivamente para explicar a maior intensidade de pesca no final do século passado.

A pesca na região amazônica se caracteriza por ser multiespecífica e a utilização de guildas tróficas, grupos funcionais ou grupos de coocorrência podem ser uma solução para pesquisas pesqueiras nessa região em particular onde a abordagem monoespecífica normalmente não é a melhor opção. Essa abordagem auxilia no entendimento ecológica da dinâmica das populações de peixes, permitindo inferências sobre uso de habitat, disponibilidade de recursos e características comportamentais (HAHN *et al.*, 2004).

Peixes de águas interiores estão sujeitos a variação espaço-temporal quanto à disponibilidade de alimentos. A ictiofauna de rios tropicais é afetada por mudanças sazonais devido à expansão e retração do seu habitat. Variações sazonais de pluviosidade criam ou eliminam micro-habitats (MELO *et al.*, 2004). Chuvas intensas promovem um aumento do fluxo de água com grandes elevações na vazão dos rios; produzindo um aporte de matéria orgânica e inorgânica, levando a alterações na configuração do leito e carregamento da biota (LUIZ *et al.*, 1998).

Souza Junior e Almeida (*op. cit.*), verificou que 5 ou 6 espécies sofrem uma forte sobrepesca. A pesca de maior escala, com barcos de maior porte e produtividade maiores, produz pressão sobre os estoques pesqueiros, mesmo que as espécies-alvo tenham pouca demanda regional. Os resultados obtidos por Isaac *et al.* (2004) indicam que espécies que alcançam grandes tamanhos e que possuem baixas taxas de crescimento corporal, como tambaqui (*Colossoma macropomum*), surubim tigre (*Pseudoplatystoma tigrinum*), dourada (*B. flavicans*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e pirarucu (*Arapaima gigas*), estão sobreexploradas. Por outro lado, espécies mais oportunistas, como a pescada (*Plagioscion spp*), ainda parecem não sofrer sobrepesca; impõe-se também neste caso, o sucesso ou falhas do recrutamento, bem como sua captura total, estar relacionada com a variabilidade do ciclo hidrológico e com a velocidade, a frequência e a intensidade das inundações (MERONA, 1993).

A distribuição e ecologia dos recursos pesqueiros na região amazônica são determinadas pela paisagem, pelos ambientes disponíveis, pelas características meteorológicas e pela variabilidade do ciclo hidrológico da Amazônia (BARTHEM e FABRE, 2004). Esses autores sugerem que o gerenciamento e a conservação dos recursos pesqueiros nessa região, devam considerar o conceito de manejo de unidades paisagísticas, ou seja, ambiente e variabilidade dentro do sistema rio-área alagável. Recomendam ainda que a abordagem ecológica deva ser em meso ou macro escala (bacia, tributário e sistemas lacustres) ou mesmo em nível de ecossistemas para reforçar diretrizes e políticas públicas de conservação e manejo dos recursos pesqueiros na Amazônia.

A estatística pesqueira é considerada como essencial para o diagnóstico e o monitoramento dos estoques e da própria atividade do setor pesqueiro. A existência de séries contínuas de dados estatísticos na pesca continental de escala artesanal é rara no nosso país. A região amazônica sempre enfrentou problemas com a quantidade de dados coletados de forma contínua e suficientemente que permitissem estudar a atividade pesqueira nessa região e seus impactos durante um grande lapso de tempo. A pesca era analisada em caráter pontual como nas pesquisas feita por Goulding (1979) e Smith (1979) utilizando dados de um ano de desembarques em Porto Velho/Rio Madeira e em Itacoatiara/Amazônia Central, respectivamente. Posteriormente, autores como Petreire (1978a, 1978b; 1985a) e Merona e Bittencourt (1988; 1991) analisaram os desembarques na cidade de Manaus, registrados no período entre o ano de 1976 e 1986.

Na Amazônia, diversos projetos de pesquisa e extensão foram instalados na década de 1990, alguns dos quais conseguiram produzir séries contínuas de informações por mais de uma década. Dentre eles, destacamos o Projeto IARA-Administração dos Recursos Pesqueiros do Médio Amazonas para os Estados do Pará e Amazonas, que surgiu em 1991, com iniciativa de cooperação técnica entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência de Cooperação Técnica Alemã (GTZ), através da empresa de consultoria GOPA. Outro projeto de destaque foi o ProVárzea - Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea /IBAMA, dentre os objetivos tinha a regularização fundiária, elaboração de acordos de pesca para o ordenamento pesqueiro e como o

projeto IARA a construção de uma base de dados de pesca continental na Amazônia.

Com os dados de estatística pesqueira coletados na área de estudo, diversos trabalhos foram realizados no decorrer dos anos, focalizando um ou outro aspecto das pescarias (RUFFINO e ISAAC, 1994; ISAAC *et al.*, 1996; ISAAC *et al.* 1998; ISAAC e RUFFINO, 2000, Cerdeira *et al.*, 2000; BATISTA *et al.*, 2004; ISAAC *et al.*, 2008). Contudo, nenhum trabalho até o momento foi realizado com o propósito de estudar as correlações entre a dinâmica da pesca e as variações climáticas e hidrológicas em séries temporais contínuas. Quando se compreenderem melhor essas relações complexas entre a pesca e a variabilidade climática e do ciclo hidrológico, melhor poderemos elaborar ações mitigatórias frente a cenários futuros de mudanças climáticas e impactos ambientais, tais como as queimadas e o desmatamento florestal, o uso agropastoril e a urbanização no uso do solo, além da construção de hidroelétricas. Esses empreendimentos humanos e seus impactos tem sido constantes e já demonstram como podem alterar os ecossistemas aquáticos,

Material e Métodos

Materiais

Dados Hidrológicos

Os dados hidrológicos, como vazão (VZ), cota dos rios (CT) e chuva (CV) na área de estudo foram obtidos através da ANA (Agência Nacional de Águas – www.ana.gov.br) e sua rede de estações pluviométricas e fluviométricas. As séries temporais foram obtidas para o período de janeiro de 1975 a dezembro de 2006 (Figuras 3 e 4), visando o cálculo da climatologia e anomalias dessas variáveis. Sempre que possível, foram considerados dados de consistência 2, ou seja, dados com mais de uma leitura no mesmo dia, antes de serem transformados em médias mensais.

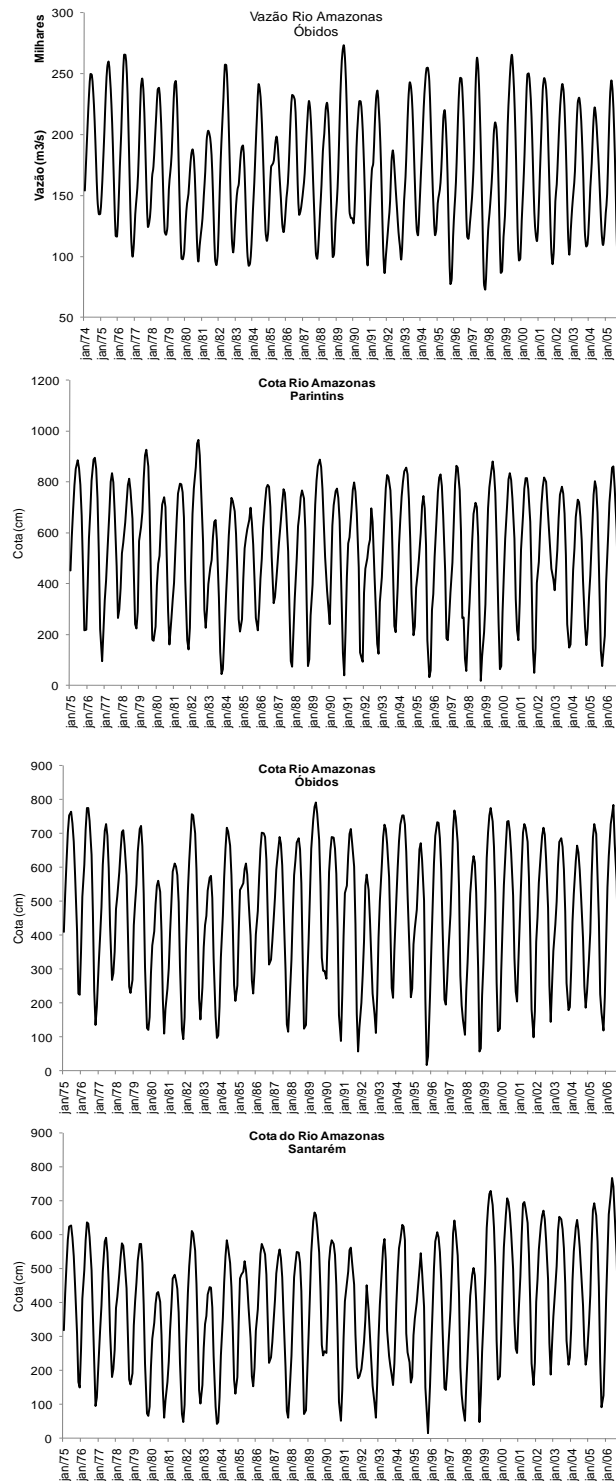


Figura 3: Séries temporais (média mensal) de vazão do rio Amazonas no município de Óbidos e de cotas no rio Amazonas nos municípios de Parintins, Óbidos e Santarém para o período de janeiro de 1975 a dezembro de 2006. Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas, 2010.

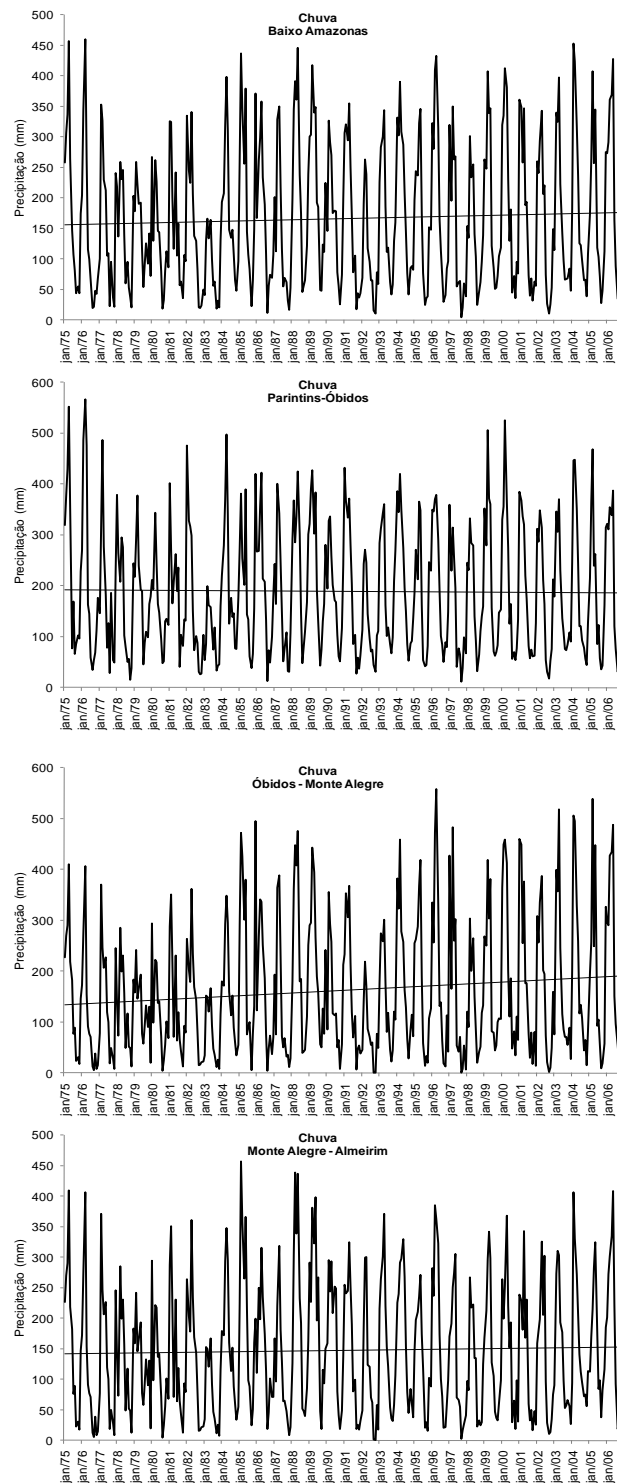


Figura 4: Séries temporais (média mensal) de chuva do período de janeiro de 1975 e dezembro de 2006 geradas para as áreas de estudo: Baixo Amazonas, Parintins-Óbidos, Óbidos-Monte Alegre e Monte Alegre-Almeirim. Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas, 2010.

Dados Meteorológicos, Hidrológicos e do Solo.

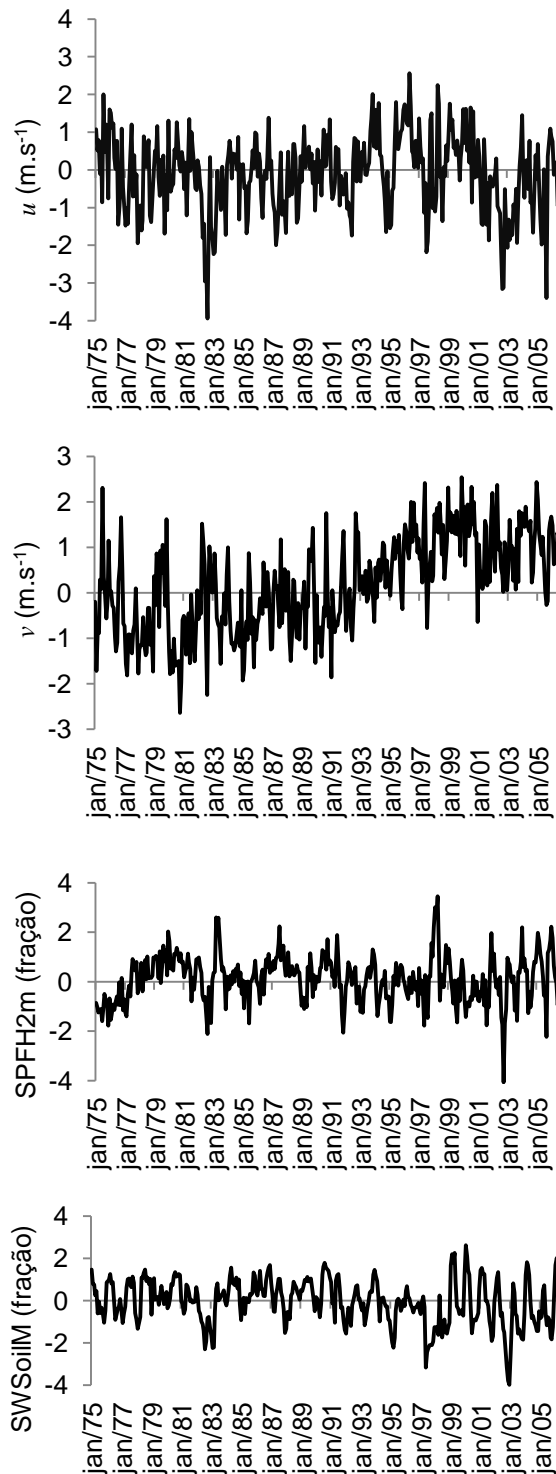
Os dados meteorológicos foram extraídos do banco NCEP/NCAR Reanalysis Project (*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*) *N/N Reanalysis* (EBISUZAKI *et al.*, 1998) e *Reanalysis 2* (KANAMITSU *et al.*, 2002). Esses dados de reanálises são gerados a partir do ajuste entre dados observacionais atmosféricos ou oceanográficos com dados de modelos matemáticos (PEZZI e SOUZA, 2005). Conjuntos de dados meteorológicos reanalisados têm algumas vantagens sobre outros conjuntos de dados mais tradicionais, como a qualidade dos dados que é controlada, eliminando descontinuidades no registro associados com mudanças no sistema de assimilação de dados e que contém erros grosseiros, seja instrumental ou humano. Entretanto, algumas dessas variáveis, como o fluxo de calor latente, são provenientes exclusivamente de modelagem, devendo incluir uma análise mais tendenciosa do que variáveis baseados em medições diretas, como velocidade do vento e umidade.

Foram usadas médias mensais distribuídas numa grade gaussiana com resolução espacial de 1,8758 km x 1,9058 km (lat/long). Os dados foram obtidos de acordo com a área de estudo e a região geográfica de cobertura dessa grade. Para estudar a variabilidade do ciclo hidrológico na região do Baixo Amazonas, empregou-se uma variedade de dados atmosféricos e de superfície (Tabela 2), incluindo a precipitação média mensal, escoamento superficial (RUNOF), velocidade do vento zonal e meridional a 10 m da superfície (u e v), umidade volumétrica do solo (SWSoilM), umidade específica (SPFH2m), temperatura a 2 m da superfície (TMP2m), entre outros. Esse conjunto de dados tem um lapso temporal de janeiro de 1975 a dezembro de 2006.

Tabela 2: Variáveis meteo-hidro-oceranográficos provenientes de reanálises, com as siglas e unidades de medida.

Parâmetro	Sigla	Unidade de medida
Escoamento superficial (runoff)	RUNOF	[kg.m ⁻²]
Componente zonal vento 10 m	u	[m.s ⁻¹]
Componente meridional vento 10 m	v	[m.s ⁻¹]
Umidade volumétrica do Solo	SWSoilM	[fração]
Umidade específica a 2 m superfície	SPFH2m	[fração]
Evaporação potencial	PEVPR	[W.m ⁻²]
Temperatura do ar a 2 m superfície	TMP2m	[K]

Segundo Mintz e Serafini (1992), uma desvantagem dos dados do NCEP / NCAR para estudos hidrológicos é o fato que os valores de umidade do solo são numericamente reconstruídos em direção a um valor de referência climatológica.



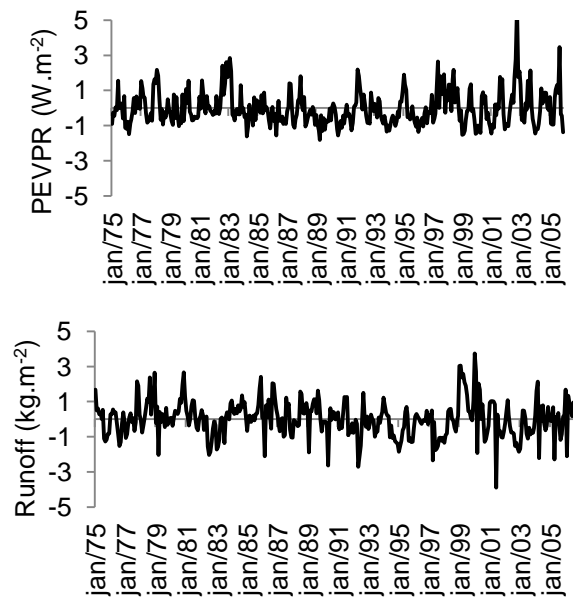


Figura 5: Séries temporais de anomalias da componente zonal do vento (u), da componente meridional do vento (v), da umidade do ar (SPFH2m), da umidade do sol (SWSOILM), da evaporação potencial (PEVPR) e do escoamento superficial (Runoff) no Baixo Amazonas. Período: janeiro de 1975 a dezembro de 2006.

Temperatura da Superfície do Mar

Os dados de TSM foram disponibilizados a partir do banco de dados global do projeto *Pathfinder versão 5.0* (PV5) desenvolvido pelo NODC (*National Oceanographic Data Center*) e pela RSMAS (*University of Miami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science*) e oferecidos pelo PODAAC (*Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*). O conjunto de dados de temperatura da superfície do mar (TSM) utilizados aqui foi o denominado “*Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST Field*” processado com o algoritmo NLSST (*Non Linear Sea Surface Temperature*) (recomendado por SOUZA *et al.*, 2005). Essa base de dados é derivada de dados históricos globais dos radiômetros AVHRR a bordo dos satélites NOAA desde o NOAA-9 até o presente. O banco de dados do Pathfinder representa um reprocessamento histórico de todas as séries de tempo de dados do AVHRR usando algoritmos mais consistentes para a determinação da TSM, melhor calibração individual e inter-satélites dos sensores, melhor controle de qualidade dos dados e algoritmo de detecção de nuvens (NODC/SOG, 2006). O produto PV5 tem uma resolução

espacial de 4 km x 4 km. Os dados PV5 foram obtidos em grades globais regulares a partir do endereço eletrônico ftp://podaac.jpl.nasa.gov/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/data_v5 para o período entre janeiro de 1982 até dezembro de 2006 na resolução temporal mensal.

Os dados foram obtidos considerando que a plataforma continental norte do Brasil (PCNB) foi dividida em três áreas menores, sendo a plataforma continental do nordeste do Pará (PA), plataforma continental do Amazonas (AZ) e plataforma continental do Amapá (AP) (Figura 6).

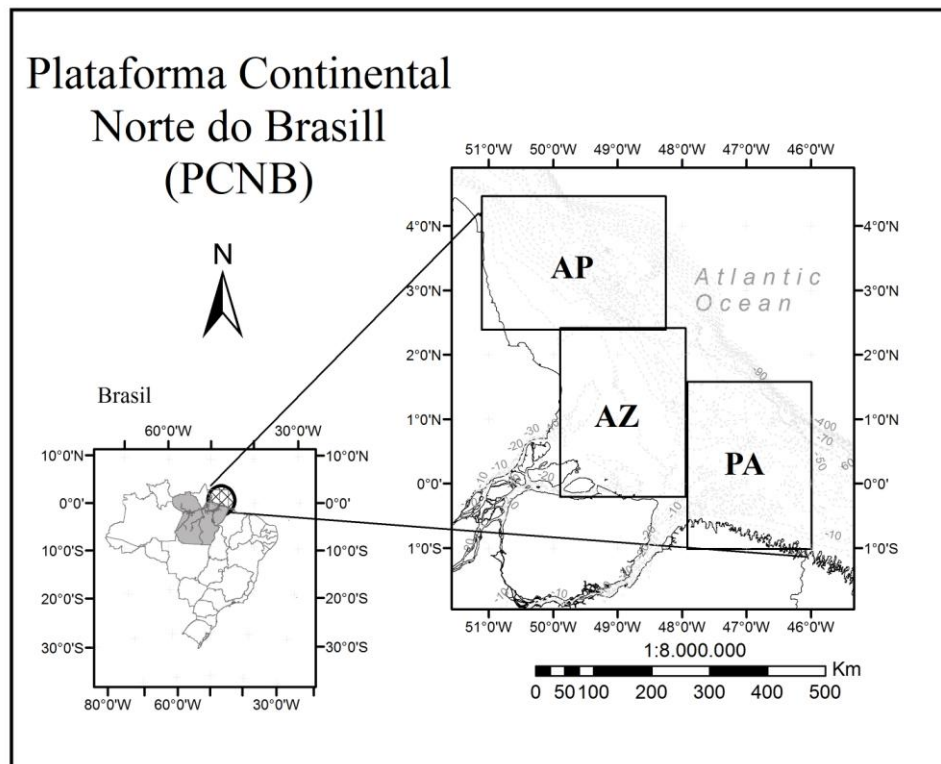


Figura 6: Área da Plataforma Continental Norte do Brasil (PCNB) e as três sub-áreas Plataforma Continental do Pará (PA), Plataforma Continental do Amazonas (AZ) e Plataforma Continental do Amapá (AP).

Foram calculadas médias mensais de TSM e depois estimadas suas anomalias (Figura 7).

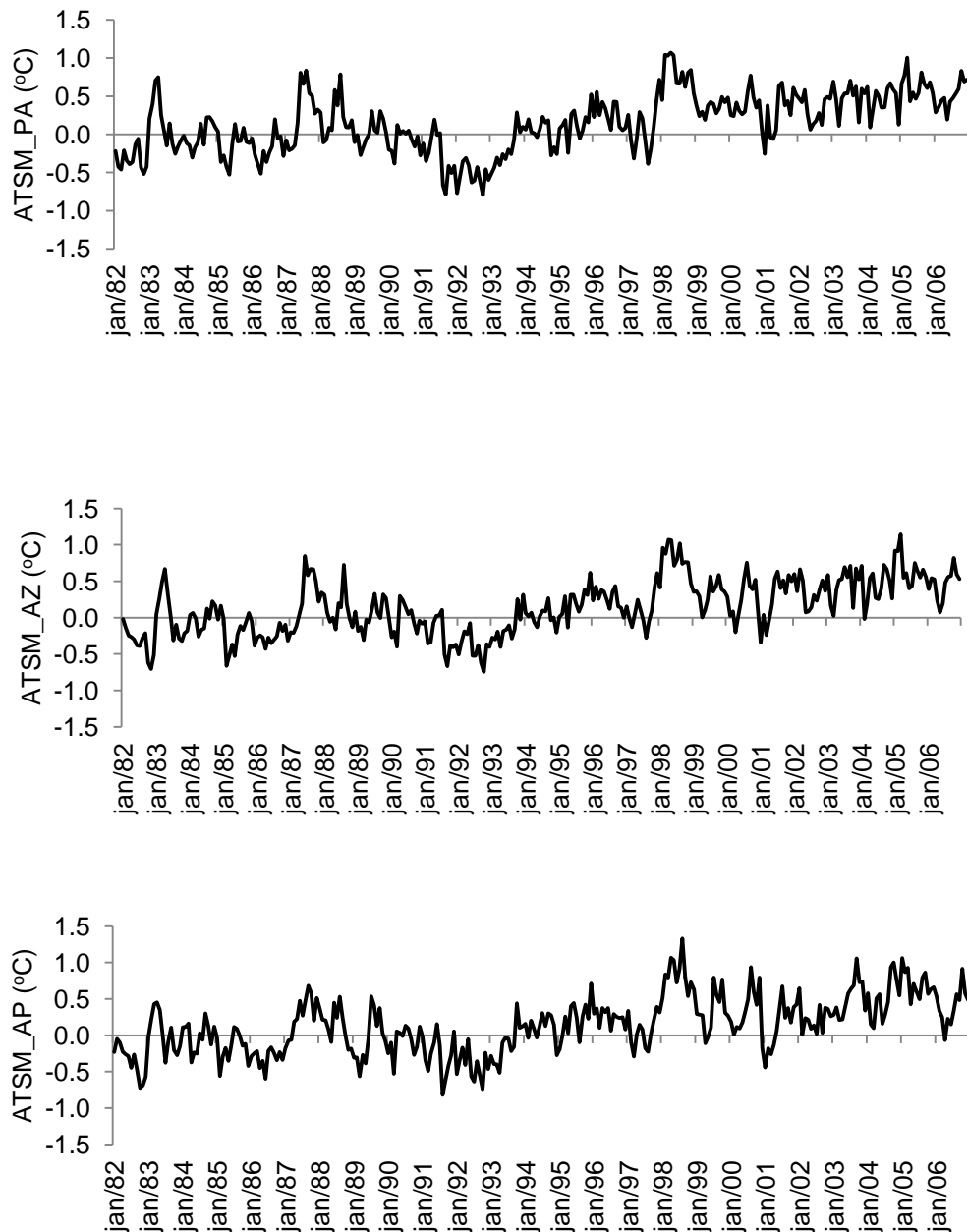


Figura 7: Séries temporais das anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na plataforma continental do Pará (PA), Amazonas (AZ) e Amapá (AP). Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2006.

Índices Climatológicos

Os índices são ferramentas de diagnóstico utilizadas para descrever o estado de um sistema climático. Índices climáticos são mais frequentemente representados por séries temporais criadas com o propósito de monitorar o clima. O clima é o conjunto de estados do tempo meteorológico que caracterizam o meio ambiente

atmosférico de uma determinada região ao longo do ano. O clima, para ser definido, considera um subconjunto dos possíveis estados atmosféricos e, para tal, requer a análise de uma série longa de dados meteorológicos e ambientais. A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) recomenda 30 anos de dados para análises climáticas.

Para correlacionar as possíveis variabilidades encontradas nas séries temporais do ciclo hidrológico e as forçantes meteorológicas da região de estudo com eventos climatológicos e outras forçantes externas como o ENOS (El Niño/Oscilação Sul), por exemplo, foram utilizadas séries temporais de alguns índices. Dentre os diversos índices climatológicos existentes o Índice Multivariado do ENOS (*Multivariate ENSO Index - MEI*), Índice Oscilação do Atlântico Norte (NAO), Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM no Atlântico (GITA) foram os utilizados nesse estudo.

Índice ENOS – MEI

A série temporal do índice MEI (NODC-NOAA, 2007) é bimensal, assim o valor de janeiro representa o valor médio centrado do período de dezembro e janeiro. Todos os valores são normalizados para cada intervalo bimensal, considerado de modo que os valores tenham média zero e desvio padrão 1. O MEI (Figura 8) por integrar mais informações (TSM, pressão ao nível do mar, vento na superfície do mar, temperatura do ar na superfície e cobertura de nuvens), reflete melhor a natureza do sistema acoplado oceano-atmosfera (WOLTER e TIMLIN, 1998). Os valores positivos do MEI estão associados ao fenômeno *El Niño*, enquanto os negativos estão associados ao fenômeno *La Niña*. Os dados utilizados desse índice são uma série temporal de janeiro de 1985 a novembro de 2006.

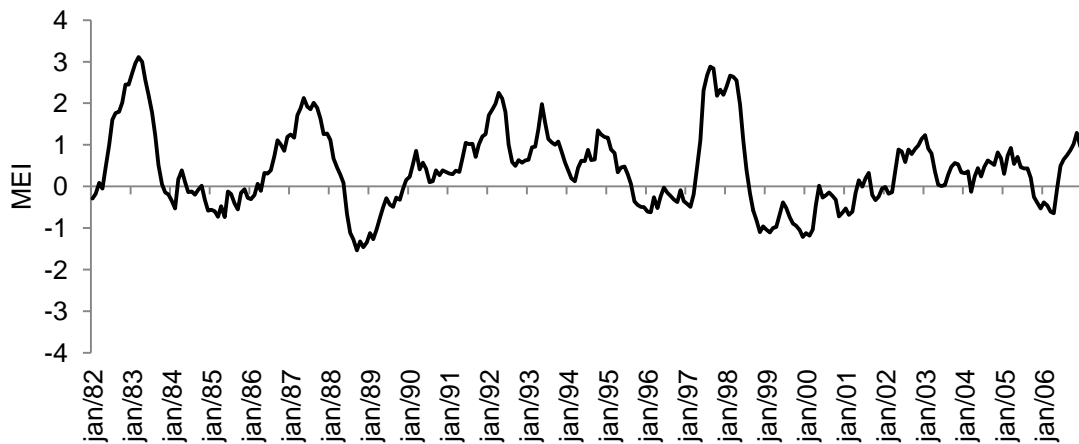


Figura 8: Índice Multivariado do ENSO (MEI) para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 2006. Valores positivos do MEI estão associados ao *El Niño*, enquanto os negativos estão associados a *La Niña*.

Índice NAO – Oscilação do Atlântico Norte

O índice Oscilação do Atlântico Norte (NAO, Figura 9) representa a diferença da pressão atmosférica de uma estação meteorológica próxima ao anticiclone dos Açores (Lisboa ou Gibraltar) e uma estação próxima à depressão da Islândia (Reykjavik) (ROGERS, 1984).

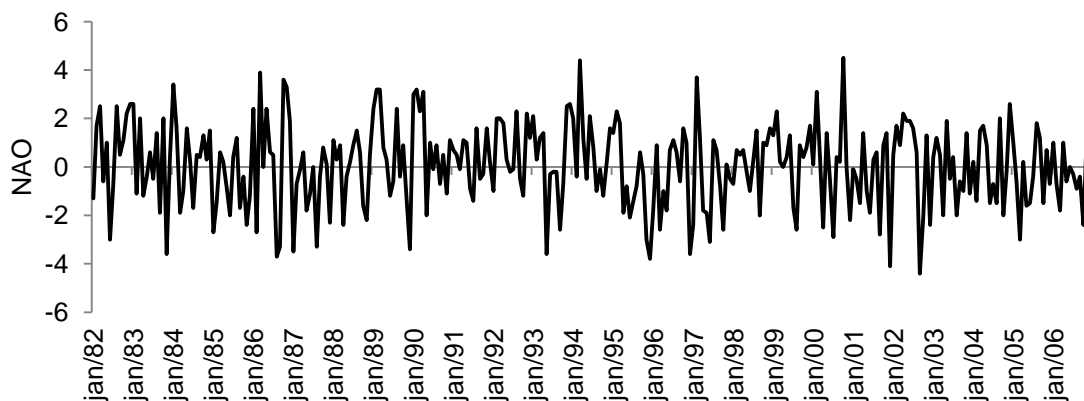


Figura 9: Índice Oscilação do Atlântico Norte (NAO) para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 2006.

Esse índice climático foi considerado devido à proximidade da área de estudo com a região equatorial e o hemisfério norte, podendo sofrer influência dessas regiões.

Índice GITA – Gradiente Inter-emisférico da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico

Este índice de TSM serve para monitorar o posicionamento mais ao norte ou mais ao sul da Zona de Confluência Inter-tropical (ZCIT) e, conseqüentemente, verificar alguma influência na variabilidade climática nas áreas consideradas. Muitos autores têm estudado o dipolo do Atlântico Tropical (Figura 10). Dentre eles, podem ser destacados os trabalhos de Moura e Shukla (1981), Servain (1991), Nobre e Shukla (1996), Souza e Nobre (1998), Souza *et al.* (2000), Pezzi e Cavalcanti (2001), Souza *et al.* (2005).

O índice GITA é estimado pela diferença entre as ATSM do Atlântico Norte (2,5°N-17,5°N / 50°W-20°W) e ATSM do Atlântico Sul (17,5°S-2,5°S / 35°W-50°W). Gradiente quente (frio) é quando as anomalias são positivas (negativas) no Atlântico Norte e negativas (positivas) no Atlântico Sul (SOUZA *et al.*, 2000). Estudos mostram fortes evidências dos efeitos combinados do El Niño (La Niña) e modos para N (S) do GITA favorecendo clima + seco (+ chuvoso) das condições normais sobre Amazônia Ocidental e NE Brasileiro (SOUZA, KAYANO e AMBRIZZI, 2004).

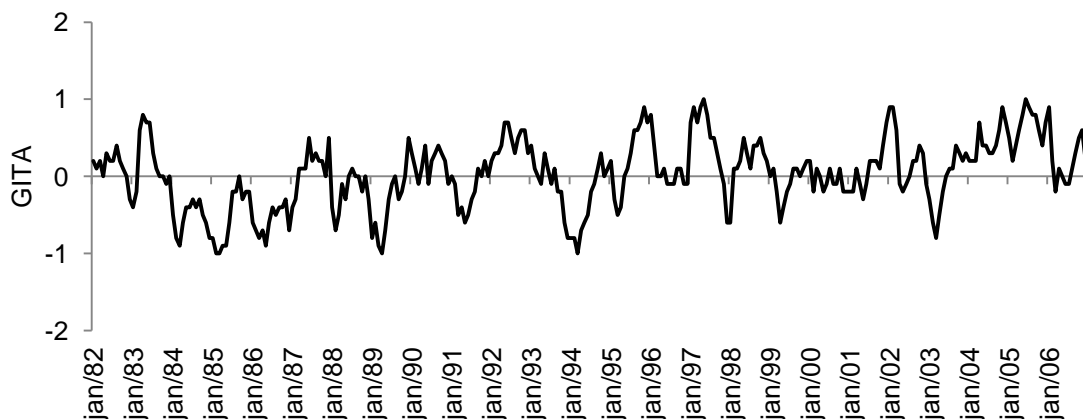


Figura 10: Índice do Gradiente Inter-Hemisférico da TSM no Oceano Atlântico (GITA) para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2006.

Dados de Pesca

O conjunto de dados de pesca a ser utilizado, foi o produzido pelos projetos IARA e ProVarzea/IBAMA. A coleta de dados de estatística pesqueira foi iniciada no marco das atividades do Projeto IARA, utilizando metodologia de censo, aplicada nos principais portos de desembarque na região do Baixo Amazonas. Os dados foram obtidos através de entrevistas com os mestres ou responsáveis das embarcações com pescado que aportavam nos portos de Santarém e outros da região, como Óbidos, Alenquer, Almeirim e Oriximiná.

Primeiramente, através de visitas aos mercados e portos, foram observadas as características das pescarias regionais e uma lista de espécies foi estabelecida, além de outras variáveis categóricas foram instituídas, como: tipos de aparelhos de pesca; tipos de embarcações; locais de pesca (ambientes); tipo de relacionamento entre os pescadores e o dono da embarcação geleira; e nome dos locais de desembarque (RUFFINO, 2008). A seguir, informações sobre a captura por espécie, esforço pesqueiro, insumos e receita bruta foram coletadas diariamente (de segunda-feira a sábado), para cada viagem de pesca, desde janeiro de 1993 (ISAAC *et al.*, 2004). Os formulários preenchidos eram analisados um a um, para verificar possíveis erros ou inconsistência dos dados coletados.

A partir do ano de 2001 e até dezembro de 2004, o Projeto IARA foi incorporado ao Programa ProVárzea/IBAMA, que ficou incumbido de coletar informações de estatística pesqueira de Almeirim, Monte Alegre, Alenquer, Santarém, Óbidos e Oriximiná, na mesorregião do Baixo Amazonas.

Um banco de dados relacional foi construído para armazenar os dados, programado em ambiente Access para Windows. Os dados dos projetos IARA e ProVárzea foram adicionados posteriormente a um banco de dados central, relacional e em ambiente Windows, gerenciado pelo IBAMA. As consultas ao banco oferecem informações do desembarque das principais espécies, apetrechos de

pesca, preços do pescado na primeira comercialização, os tipos de embarcações e os ambientes de pesca (Figura 11).

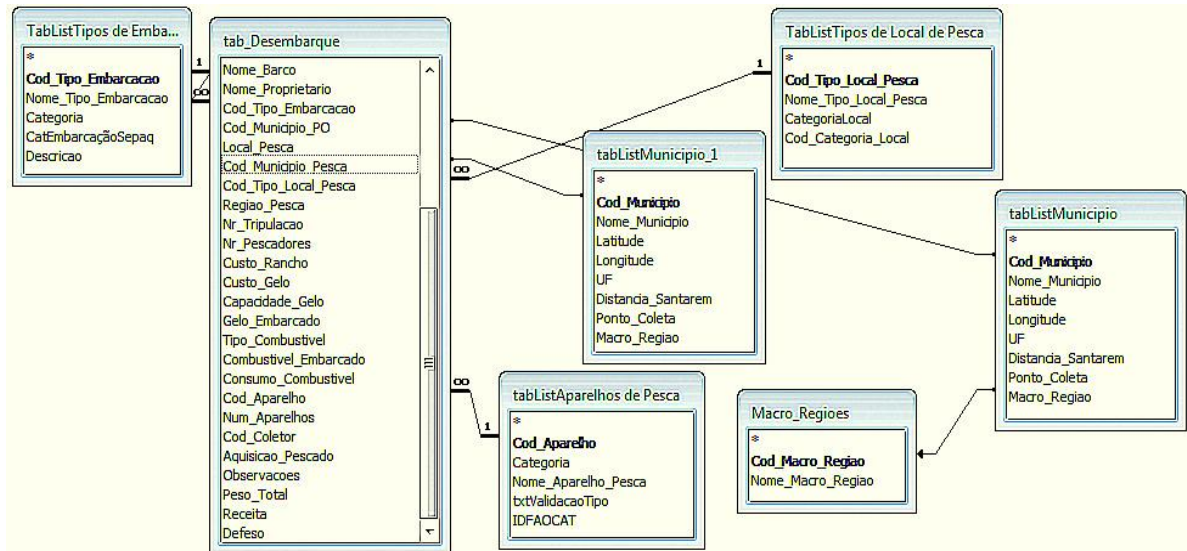


Figura 11: Estrutura Relacional do Banco de Dados do IARA-ProVárzea.

Para homogeneizar as diversas fontes de dados, alguns atributos foram estabelecidos, tais como: identificadores; dados da embarcação, capacidade de gelo e tripulação, local de pesca, classificação das espécies capturadas; aparelho de pesca e custos.

Desta forma, o período total da série de dados de pesca é de janeiro de 1993 a dezembro de 2004. Este conjunto de dados contém 163.546 registros de identificação da unidade pesqueira, onde cada registro corresponde a uma viagem de pesca, localização dos pontos de pesca (região, município, local e tipo de ambiente – rio ou lago), insumos (combustível e gelo), captura total em toneladas, espécie e grupo trófico pescado, data de saída e chegada, local de saída e chegada, número de pescadores, tempo de operação (dias de pesca).

Desse conjunto foram consultados apenas dados relacionados com o tipo de barco denominado “barco pescador” que é uma embarcação característica de pesca, que usa arreios de pesca e possui sempre pescadores em equipe mais ou menos

fixa; foram descartados dados relativos a outros tipos de embarcações como canoa, canoa motorizada, barco comprador e barco de linha. Foram também selecionadas as pescarias que utilizaram apenas rede de emalhar, que inclui artes como malhadeira, arrastão, bubuia e miqueira (Tabela 4). Esta seleção se justifica, pois sabe-se que a rede de malha é a principal arte de pesca do Baixo Amazonas e os barcos pesqueiros (barcos que levam sua própria tripulação para a captura dos peixes) são as unidades mais representativas desta frota artesanal, responsáveis por mais 80 % de toda a produção pesqueira da região (BATISTA *et al.*, 2012). Foi adotado o município de pesca para identificar a área de pesca para reduzir o efeito da mobilidade da frota pesqueira na região de estudo.

Tabela 3: Descrição dos aparelhos de pesca utilizados nas pescarias com redes na região do Baixo Amazonas. Fonte: adaptado de Isaac *et al.*, 2004.

Categoria	Aparelhos de pesca	Descrição	Forma de uso
Rede de emalhe	Malhadeira	Rede de espera, multifilamento, malhas variadas	Captura todo tipo de peixe, dependendo da malha e do local de pesca utilizados
	Bubueira	Rede de emalhe de mono ou multifilamento, colocada à deriva, com bóia numa das extremidades e atrelada a embarcação	Captura de bagres
	Miqueira	Rede de nylon, monofilamento	Usado na pesca do mapará

Com a seleção desses atributos, a série ficou reduzida em 19.484 registros para a região dos rios e 37.624 registros para lagos, considerando apenas portos de desembarque da macrorregião do Baixo Amazonas. Posteriormente, os dados foram agrupados para determinação de valores médios mensais de CPUE (Captura por Unidade de Esforço) por espécie capturada e por município de pesca como: Óbidos, Santarém e Monte Alegre e por grupos tróficos, para os diferentes ambientes de pesca rios e lagos.

Devido ao grande número de espécies e para simplificar a compreensão da pesquisa, as espécies estão quase sempre mencionadas com seus nomes vulgares e no anexo 1 há uma lista que indica o nome científico.

A CPUE foi definida como sendo a quantidade de recurso pesqueiro capturado por uma unidade de esforço empregada na pesca. Utilizou-se a captura em toneladas / (número de pescadores x dias de pesca) para estimar a CPUE mensal para cada área de estudo (município de pesca).

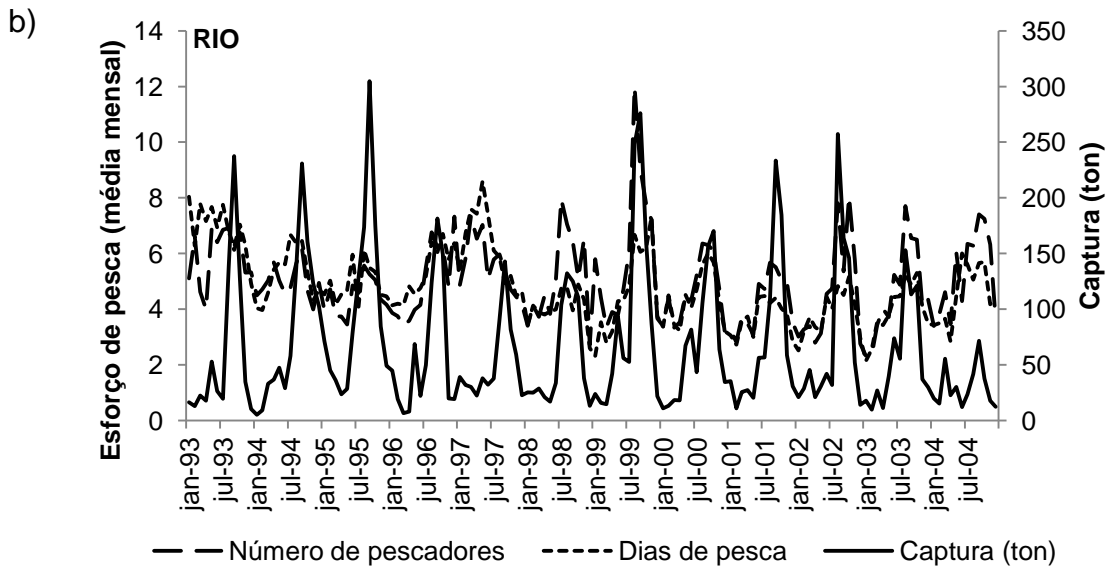
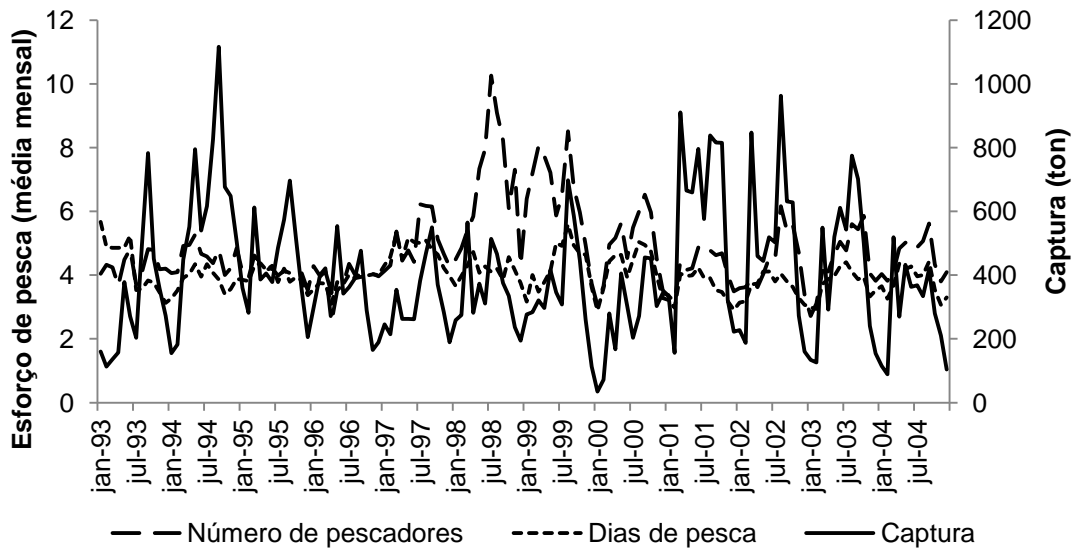
A estimativa da CPUE se deu através da metodologia sugerida por Petrere e colaboradores (2010), conforme a seguir:

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i E_i}{\sum_{i=1}^n E_i^2} \quad (1)$$

Os autores recomendam o uso do método Jackknife para os índices, quando a captura (C) for proporcional ao esforço (E) ou se possuírem pequenos desvios desse pressuposto e se deseje usar um estimador de razão e com pouco conhecimento sobre o comportamento das variáveis, como acontece na maioria dos estudos de pesca. Dessa maneira, para esse estudo, optou-se pela utilização CPUE com Jackknife, devido ao resultado das simulações feitas e a recomendação desses autores.

Os meses de março, agosto e setembro foram mais favoráveis à captura de peixes no Baixo Amazonas (Figura 12a). Enquanto que os mais desfavoráveis foram os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Em ambiente de rio o pico de captura se dá durante nos meses de agosto e setembro e em ambiente de lagos durante março e abril (Figura 12b, c). Já as menores capturas foram registradas em janeiro e fevereiro para ambiente de rio e dezembro e janeiro em ambiente de lagos. Durante o período analisado os anos de 2001 e 2002 foram os que tiveram as maiores capturas anuais e os anos de 1996, 1998, 2000 e 2004 as menores capturas anuais no Baixo Amazonas. Quanto ao esforço de pesca, apenas o ano de 1999 ocorreu um incremento considerável no número médio de pescadores por viagem de pesca.

a)



c)

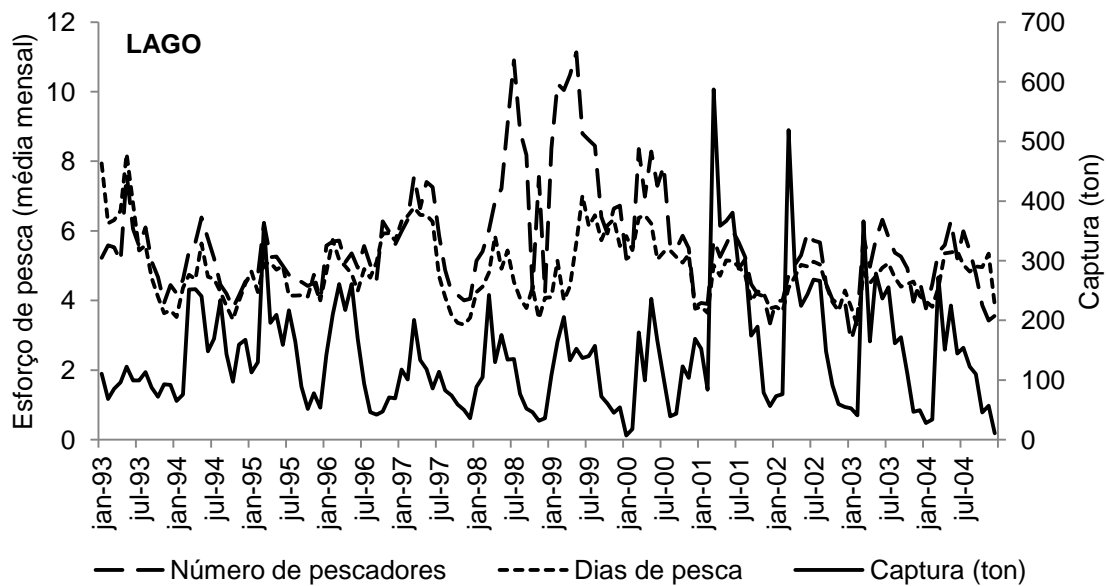


Figura 12: Séries temporais de captura mensal e esforço de pesca médio (número de pescadores e dias de pesca) (a) total, (b) em ambiente de rio e (c) em ambiente de lago no Baixo Amazonas. Período: janeiro de 1993 a dezembro 2004.

Métodos

O período utilizado para determinação da climatologia de vazão do rio Amazonas, pulso de alagação (cota) e chuva foi de janeiro de 1975 a dezembro de 2005. As séries de dados atmosféricos, hidrológicos e de índices climáticos são formadas por 12 anos de médias mensais (144 valores por variável), compreendidas entre janeiro de 1993 e dezembro de 2004. Para cada área (Parintins-Óbidos; Óbidos-Monte Alegre e Monte Alegre-Almeirim) foram extraídas médias espaciais formando séries temporais das variáveis meteorológicas e hidrológicas na resolução original dos dados, ou seja, mensal. Da mesma forma, os dados de pesca foram agrupados por mês para cada município de pesca, principais espécies alvo, grupo trófico e/ou grupo de co-ocorrência e ambiente de pesca (rio e lago), constituindo séries temporais mensais.

Para evitar o efeito de espécies muito pouco freqüentes nas análises como ANOVA, DCA, RDA e correlação cruzada não foram incluídas todas as espécies da captura. O critério para o corte no número de espécies foi por importância,

destacando aquelas que comportam até 80 % da produção pesqueira em cada ambiente (rio e lagos). Assim para o ambiente de rio as espécies consideradas foram: *Brachyplatystoma flavicans*, *Prochilodus nigricans*, *Semaprochiloduns taeniurus* e *S. insignis*, *Brachyplatystoma filamentosum*, *Hypophthalmus marginatus* e *edentatus*, *Pseudoplatystoma tigrinum* e *fasciatum*, *Mylossoma duriventre*, e *Liposarcus pardalis* e para ambiente de lagos as espécies incluídas nestas análises foram: *Hypophthalmus marginatus* e *edentatus*, *Pachypops* sp, *Pimelodina flavipinnis*, *Liposarcus pardalis*, *Prochilodus nigricans*, *Colossoma macropomum* e *Pseudoplatystoma tigrinum* e *fasciatum*.

Técnicas de análise de séries temporais foram empregadas para melhor estudar a região em questão, sua variabilidade ambiental e a relação com a pesca multiespecífica. Essas metodologias são apresentadas de maneira sucinta, conforme seguem:

Anomalia Normalizada

A fim de produzir uma série com média e variância constante, podendo assim intercompara-las e adimensiona-las é necessário transformar as anomalias em anomalias normalizadas conforme a seguinte equação:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s_x} = \frac{x'}{s_x} \quad (2)$$

onde, z é a anomalia adimensional padronizada, calculada simplesmente pela subtração da média da amostra e dividida pelo respectivo desvio padrão S_x (WILKS, 1996).

Transformada de Ondeleta (TO)

Desenvolvida na década de 1980 pelos pesquisadores Morlet, Grossmann, Meyer e Daubechies, a metodologia de Transformada de Ondeleta (TO), apresenta vantagens em relação a outras metodologias utilizadas em geociências para decomposição de sinais, possibilitando novas perspectivas e discernimentos que não eram possíveis por outras ferramentas tradicionais (TORRENCE e CAMPO,

1998). Foi formulada para o estudo de sinais não-estacionários, sendo útil para detectar esses sinais ou flutuações de caráter episódico. A TO possibilita a reconstrução global e também de partes do sinal. O termo ondeleta (“*wavelet*”, em inglês) é compreendido como um conjunto de funções com a forma de pequenas ondas geradas por uma função chamada de “ondeleta-mãe”, “ondeleta básica” ou “ondeleta analisadora”. As ondeletas são adequadas para a decomposição de outras funções, comparáveis às funções seno e cosseno que servem de base para a Transformada de Fourier, TRF (POLIKAR, 2001). Ondeletas são consideradas versáteis ferramentas de análise harmônica. A análise da TO contínua foi empregada de forma a complementar à TRF, com a vantagem de identificar a posição no tempo dos picos de potência da série. Podem-se obter informações tanto da amplitude de qualquer sinal “periódico” dentro da série e como esta amplitude varia com o tempo. A TO decompõe o sinal em algumas funções elementares derivadas do processo de dilatação e translação de uma ondeleta-mãe (LAU e WENG, 1995).

A técnica de TO também tem sido muito utilizada em pesquisas recentes nas áreas de ecologia, oceanografia e meteorologia (LEÃO, 2008; KAMPEL *et al.*, 2008; MÉNARD, 2007; SOPPA, 2007; LÓPEZ *et al.*, 2006; TEIXEIRA, 2006).

Descrições mais detalhadas da TRF e da TO podem ser encontradas em Soppa (2007), Morettin (1999) e Torrence e Campo (1998). Torrence e Campo (1998) criaram o Guia Prático para Análise de Ondeletas (“*A Practical Guide to Wavelet Analysis*”) que aborda diversas questões sobre ondeletas. Autores como Andreoli e Kayano (2004), indicam que ondeletas contínuas ($W_{l,t'}$) são apropriadas para analisar os modos dominantes de variabilidade nas séries temporais tanto no tempo como no espaço. A função da TO contínua é definida como (LAU e WENG, 1995):

$$W_{l,t'}(f) = \langle f, \psi_{l,t'}^* \rangle = \int f(t) \psi_{l,t'}^*(t) dt \quad (3)$$

onde, l é o parâmetro de escala, t' é o parâmetro de translação e $\psi_{l,t'}^*$ é o complexo conjugado das ondeletas $\psi_{l,t'}$ dados a seguir:

$$\psi_{l,t'}(t) = \frac{1}{\sqrt{l}} \psi\left(\frac{t-t'}{l}\right) \quad (4)$$

onde ψ é a ondeleta-mãe e t é o parâmetro de tempo.

O parâmetro l de escala permite dilatar ou comprimir um sinal. Variando o parâmetro l de escala e transladando ao longo do tempo, construímos uma representação gráfica que mostra a amplitude (ou potência) de qualquer sinal dentro da série e onde esta se localiza no tempo (SOPPA, 2007). Mesmo sendo arbitrária a escolha da ondeleta-mãe, esta deve possuir características semelhantes àquelas do sinal analisado (TORRENCE e CAMPO, 1998).

Neste trabalho, utilizamos a ondeleta contínua DOG (*Derivative of Gaussian*), apesar da ondeleta-mãe *Morlet* ser a mais utilizada em trabalhos com séries temporais de dados atmosféricos, pois mostrou-se adequada para determinar as oscilações presentes nas séries desse estudo. A ondeleta DOG consiste na derivada de sexta ordem da função de densidade de probabilidade Gaussiana. A função é definida como (TORRENCE e CAMPO, 1998):

$$\frac{(-1)^{m+1}}{\sqrt{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}} \frac{d^m}{d\eta^m} \left(e^{-\eta^2/2} \right) \quad (5)$$

onde m é a ordem da derivada e η é um parâmetro de tempo adimensional. A ondeleta DOG assemelha-se àquela conhecida como Chapéu Mexicano, também derivada de uma função de densidade probabilidade Gaussiana. Torrence e Campo (1998) relatam que a DOG, por não apresentar parte complexa, permite capturar oscilações positivas e negativas do espectro de potência da ondeleta, o que resulta em sinais mais detalhados de saída.

A utilização da potência para representar o resultado da TO tem a vantagem de enfatizar os picos mais relevantes e as discontinuidades, além de minimizar os

sinais de baixa amplitude e o ruído de fundo. As transformadas de ondeletas foram calculadas no software Matlab[®].

Análise de Correlação Cruzada

Foi realizado o teste estatístico de correlação cruzada entre as séries das variáveis atmosféricas e hidrológicas, dos índices climatológicos e suas anomalias contra as séries de CPUE visando detectar uma possível influência remota dos fenômenos climatológicos na variabilidade dos parâmetros pesqueiros desse estudo. Para tal, as CPUEs foram fixadas e as séries temporais das variáveis ambientais atrasadas em até 48 meses.

Essa análise foi realizada no software STATISTICA7.0[®]. O coeficiente de correlação cruzada (r_{xy}) é obtido a partir da equação abaixo:

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (6)$$

onde, k é a defasagem de tempo (*lag*), x e y são as duas séries de tempo, c_{xy} é o coeficiente de covariância cruzada, σ_x e σ_y é o desvio padrão das séries temporais.

O coeficiente de covariância cruzada (c_{xy}) é estimado por:

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{P} \cdot \sum [(x_t - \bar{x}) \cdot (y_{t+m} - \bar{y})] \quad (7)$$

para, $t = 1$ a $P-1$, $m = 0$ para valores de k positivos ou

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{P} \cdot \sum [(y_t - \bar{y}) \cdot (x_{t+m} - \bar{x})] \quad (8)$$

para, $t=1$ a $P+1$; $m=-1$ para valores de k negativos, onde, k é a defasagem de tempo (*lag*), P é o número total de observações da série, x e y representam as séries de

tempo, x_t o valor da variável x no tempo t , y_t o valor da variável y no tempo t , \bar{x} a média da série de tempo x , \bar{y} a média da série de tempo y .

Quanto ao erro padrão, assume-se independência entre as séries de tempo e uma das séries sendo entendida como um ruído branco. Assim, o erro padrão (Ep) do coeficiente r_{xy} é aproximadamente igual a:

$$Ep(r_{xy}(k)) = \sqrt{\frac{1}{(P-k)}} \quad (9)$$

onde k é a defasagem de tempo e P é o número total de observações das séries.

Análise de Espectro Cruzado de Ondeletas (ECO) e Ondeleta de Covariância

Diferente da metodologia de correlação cruzada, que usa a transformada de Fourier (TRF) em seus cálculos e considera os sinais como estacionários (EMERY e THOMSOM, 2006), podendo com isso subestimar os valores de correlação, a ECO busca retirar essas falhas e indicar em quais períodos e qual local da série os sinais possuem alta energia em comum (GRINSTED *et al.*, 2004).

A transformada cruzada de ondeleta (TXO) de duas séries de tempo x_n e y_n é definida como $W^{XY} = W^X W^{Y*}$, onde $*$ indica a complexa conjugada. O argumento complexo $arg(W^{XY})$ pode ser interpretado como a fase relativa local entre x_n e y_n no espaço tempo-frequência. A distribuição teórica da ondeleta cruzada de duas séries com um background espectral P_k^X e P_k^Y é mostrado em Torrence e Campo (1998) da seguinte forma:

$$D\left(\frac{|W_n^X(s)W_n^{Y*}(s)|}{\sigma_X\sigma_Y} < p\right) = \frac{Z_v(p)}{v} \sqrt{P_k^X P_k^Y} \quad (10)$$

onde $Z_v(p)$ é o nível de confiança associado com a probabilidade, σ_x e σ_y é o desvio padrão das séries temporais, p para uma função de probabilidade definida pela raiz quadrada do produto das duas distribuições X^2 (GRINSTED *et al.*, 2004).

A ondeleta cruzada revela áreas com alto poder (potência) comum e quão coerente a transformada de ondeleta cruzada é no espaço tempo-freqüência. A ondeleta de coerência (CO) de duas séries temporais é definida como:

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_n^{XY}(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^X(s)|^2).S(s^{-1}|W_n^Y(s)|^2)} \quad (11)$$

onde, S é um operador de alisamento no tempo e na freqüência e depende do tipo da ondeleta-mãe usada. A definição da CO lembra um coeficiente de correlação tradicional e é interessante considerá-la como um coeficiente de correlação localizado no espaço tempo-freqüência (GRINSTED *et al.*, 2004). O nível de significância estatística da CO é estimado pelo método de Monte Carlo.

Os espectros de coerência foram estimados para as mesmas séries temporais aplicadas na análise do espectro de ondeleta cruzada (ECO). Os resultados da covariância são dentro do intervalo entre 0 e 1, fornecendo uma medida de covariância entre duas séries temporais em função da freqüência e do tempo, independentemente da diferença de fase entre as mesmas. Essa análise busca conhecer a correlação local das oscilações significativas observadas e fornece sua coerência e fase.

Análise de Redundância (RDA)

Métodos de análise multivariada são muito utilizados para interpretar dados ecológicos. Alguns desses métodos incluem a determinação de autovetores e autovalores baseados na preservação da distância Euclidiana local, como Análise de Componentes Principais (ACP, ou PCA em inglês), que também é chamada de técnica de Funções Ortogonais Empíricas (FOE, ou EOF em inglês) e Análise de Redundância (RDA). Esses métodos partem da idéia que um fenômeno ecológico

não é explicado apenas por um processo biótico ou abiótico que varia no tempo e no espaço, e sim por um conjunto de processos que interagem de forma diferenciada (BOCARD *et al.*, 1992). Os métodos utilizam matriz de similaridade de variáveis ambientais e biológicas.

Para analisar as relações entre a CPUE e as variáveis ambientais foi utilizado um método de análise direta de gradiente denominado Análise de Redundância - RDA (TER BRAAK, 1995) que descreve a variação entre dois conjuntos de dados (TER BRAAK e PRENTICE, 1988). Na RDA, uma matriz de variáveis explicativas (variáveis ambientais) é utilizada para quantificar a variação em uma matriz de variáveis resposta (CPUE), assumindo-se relações lineares entre as variáveis e a CPUE (TER BRAAK, *op.cit.*). As análises foram realizadas pelo programa CANOCO 4.54 for Windows (TER BRAAK e SMILAUER, 2002) com a opção RDA passo-a-passo. A produtividade pesqueira estimada por meio da CPUE e as variáveis ambientais foram transformadas pela função $\log_{10}(x+1)$, centralizadas e padronizadas (LEPS e SMILAUER, 1999; TER BRAAK, 1995). A fim de evitar a utilização de um número excessivo de variáveis, de modo que os modelos finais utilizassem apenas variáveis que contribuíssem significativamente para a explicação dos dados. Para avaliar se a contribuição individual de cada variável ao modelo de ordenação era significativa utilizou-se o teste de permutação de Monte Carlo (9999 permutações, $P < 0,05$). Neste teste, cada variável é testada individualmente como variável explicativa do modelo, tendo as demais como covariáveis.

Os resultados gráficos são apresentados em um biplot gerado pelo default do CANOCO através do programa CanoDraw 3.1. No biplot de correlação, a projeção dos pontos da produtividade pesqueira (CPUE) sobre as variáveis ambientais se obtém um ranking das espécies sobre os eixos das variáveis ambientais. As coordenadas das variáveis ambientais correspondem às correlações com os eixos do biplot (TER BRAAK, 1995). Cada eixo de ordenação é uma combinação linear de variável resposta (CPUE), restringidas pelas variáveis explicativas (variáveis ambientais). Além dos resultados detalhados da ordenação, a RDA permite medir a quantidade de variação (soma dos autovalores canônicos) nos dados de CPUE que pode ser explicada por um conjunto de variáveis ambientais.

Organização do Trabalho

O presente capítulo faz parte de uma tese de doutorado do Programa de Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará. Ele é composto por trabalhos científicos que devem ser encaminhados para revistas científicas qualificadas para sua publicação. Por este motivo, para atingir os objetivos e questões levantadas nessa tese, o texto a seguir foi organizado da seguinte forma:

Capítulo Introdutório: com itens gerais como introdução, objetivos, justificativa, material e métodos que serão abordados nesta tese.

- ❖ Capítulo 1: Interações dos sistemas rio-oceano-atmosfera e clima na região do Baixo Amazonas (River-ocean-atmosphere system interactions and climate in the Lower Amazon) – diz respeito ao estudo de formas de interação entre as variáveis do ciclo hidrológico na Bacia do rio Amazonas com variáveis meteorológicas e oceanográficas.
- ❖ Capítulo 2: Efeito de fatores hidrometeorológicos na composição da pesca de pequena escala no Baixo Amazonas (Effect of hydrological and meteorological factors on small-scale fishing assemblies in the Lower Amazon) – aborda como é a variância da produção pesqueira por grupo de co-ocorrência no Baixo Amazonas e como ela covaria com a dinâmica do ciclo hidrológico e o clima regional e global.
- ❖ Capítulo 3: A pesca de multiespécies de rede de emalhe no Baixo Amazonas e suas relações com a variabilidade climática regional e global – verifica como estão distribuídas a produtividade pesqueira segundo as principais famílias taxonômicas da iticiofauna alvos da pesca continental nessa região de estudo e como as mesmas se comportam frente à variabilidade dos parâmetros hidrológicos, meteorológicos e oceanográficos.
- ❖ Capítulo 4: A pesca do mapará (*Hypophthalmus marginatus* e *H. edentatus*) em lagos do Baixo Amazonas e sua relação com a variabilidade climática –

aborda especificamente a produtividade pesqueira do principal recurso pesqueiro em lagos na região do Baixo Amazonas e sua relação com a variabilidade climática regional e global.

❖ Conclusões e Perspectivas Futuras

Referências Bibliográficas

ABDALLA, P.R.; BACHA, C.J.C. Evolução da atividade pesqueira no Brasil: 1960-1999. *Teoria e Evidência Econômica*, v. 7, n. 13, p. 9–24, 1999.

AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; VERÍSSIMO, S.; OKADA, E.K. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 14, n. 1, p. 11-19. 2005. DOI: 10.1007/s11160-004-3551-y

ALBERNAZ, A. L.; MOREIRA, M.P.; RAMOS, J.; ASSUNÇÃO, P.A.; FRANCISCON, C.H. Contribuição ao conhecimento da distribuição de árvores. *In: Albernaz, A. L. (Org.). Conservação da Várzea: identificação e caracterização de regiões biogeográficas*. Brasília: IBAMA/ProVárzea, pp 77-92, 2007.

ALMEIDA, O.T.; MCGRATH, D.G.; RUFFINO, M.L. The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis. *Fisheries Management and Ecology*. v. 8, p. 253–269, 2001.

ALONSO, J.C.; FABRE, N. Spatial and temporal pattern of the population structure and current state of fishing exploitation of the dourada (*Brachyplatystoma flavicans*, Lichtenstein, 1819). *In: LARS2 Large River Symposium* (2º: 2003: Phnom Penh, Cambodia). 2003. Disponível em: www.lars2.org/unedited_papers/unedited_paper/Alonso.pdf. Acesso em 18 de novembro de 2010.

ALONSO, J.C. **Padrão espaço-temporal da estrutura populacional e estado atual da exploração pesqueira da dourada *Brachyplatystoma flavicans*, Castelnau, 1855 (Siluriformes: Pimelodidae), no sistema Estuário-Amazonas-Solimões**. Tese de Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais. Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA Manaus, Amazonas. 242 p. 2002.

AYRES, J.M. **As matas de várzea do Mamirauá**. MCT-CNPq- Programa do Trópico Úmido- Brasília – DF. CNPq. Sociedade Civil Mamirauá. 123 p. 1995.

ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; AGOSTINHO, A.A.; FABRÉ, N.N. Trophic aspects of fish communities in Brazilian River and Reservoirs. p. 105-136, 1995. TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. ***Limnology in Brazil***. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995.

ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; FORSBERG, B.R.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.A. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. ***Science***. v. 234, p. 1256-1258, 1986.

BAILLY, D.; AGOSTINHO, A.A.; SUZUKI, H.I. Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá River, Upper Pantanal, Brazil. ***River Research and Applications***, v. 24, n. 9, p.: 1218-1229, 2008. DOI: 10.1002/rra.1147.

BARTHEM, R.B.; GOULDING, M. **The Catfish Connection: Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators**. New York: Columbia University Press, 144 p. 1997.

BARTHEM, R.B.; FABRÉ, N.N. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: RUFFINI, M.L. (Ed). **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira**. Manaus: ProVárzea, p. 11-55, 2004.

BAYLEY, P.B. Factors affecting growth rates of young tropical floodplain seasonality and density-dependence. *Environmental Biology of Fishes*, v. 21, p. 127-142, 1988.

BATISTA, V.S.; ISAAC, V.J.; FABRÉ, N.N.; GONZALEZ, J.C.A. Principais recursos pesqueiros: variações espaço-temporais e relações com o ambiente. p 135-206. In: BATISTA, V.S.B.; ISAAC, V.J. (Eds.) Peixes e a pesca no Solimões- Amazonas: uma avaliação integrada. Brasília: IBAMA/PtoVárzea. 276 p. ISBN: 978-85-7300-310-9.

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecology: from individuals to ecosystems**. 4th edition. Blachwell Publishing. Alden, USA, p. 752, 2006.

CERDEIRA, R.G.P. ; RUFFINO, M. L. ; ISAAC, V.J. Fish catches among riverside communities around Lago Grande de Monte Alegre, Lower Amazon, Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, v.7, p. 355-374, 2000.

CETRA, M.; PETRERE JR, M. Small-scale fisheries in the middle River Tocantins, Imperatriz (MA), Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, v. 8, n. 2, p. 153-162, 2001.

CRAIG, J.F.; HALLS, A.S.; BARR, J.J.F.; BEAN, C.W. The Bangladesh floodplain fisheries. *Fisheries Research*, v. 66, n. 2-3, p. 271-286, 2004. DOI:10.1016/S0165-7836(03)00196-6.

DA SILVA, H.P.; PETRY, A.C.; DA SILVA, C.J. Fish communities of the Pantanal wetland in Brazil: evaluating the effects of the upper Paraguay river flood pulse on baía Caiçara fish fauna. *Aquatic Ecology*, v. 44, n. 1, p. 275-288, 2009. DOI: 10.1007/s10452-009-9289-9

EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; POTTER, J.; FIORINO, M. An Overview of Reanalysis-2. **Resumos Climate Diagnostics Workshop**, Miami, Florida. 1998. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis2/cdw98_abs.html. Acesso em 10 de abril de 2010.

EMERY, W.J.; THOMSOM, R.E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands. 634p. 2006.

FABRÉ, N. N.; SAINT-PAUL, U. O ciclo hidrológico na Amazônia Central e sua relação com o ciclo sazonal de crescimento do jaraqui de escama fina, *Semaprochilodus taeniurus*. **Congresso Brasileiro de Limnologia**, UFSCar, São Carlos, p. 154, 1997.

FABRÉ, N. N.; ALONSO, J. C. Recursos Ícticos no Alto Amazonas: Sua Importância para as populações ribeirinhas. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Zool.** Belém-PA. v. 14, n. 1, p. 19-55, 1998.

FABRÉ, N. N.; DONATO, J. C.; ALONSO, J. C.(Eds.). **Bagres de la Amazonia Colombiana: Un Recurso sin Fronteras**. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 253 p. 2000.

FAO-COPESCAL. **Informe del taller regional sobre el manejo de las pesquerías de bagres migratorios del Amazonas (Iquitos -Perú)**. Informe de campo F-5: Comisión de pesca continental para América Latina. Roma: FAO. 103 p. 2000.

FORSBERG, B.R., ARAUJO-LIMA, C.A.R.M., MARTINELLI, L.A., VICTORIA, R.L. AND BONASSI, J.A. Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. **Ecology**, v. 74, p. 643-652, 1993.

FREITAS, M.; CASTRO JR., W.E. Ciclos Hidrológicos, Amazônia-Homem-Mundo. **TeC Amazonia**, Ano IV, n. 9, p. 59-70, 2006.

FREITAS, C.E.C.; RIVAS, A.A.F. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Ocidental. **Amazônia/Artigos**, p. 30-32, 2006.

GALLO, R. G. Situación del manejo de las pesquerías de grandes bagres migratorios amazónicos en el Perú. **Taller sobre manejo de las pesquerías de bagres migratorios del Amazonas**. COPESCAL. 4-9 de octubre, Iquitos, Peru, 2000.

GILMORE, R.M. Fauna e Etnozoologia da América do Sul Tropical, p189-233. *In*: Ribeiro, D. (ed.) **Suma Etnológica Brasileira**. Petrópolis: FINEP, v. 1, p. 189-234,, 1986.

GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. ***Nonlinear Processes in Geophysic***, v.11, p.561–566, 2004. ID: 1607-7946/hpg/2004-11-561.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.; HNILO, J. J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis. ***Bul. of the American Meteorological Society***, v.83, n. 11, p.1631-1643, 2002.

KNOPPEL, H.A. Food of central Amazonian fishes. Contribution to the nutrientecology of Amazonian rain-forest-streams. ***Amazoniana***. v. 2, p. 257, 1970.

KRAMER, D.L; LINDSEY, C.C.; MOODIE, G.E.E. The fishes and the aquatic environment of the central Amazon basin, with particular reference to respiratory patterns. ***Canadian Journal of Zoology***. v. 56, p. 717-729, 1978.

IBAMA. **Estatística da pesca 2007 - Grandes regiões e unidades da federação**. Brasília: IBAMA. 151 p. 2007.

ISAAC, V.J.; MILSTEIN, A.; RUFFINO, M.L. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: análise multivariada da captura por espécie. ***Acta Amazonia***, v. 26, n. 3, p. 185-208, 1996.

ISAAC, V.J.; SILVA, C.O.; RUFFINO, M.L. A pesca no Baixo Amazonas. *In*: Ruffino, M.L. (ed.) **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazonia brasileira**. Manaus: Edições ProVarzea/Ibama, p. 185–211, 2004.

ISAAC, V.J.; SILVA, C.O.; RUFFINO, M.L. The artisanal fishery fleet of the Lower Amazon. ***Fisheries Management and Ecology***, v. 15, p.179-187, 2008.

ISAAC, V. J.; ALMEIDA, M. C. de. **El consumo de pescado en la amazonía brasileña**. FAO COPESCAL Documento Ocasional, v. 13, p. 1-43, 2011

JANÁČ, M.; ONDRAČKOVÁ, M.; JURAJDA, P.; VALOVÁ, Z.; REICHARD, M. Flood duration determines the reproduction success of fish in artificial oxbows in a floodplain of a potamal river: Fish reproduction in floodplain water bodies. ***Ecology of Freshwater Fish***, v.,19, n. 4, p. 644-655, 2010. DOI: 10.1111/j.1600-0633.2010.00449.x

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river floodplain systems. ***Special Publication of the Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science***, v.106, p. 110-127, 1989.

JUNK, W.J. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. *In*: JUNK, W.J. (Ed.).The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsing system. ***Ecological studies***, v. 126, p. 3-20, 1997.

JUNK, W.; PIEDADE, M.T.F.; WITTMANN, F. ; SHOENGART, J. The Role of Floodplain Forests in an Integrated Sustainable Management Concept of the Natural Resources of the Central Amazonian Várzea. *In*: JUNK, W.; PIEDADE, M.T.F.; WITTMANN, F.; SHOENGART, J.; PAROLIN, P. (Eds.). Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management. ***Ecological Studies***, v. 210, p. 473-496, 2011. DOI: 10.1007/978-90-481-8725-6.

LEPS, J.; SMILAUER, P. **Multivariate analysis of ecological data**. Faculty of Biology Sciences, University of South Bohemia, Ceske Budejovice. 110 p., 1999.

LOUBENS, G.; PANFILI, J. Biologie de *Colossoma macropomum* (Teleostei: Serrasalminidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). ***Ichthyology Explor. Freshwaters***. v. 8, n. 1, p. 1-22, 1997.

LUIZ, E.A.; AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; HAHN, N.S. Ecologia trófica de peixes em dois riachos da Bacia do Rio Paraná. ***Revista Brasileira Biologia***, v. 58, n. 2, p. 273-285, 1998.

LUZ-AGOSTINHO, K.D.G.; AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; JÚLIO, H.F. Influence of flood pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*, v. 607, n. 1, p.187-198, 2008. DOI: 10.1007/s10750-008-9390-4

MCGRATH, D.; CASTRO, F. DE; FUTEMMA, C.; AMARAL, B.; CALABRIA, J. Fisheries and resource management on the Lower Amazon floodplain. *Human ecology*, v. 21, n. 2, p. 167-195, 1993a.

MCGRATH, D.; CASTRO, F.; FUTEMMA, C.; AMARAL, B.; CALABRIA, J. Manejo comunitário da pesca nos lagos de várzea do Baixo Amazonas, p. 213-229. In: FURTADO, L.; MELLO, A.; LEITÃO, W. (Ed.) **Povos das Águas: Realidade e Perspectiva na Amazônia**. Belém; Museu Paraense Emílio Goeldi, Pará, 1993b.

MEGGERS, B. **Amazônia: a ilusão de um paraíso**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira. 207 p. 1977.

MELO, C.E.; MACHADO, F.A.; PINTO-SILVA, V. Feeding habits of fish from a stream in the savanna of Central Brazil, Araguaia Basin. *Neotropical Ichthyology*, v. 2, n. 1, p. 37-44, 2004. ISSN: 1679-6225.

MERONA, B. Pesca e ecologia dos recursos aquáticos na Amazônia. p. 159-185. In: FURTADO, L.; LEITÃO, W.; MELLO, A.F. **Povos das Águas: realidade e perspectiva na Amazônia**. Belém: MCT/CNPq/MPEG. 292 p. 1993.

MPA – Ministério de Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura - Brasil 2010**. Brasília, 129 p, 2012.

MORETTIN, P. A. **Ondas e Ondaletas**. 1. Ed. Universidade de São Paulo, EDUSP, São Paulo. v. 1. 280 p., 1999. ISBN: 85-314-0509-2.

MURCHIE, K.L.; HAIR, K.P.E.; PULLEN, C.E.; REDPATH, T.D.; STEPHENS, H.R.; COOKE, S.J.; MURCHIE, K.J. Fish response to modified flow regimes in regulated

rivers: research methods, effects and opportunities. ***River Research and Applications***, v. 24, n. 2, p. 197–217, 2008. DOI: 10.1002/rra.1058.

NIKOLSKY, G.V. **Theory of fish population dynamics as the biological background for rational exploitation and management of fishery resources.** Edinburgh: Oliver & Boyd. 323 p. 1969.

PERKIN, J.S.; BONNER, T.H. Long-term changes in flow regime and fish assemblage composition in the Guadalupe and San Marcos rivers of Texas. ***River Research and Applications***. v. 27, n. 5, p. 566-579, 2011. DOI: 10.1002/rra.1373

PEZZI, L.P.; SOUZA, R.B. O uso da temperatura da superfície do mar em estudos climáticos. *In*: SOUZA, R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, p.117-133. 2005.

RIBEIRO, M.C.L.B.; PETRERE JR, M. Fisheries ecology and management of the jaraqui (*Semaprochilodus taeniurus*, *S. insignis*) in central Amazônia. ***Regulated Rivers: Research and Management***, v. 5, p. 195-215, 1990.

RUFFINO, M. L.; ISAAC, V. J. Life cycle and biological parameters of several brazilian amazon fish species. ***The ICLARM Quartely, Fishbyte Section***, v. 8, n. 4, p. 40-45, 1995.

RUFFINO, M.L. Sistema integrado de estatística pesqueira para a Amazônia. ***Pan-American Journal of Aquatic Sciences***, v. 3, n. 3, p. 193-204, 2008.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types, v. 56, p. 127-165, 1984. *In*: SIOLI, H. (Ed.) **The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin.** Monographiae Biologicae. Dordrecht, The Netherlands: W. Junk. 763 p. 1984. DOI: 10.1002/iroh.19860710517

SOUSA Jr., W.; ALMEIDA, O. Avaliação do mercado da indústria pesqueira na Amazônia. *In: Almeida, O. (Org.). A indústria pesqueira na Amazônia*. Manaus: IBAMA/Pró-Várzea. pp. 17-40, 2006.

SOUZA, E.B.; NOBRE, P. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical. *Rev. Brasil Meteorol.* v.13, n.1, p.20-35, 1998.

SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brasil during the autumn rainy season. *Theor. Appl. Climatol.* v.81, n.3-4, p.177-191, 2005. DOI 10.1007/s00704-004-0081-4.

SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical. *Acta Amazonica.* v.30, n.2, p.305-318, 2000.

TAN, X.; LI, X.; LEK, S.; LI, Y.; WANG, C.; LI, J.; LUO, J. Annual dynamics of the abundance of fish larvae and its relationship with hydrological variation in the Pearl River. *Environmental Biology of Fishes.* v. 88, n. 3, p. 217-225. 2010. DOI: 10.1007/s10641-010-9632-y

TER BRAAK, C.J.F. Ordination. Cap. 5, p. 91-173. *In: JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R. (Ed.) Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press, New York. 299 p., 1995.

TER BRAAK, C.J.F.; PRENTICE, I.C. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research.* v. 18, p. 271-317, 1988.

TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.54)**. Microcomputer Power, Ithaca NY. 352 p., 2002.

TORRENCE, C.; CAMPO, J.P. A practical guide to wavelet analysis. ***Bul. of the American Meteorological Society***. v.79, n.1, p. 61-78, 1998. Disponível em: <<http://paos.colorado.edu/research/wavelets>>. Acesso em: 15 de agosto de 2010.

VARI, R.P.; MALABARBA, L. R. Neotropical Ichthyology: An Overview, p. 1-11 *In*: MALABARBA, L. R.; REIS, R.E.; VARI, R.P.; LUCENA, Z.M.S.; LUCENA, C.A.S. (Eds.) ***Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes***. Porto Alegre, Brasil: Edipucrs 613 p. 1998. ISBN: 8574300357, 9788574300351.

WELCOMME, R. Some general and theoretical considerations on the fish yield of African rivers. ***Journal of Fish Biology***. 2006. Disponível: Wiley Online Library.mht

WELCOMME, R. World prospects for floodplain fisheries. ***Ecohydrology and Hydrobiology***, v. 8, n. 2, p. 169-182, 2008. DOI: 10.2478/v10104-009-0013-0

ZEUG, S.C.; WINEMILLER, K.O. Relationships between hydrology, spatial heterogeneity, and fish recruitment dynamics in a temperate floodplain river. ***River Research and Applications***, v. 24, n. 1, p. 90–102, 2008. DOI: 10.1002/rra.1061.

CAPÍTULO 1

INTERAÇÕES DOS SISTEMAS RIO-OCEANO- ATMOSFERA E CLIMA NA REGIÃO DO BAIXO AMAZONAS

Artigo sendo elaborado para ser submetido para publicação no periódico ***ENVIRONMENT INTERNATIONAL (Elsevier)*** (impresso). Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista excetuando-se a fonte para fins de padronização do *layout* de apresentação desta tese.

RIVER-OCEAN-ATMOSPHERE SYSTEM INTERACTIONS AND CLIMATE IN THE LOWER AMAZON

PINAYA, W.H.D.^{1*}, SOUZA, R.B.², ISAAC, V.J.¹

¹ Laboratory of Fisheries Biology and Management of Aquatic Resources, Federal University of Pará (UFPA), Av. Perimetral, 2651, Terra Firme, Belém, PA, Brazil

² Southern Regional Center for Space Research, National Institute for Space Research (INPE), Santa Maria, Brazil

* Corresponding author:

Walter Hugo Diaz Pinaya

Laboratory of Fisheries Biology and Management of Aquatic Resources

Federal University of Pará (UFPA)

Av. Perimetral, 2651

Terra Firme, 66077-530, Belém, PA, Brazil

Phone: +55 91 32740599

Fax: +55 91 32740599

Email: wpinaya@ig.com.br

Abstract

This work aims to study the spatio-temporal behavior of hydro-meteorological and oceanographic parameters related to the hydrological cycle of the Lower Amazon region. Time series of Amazon River Discharge (ARD), Water Level (WL) and Rainfall (RF) anomalies were used as physical parameters for studying the coupled atmosphere-ocean-river system. Wavelet analysis applied to the time series revealed that the more important power peaks are centered at the seasonal, interannual and biannual periods. The Amazon river discharge and water level and the rainfall of the Lower Amazon region have high entropy at the seasonal and interannual scales. The river flow is highly correlated to the *El Nino* - Southern

Oscillation (ENSO) phenomenon, as well as with the soil temperature (TMP_{sfc}), the soil moisture level (SWSOIL_m), the latent heat flux (LHF) and the Atlantic Inter-Hemispheric Sea Surface Temperature Gradient (GITA) Index. On the other hand, rainfall has a high correlation with TMP_{sfc}, SWSOIL_m, GITA and the ENSO, as measured by the MEI (Multivariate ENSO Index). This study demonstrates that the dynamics of the Amazon River Basin hydrological cycle is dependent not only on the seasonal variability, but also on other events acting in longer time scales, such as the interannual and quasi-decadal periods. This is especially relevant during the dry season when there is a contraction of the aquatic environment and a shortage of available food in this environment. The results presented here may help on better understanding the fishing dynamics of the study area. Fishery is considered the most important local economic activity. These results will certainly help on future management policies aimed to protect the Lower Amazon aquatic and terrestrial ecosystems.

Keywords: hydrological cycle, Amazon Basin, river-atmosphere-ocean system, climate change.

Introduction

The Amazon River drains an area of $6.2 \times 10^6 \text{ km}^2$ and its average annual discharge to the Atlantic Ocean is more than $200,000 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$, representing approximately 20% of the global inland water flow of all rivers on Earth (Marengo, 2006). In order to establish a sufficient understanding of how local water resources are maintained and how they change, it is necessary to identify the largest possible number of parameters or variables that compose this hydrological ecosystem and how they relate to each other. For example, the atmosphere (e.g. air temperature, precipitation and humidity), the vegetation cover, the water cycle dynamics (e.g. surface runoff), and soil properties are all complex and interrelated driving forces of this ecosystem. The understanding of the major oscillation cycles of all these variables is imperative towards the understanding and possible forecasting of the availability of the Amazon region water resources.

The Amazon is considered one of the major world climate regulators. The regional water evapo-transpiration with associated cloud production affects the whole

planet's atmospheric circulation, as well as the storage of substantial biomass and carbon reserves in the soil (Betts, 2008). The humidity comes from the Atlantic Ocean into the Amazon rainforest through successive evaporation and precipitation cycles (Marengo, 1992, Nobre and Shukla, 1996). These cycles are associated with the water vapor convergence flux and the regional and large-scale circulation structures (Chen 1985) which sustains the precipitation over the whole of the Amazon Basin (Salati and Nobre 1991). Despite the fact that the precipitation and water vapor flows are typically stable, Costa and Foley (1999) noted that other components of the hydrological cycle at the Amazon Basin were significantly altered in recent years owing to large changes in atmospheric circulation.

There is no doubt about the importance of El Niño/La Niña and Inter-hemispheric the Atlantic Interhemispheric Sea Surface Temperature Gradient (GITA) over the rainfall in the Amazon region. Results of atmospheric general circulation model (AGCM) indicate that precipitation in the Eastern Amazon (EAM) is modulated by the combined effects of sea surface temperature anomalies of the Atlantic and Pacific Ocean (Souza et al., 2005). The Inter-tropical Convergence Zone (ITCZ) is the main mechanism of atmospheric rainfall production related to above normal precipitation over Eastern Amazonia in the sub-monthly timescale (Souza et al., 2005). Rainfall over Eastern Amazonia (EAM) shows inter-annual variability almost related anomalous patterns of the global atmospheric circulation associated with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) (Ropelewski and Halpert, 1987, 1989; Kiladis and Diaz, 1989; Kousky and Ropelewski, 1989; Souza et al., 2004). Previous studies showed that the EAM tends to negative (positive) rainfall anomaly during El Niño (La Niña) episodes (Hastenrath, 1976; Kousky et al., 1984; Rao and Hada, 1990; Souza and Ambrizzi 2002; Souza et al., 2004). In addition, seasonal variations in Eastern Amazonia rainfall can also be modulated by the sea surface temperature anomalies (SSTA) in the tropical Atlantic Ocean region through the Atlantic Interhemispheric Sea Surface Temperature Gradient (GITA) (Servain, 1991; Nobre and Shukla, 1996). Souza et (2004) showed two scenarios for rainfall in the Eastern Amazon: i) favorable rainfall with the combined effect of El Niño and northward GITA and ii) unfavorable with La Niña combined effect with southward GITA. In years that ENSO events are considered weak the importance of GITA on regional rainfall increases.

Both the sea surface temperature (SST) in the South Atlantic and the local Hadley circulation are known to contribute to the interannual variability of the

precipitation at the Amazon Basin (Xie and Carton, 2004). Yoon and Zeng (2010) showed that there is a relationship between precipitation in Central Amazonia and the Atlantic Ocean SST, especially during the dry season when the ecosystem is more vulnerable (Marengo et al., 2008a, b; Zeng et al., 2008). However, different forest regions are expected to respond differently to the large scale climate changes associated with drought.

Land use studies indicate that the geomorphology and the vegetation cover of the Lower Amazon floodplain have been significantly modified over recent years, leading to a significant deterioration intensified by economic development (Zarin et al., 2001, Rafles and Winklerprins, 2003). An increase of the deforestation rate associated to high precipitation can cause rapid draining, erosion and siltation of local rivers and lakes. Anecdotal reports by local inhabitants of the Amazon associate the decreased fishing supply with the loss of forested area (Albernaz et al., 2004). Even more prejudicial than the deforested landscape is the increase of areas destined for agro-pastoral activities. This and other human interventions affect the landscape of the wetlands thus affecting the river flow, the water quality, the sediment deposition, the soil quality and the local biodiversity. Land use changes in the Amazon can cause impacts on the atmospheric circulation, in the water vapor transport to and from the region and consequently influence the hydrological cycle not only in South America, but also in other parts of the world (D'Almeida, 2007; Correia, 2006).

Marengo (2006) points out to the need for further studies with more detailed regional focus for allowing the quantification of the components of the regional water balance. The aim of this work is to study the spatio-temporal behavior of hydro-meteorological and oceanographic parameters related to the hydrological cycle in the Lower Amazon region, considering the Amazon River Discharge (ARD), the Water Level (WL) and the rainfall (RF). Additionally, this study focuses on the relationship between the variability of global climatic events, such as the ENSO, the North Atlantic Oscillation (NAO) and the Atlantic Inter-Hemispheric Sea Surface Temperature Gradient (GITA). The results presented here are expected to contribute to the understanding of the Lower Amazon climatic dynamics and help the fisheries policies applied in the study area and understand the impacts of environmental change that has occurred and if any future global change on fisheries.

Materials and Methods

Study area

The area of this study is the Lower Amazon region, located between the latitudes of 2° 20' N to 4° 00' S and the longitudes of 58° 20' W to 52° 30' W (Figure 1a). This region is not only a significant part of the Amazon as a whole but is also considered the most important inland fishing area of Brazil, with 49 % of total inland landing (MPA, 2012). Also the Northern Continental Shelf of Brazil (NCSB) area was divided into three sub-regions at the continental shelf of northeastern Pará (PA); the continental shelf of the Amazon (AZ) and the continental shelf of Amapá (AP) (Figure 1b).

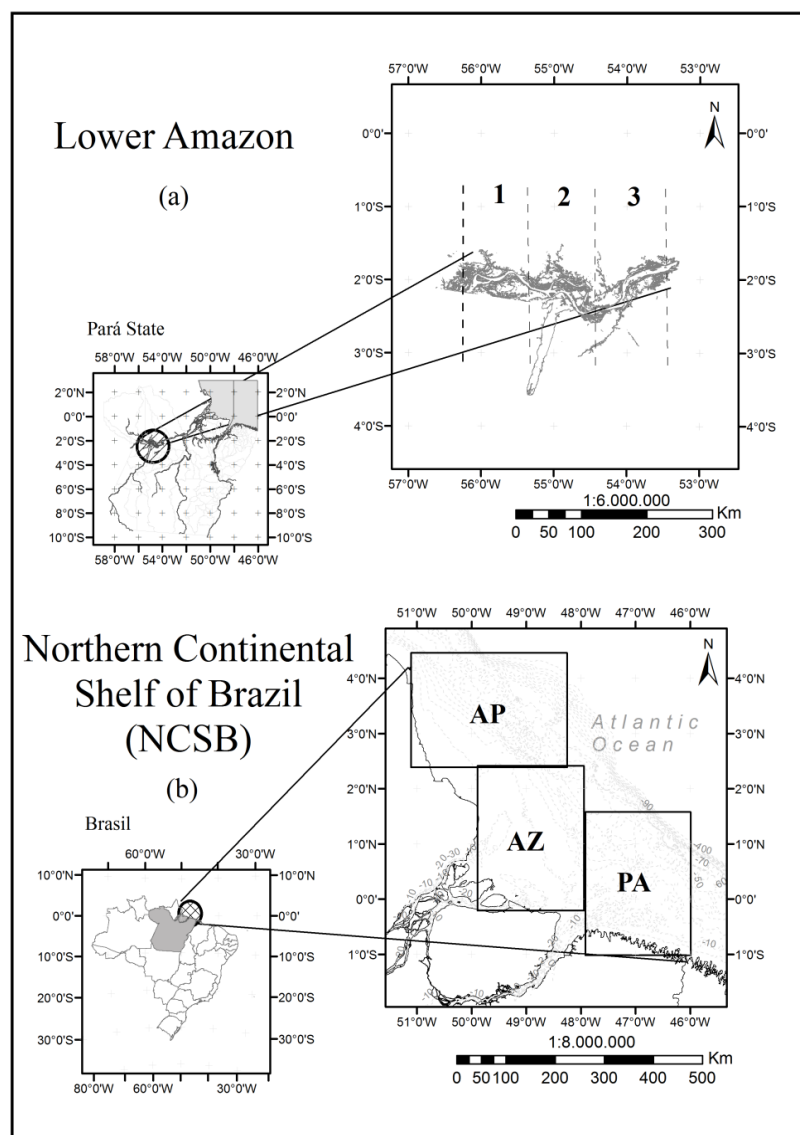


Figure 13: (a) Area of Study, the Lower Amazon region and the three (3) smaller areas: Obidos (1), Santarém (2) and Monte Alegre (3); (b) Northern Continental Shelf of Brazil (NCSB) divided into three sub-regions at the Continental Shelf of Northeastern (PA); the Continental Shelf of the Amazon (AZ) and the Continental Shelf of Amapá (AP).

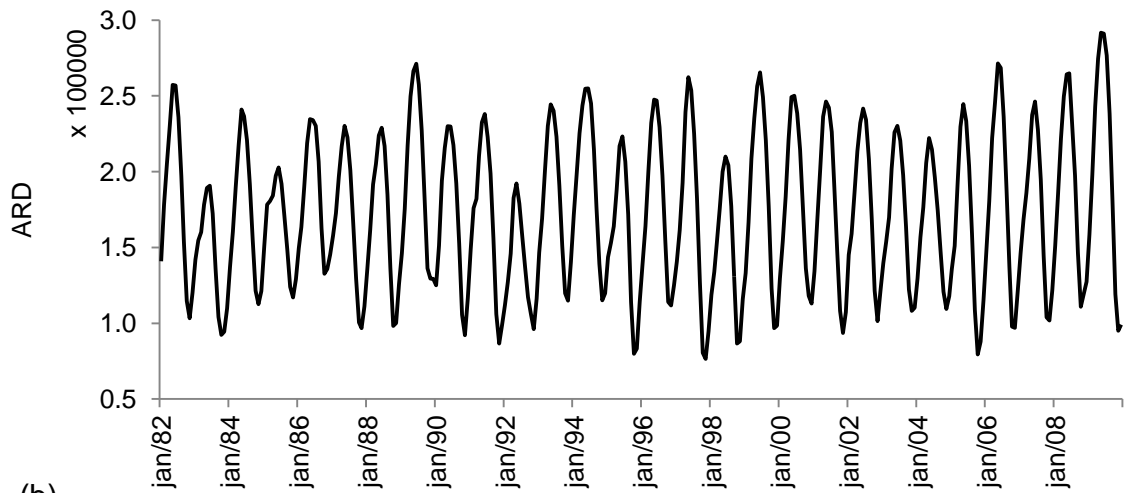
Data and analysis procedure

Data sets

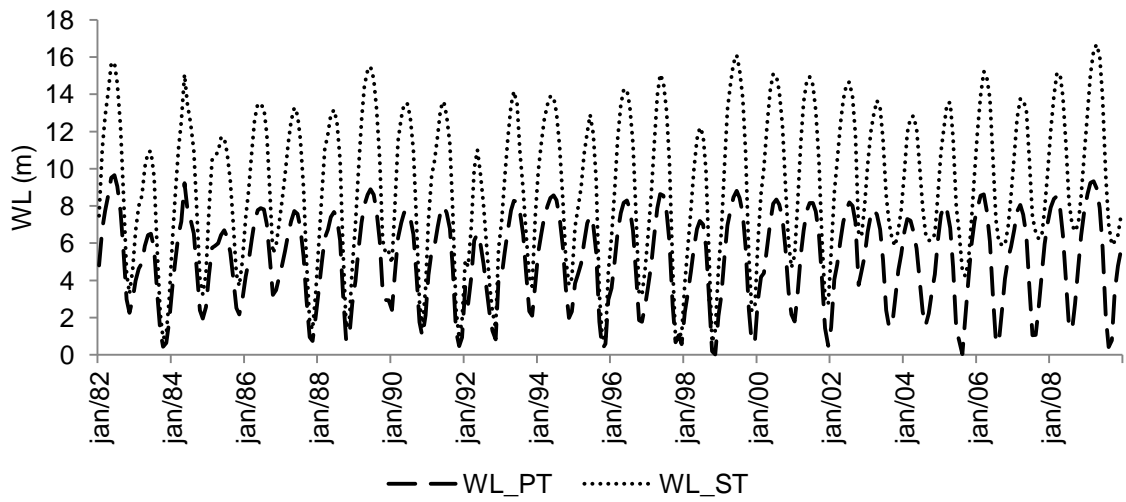
Hydrological Data

The hydrological data used here were obtained from the network of automatic river stations of the Brazilian National Water Agency (ANA - www.ana.gov.br). The variables used here were the river discharge (ARD), the water level (WL) and the precipitation or rainfall (RF) (Figure 2a, b, c-d, respectively). The data were collected at the monthly frequency between January 1982 and December 2009. The rainfall data were estimated from records of weather stations in the cities of Parintins, Nhamundá, Juruti, Oriximiná, Óbidos and Santarém “west” (Sub-area 1), in Santarém “east”, Alenquer, Arapari and Monte Alegre (Sub-area 2) and in Prainha and Almeirim (Sub-area 3) – see Figure 1. Time series of the Amazon river water level are records from stations in Parintins and Santarém. In Óbidos, is located the only station that collects relevant discharge data from the bed of the Amazon River, at 750 km distance from the river mouth. The data analyzed here does not include the discharge of the Tapajós River, a major tributary of the Amazon. Our discharge data, however, is believed to account for about 90% of the total discharge of the Amazon and also to keep the oscillation phases of the total discharge cycle.

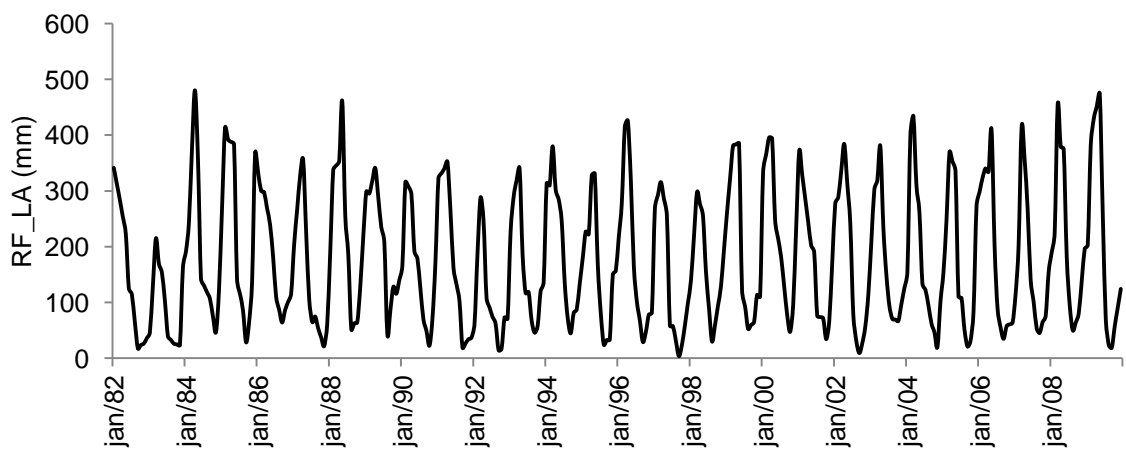
(a)



(b)



(c)



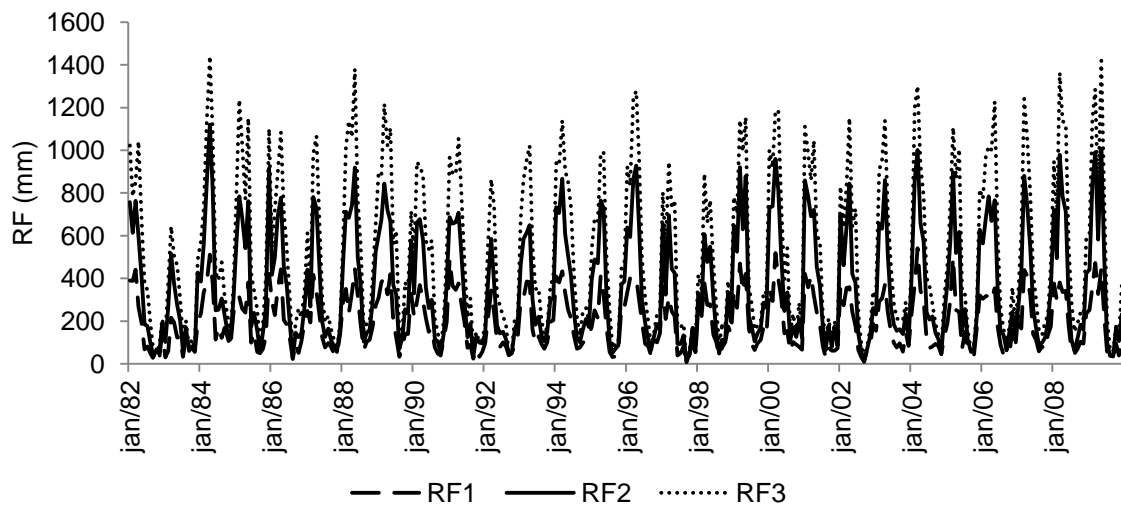
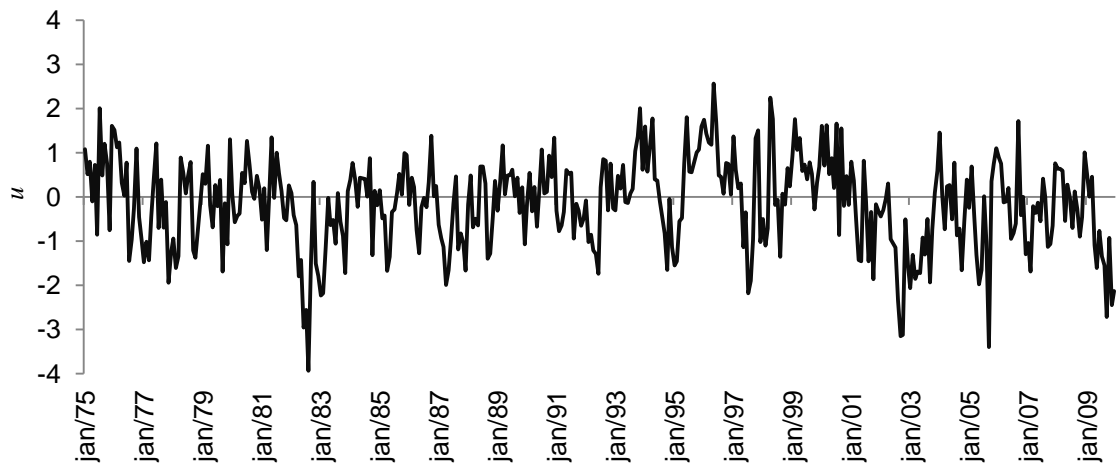


Figure 2: Time series of (a) Amazon river discharge (ARD) in Óbidos; (b) water level (WL) in Parintins (PT) and Santarém (ST); and (c) rainfall (RF) in Lower Amazon (LA), and near Óbidos (1), Santarém (2) and Monte Alegre (3) region, from 1982 January to 2009 December.

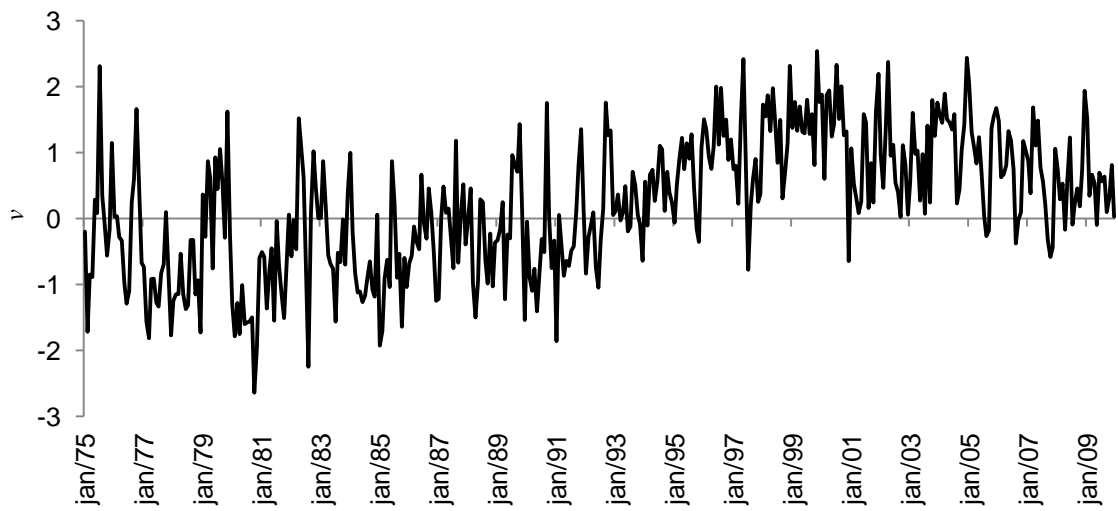
Meteorological Data

The meteorological data used here were extracted from the database of the NCEP/NCAR Reanalysis Project (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research). The products were the N/N Reanalysis (Ebisuzaki et al., 1998) and the Reanalysis 2 (Kanamitsu et al., 2002). Data were obtained in monthly averages with a spatial resolution of 1,8758 km × 1,9058 km lat/lon. First one was performed var-covar analysis of some meteorological variables. As a set of variables to be analyzed here were the zonal and meridional wind anomalies at 10 m height (u and v , respectively), the surface (soil) temperature (TMPsfc), the minimum air temperature at 2 m height (TMIN2m), the specific humidity at 2 m height (SPFH2m), the water content of the soil (SWSoilM) and the latent heat flux (LHF).

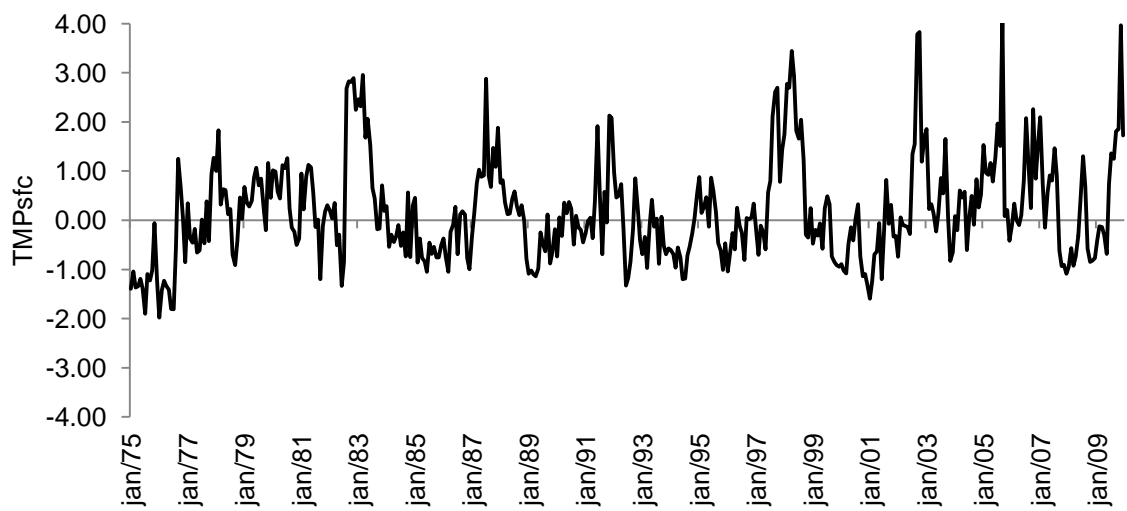
(a)



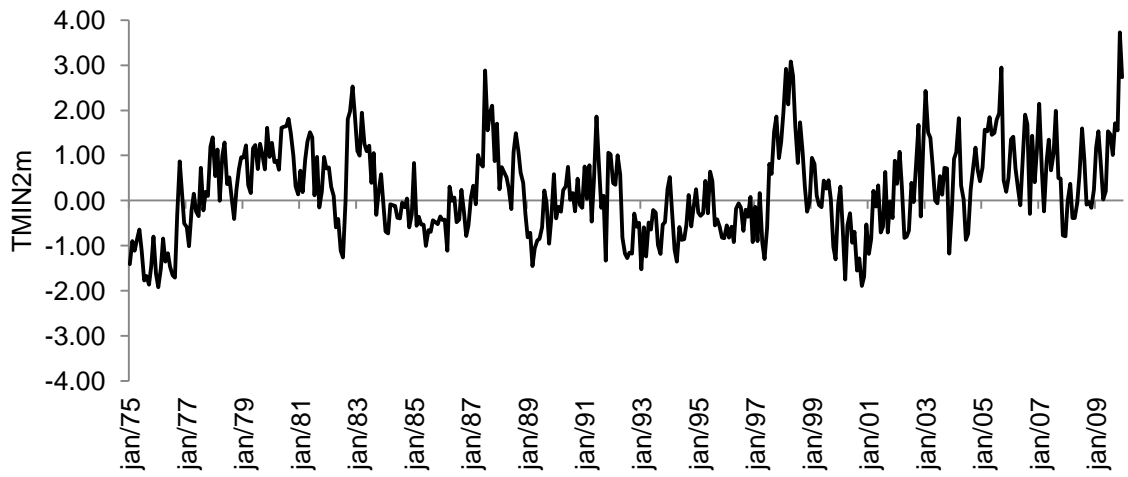
(b)



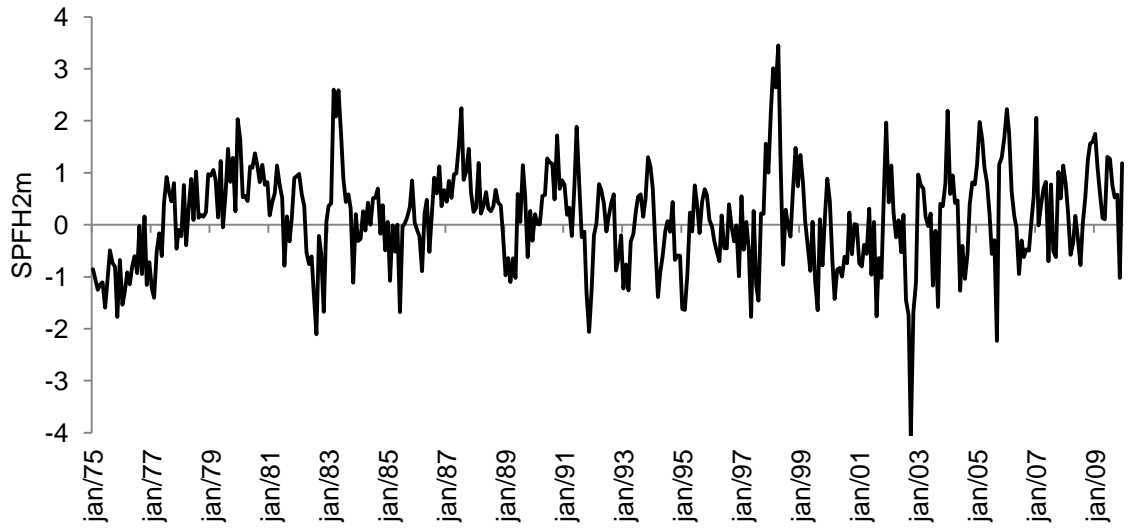
(c)



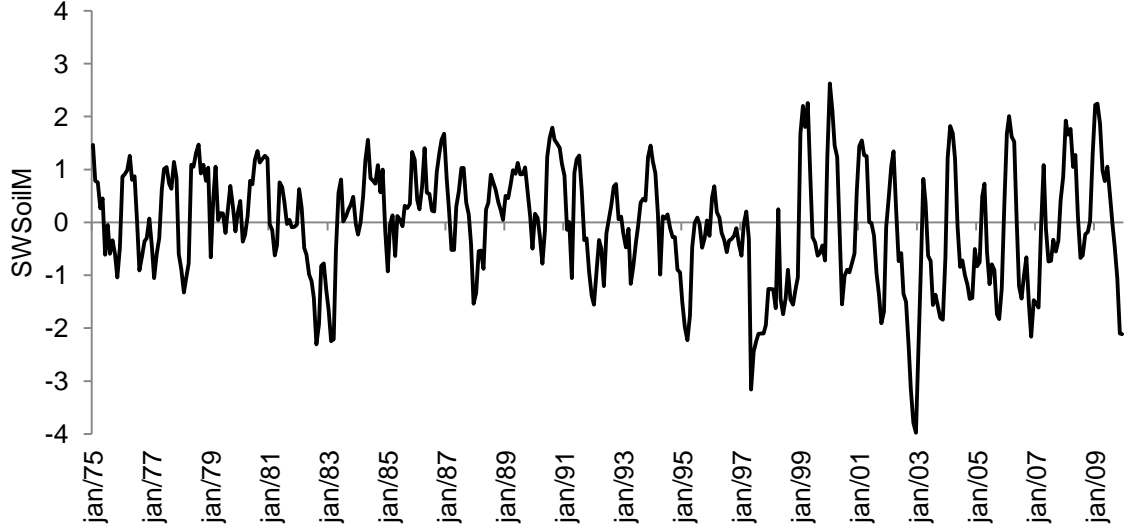
(d)



(e)



(f)



(g)

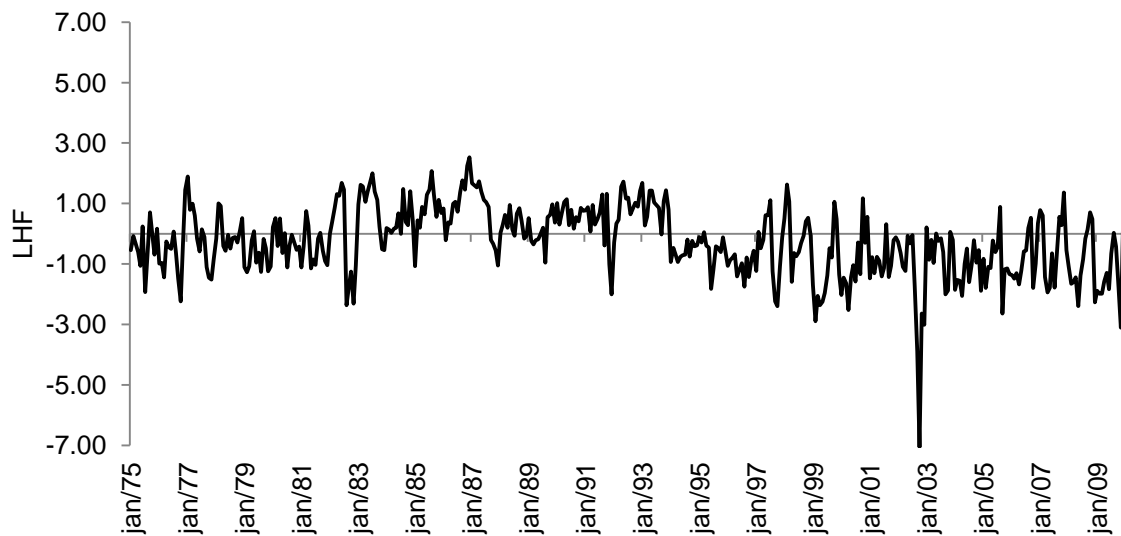


Figure 3: Time series of anomaly of (a) the zonal Wind, (b) the meridional Wind, (c) the surface (soil) temperature (TMPsfc), (d) the minimum air temperature at 2 m height (TMIN2m), (e) the specific humidity at 2 m height (SPFH2m), (f) the water content of the soil (SWSoilM) and (g) the latent heat flux (LHF). Period: January 1975 to December 2009.

Sea Surface Temperature

The SST data were available from the global database of the Pathfinder project, Version 5.0 (PV5), developed by NODC (National Oceanographic Data Center) and RSMAS (Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science – University of Miami) and offered by PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center). The SST data set used here are the "Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST Field" product and were processed with the algorithm NLSST (Non Linear Sea Surface Temperature). With a spatial resolution of 4 km × 4 km, these data were obtained in regular global grids for the period from January 1982 to December 2009, with a monthly temporal resolution. Monthly averages of SST were calculated for the Northern Continental Shelf of Brazil (NCSB) in the Atlantic Ocean. The Figure 4 shows the time series of Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) at (a) the continental shelf of northeastern of Pará (PA); (b) the continental shelf of the Amazon (AZ) and (c) the continental shelf of Amapá (AP).

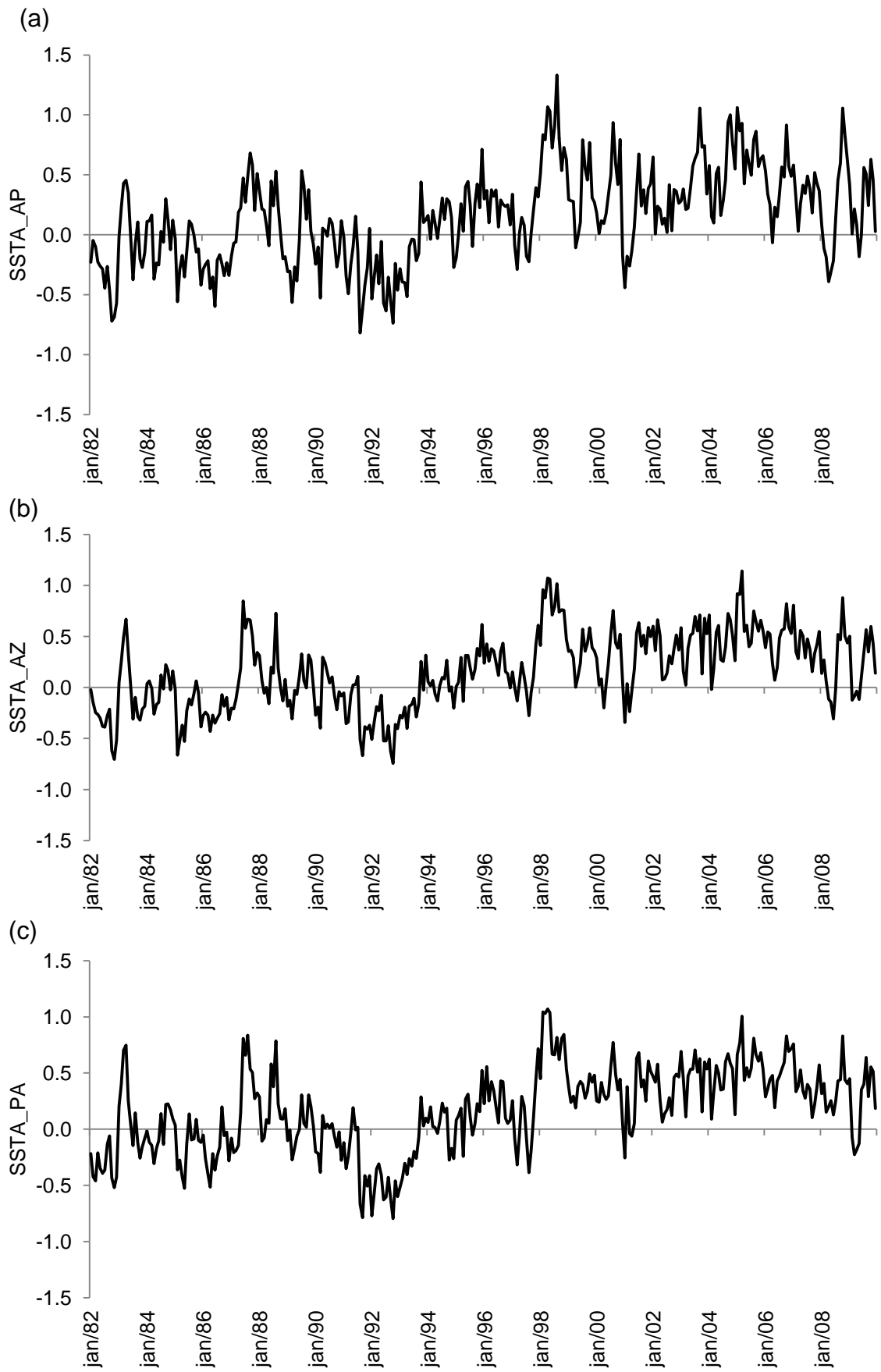


Figure 4: Times series of the Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) at the (a) continental shelf of Amapá (AP), (b) continental shelf of Amazonas and (c) continental shelf of Pará. Period from January 1982 to December 2009.

Climatological Indexes

The climatological indexes used in this study were diagnostic tools aimed to describe the oscillations of the planet's climate system. Each index was created with the purpose of monitoring the climate. We used time series of the Multivariate ENSO Index (MEI), the North Atlantic Oscillation (NAO) Index and the Atlantic Inter-Hemispheric Sea Surface Temperature Gradient (GITA). The MEI is a numerical time series derived from the application of the Empirical Orthogonal Functions into time series of SST and five other meteorological variables in the Tropical Pacific Ocean (Volker and Timlin, 1998). The series were chosen here to indicate the presence of the *El Niño/La Niña* phenomena for their advantage in combining a wide range of coupled variables that controls the ENSO. NAO is the dominant mode of climate variability in the North Atlantic Ocean and its index represents the anomalous difference between the northern hemisphere polar (low) and subtropical (high) atmospheric pressure, The GITA, proposed by Moura and Shukla (1981) strongly controls over the precipitation of the Tropical Atlantic Ocean and its vicinity. Chiang et al. (2013), that describe the long-term behavior of this gradient, point out to the fact that a secular trend of GITA is present over most of the 20th Century and that it has a strong relation to the increase of anthropogenic aerosol and greenhouse gases in the atmosphere.

Analysis

Normalized anomalies of all parameters were estimated by subtracting the actual monthly data from their monthly climatological average and then dividing by the standard deviation. That produces adimensional data which can be freely comparable among themselves. The calculation of the climatology of the hydrological variables was based on data gathered from 1975 to 2006. The climatology for the meteo-oceanographic variables considered the period between 1979 and 1995. This climatology was made available by the Climate Data Assimilation System (CDAS).

Wavelet cross spectrum analysis (WCS) and wavelet covariance

For its applicability to non-stationary data, the wavelet analysis is becoming a popular tool for the analysis of ecological time series (Grenfell et al., 2001; Keitt and Fisher, 2006; Ménard et al., 2007; Keitt, 2008). Wavelet analysis performs a time-scale decomposition of the signal, which means the estimation of its spectral characteristics as a function of time (Lau and Weng, 1995; Torrence and Compo, 1998). The wavelet spectra displayed the variability of the time series in time and frequency domains, enabling us to characterize the changes of frequency through time. To ensure comparable and relevant results, the time series were analyzed on the same time period and on the same range of frequencies. Cross wavelet analysis is an extension of wavelet analysis. It compares wavelet spectra of the two series (Grinsted et al. 2004). This allows detection of the similarities of the two local fluctuations in time series and allows the estimation of the phase between these fluctuations. To identify significant results, we used the cone of influence of noise and red with the same coefficients of first order autoregression (Grinsted et al. 2004). The cone of influence on the scalograms indicates the region not influenced by the edge effects. Wavelet coherence measures the coherence of fluctuations in two series, normalizing their spectra by wavelet cross product of the two spectra simple wavelet. While analyzing wavelet cross-power spectrum emphasizes the common of the two series, the wavelet coherence emphasizes the correlations between variations of these series, ie, the coherence fluctuations. The details of the mathematics and calculations can be found in Torrence and Compo (1998) and Grinsted et al. (2004).

Redundancy analysis (RDA)

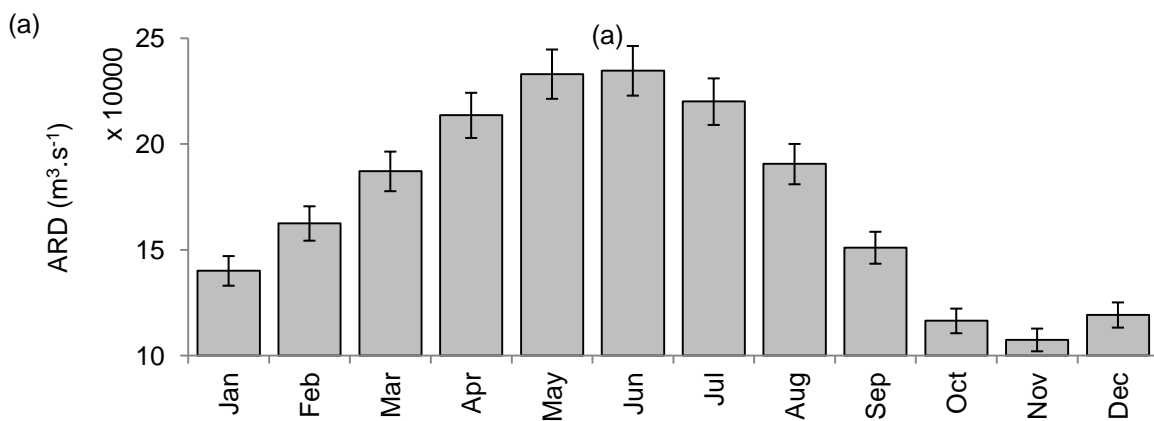
RDA analysis is a multivariate statistical method for estimating the linear relationships between blocks of variables (Legendre and Anderson, 1999). In our case, the explanatory matrices are the meteo-oceanographic variables and the climatic indexes and the explained matrices are the hydrological cycle variables. The statistical significances of our tests were tested by Monte Carlo permutation (9,999

matrix permutations, $p \geq 0.05$), using the software *Canoco for Windows 4.54* (Ter Braak and Smilauer, 2002).

Results and Discussion

Climatology of the hydrological variables

The climatology of the Amazon River discharge (measured at Óbidos) revealed that the high intensity peak occurs in June ($231,599 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) whereas the lowest outflows occur in November ($104,308 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). The seasonal amplitude of the monthly mean climatological discharge is of $127,391 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figure 5). The water level matched the discharge variability presenting the higher elevations at Parintins (799cm) in June. Santarém presented its higher elevation (587 cm) in May. Minimal values were recorded during the month of November in Parintins (173 cm) and Santarém (136 cm).



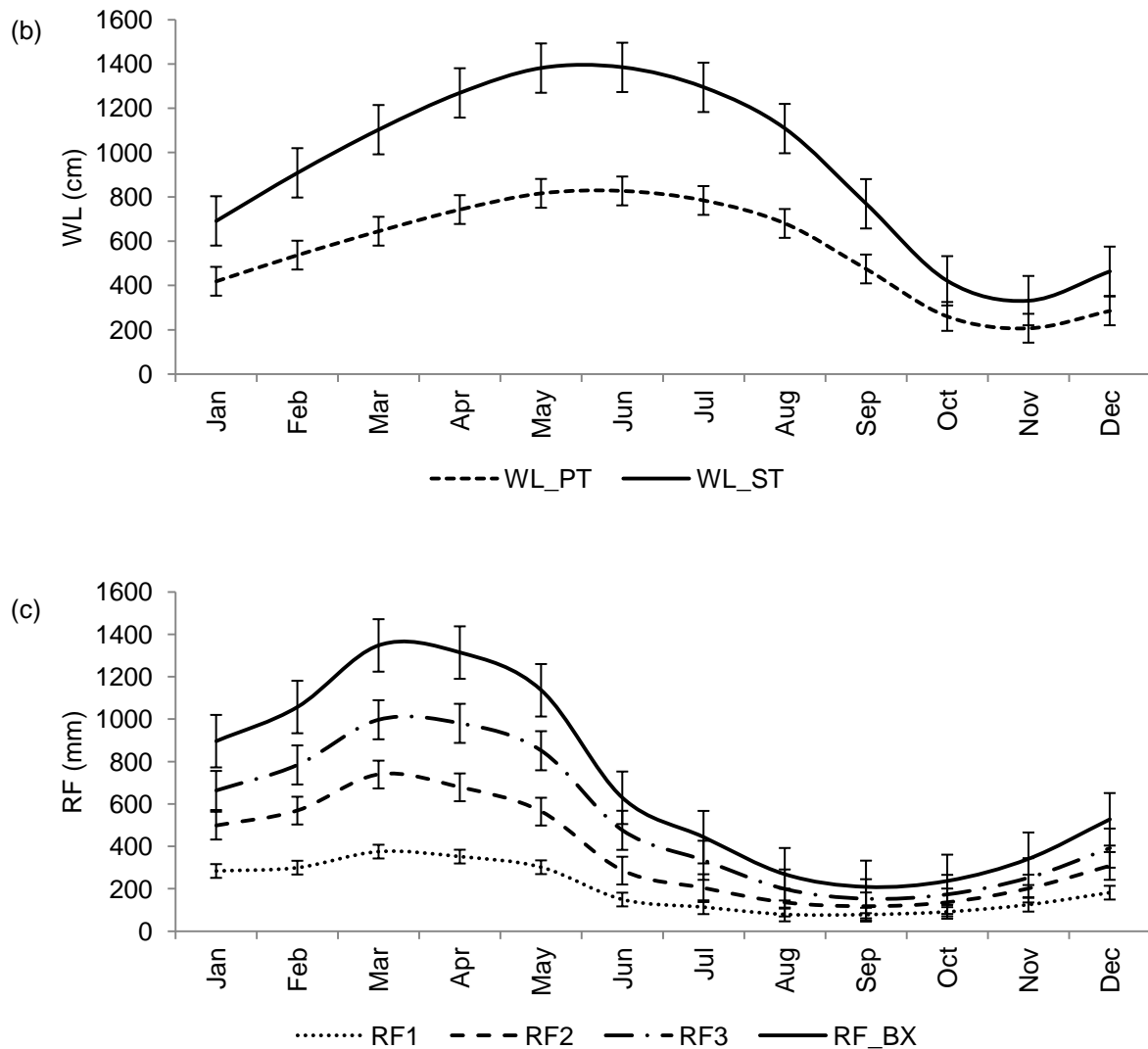


Figure 5: (a) The discharge (ARD, in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), (b) the water level (WL, in cm) climatology of the Amazon River and (c) rainfall (RF, in mm) for the studied region, for the period from 1975 to 2005. PT: Parintins, ST: Santarém, LA: Lower Amazon, 1: Parintins-Óbidos, 2: Óbidos-Monte Alegre, 3: Monte Alegre-Almeirim.

The precipitation over the Amazon Basin has very known seasonal signal, with the rainy season falling between December and April and peaking in March-April each year. The dry season falls from June to October with a peak in August-September. It is noticeable that there is a 2 months time lag between the local rainfall peak and the subsequent increase in the water level (Figure 5).

The highest mean precipitation over the entire study region was found during March in Parintins-Óbidos (P-O, 384 mm) and Óbidos-Monte Alegre (O-MA 337 mm) stations. The highest precipitation for Monte Alegre-Almeirim (MA-A) stations

occurred in April (277 mm). The lowest precipitations for P-O, O-MA and MA-A, respectively were 66 mm (in August), 39 mm (in September) and 40 mm (in September). Considering the mean precipitation for the entire Lower Amazon region, the maximum value was reached in March (320 mm) and the minimum in September (48 mm).

Our results concerning the (climatological) hydrological cycle are consistent with those obtained by Zeng et al. (2008). It is also important to note that there is high spatial variability in the Amazon river discharge anomaly, water level and rainfall over the entire the area of study. This variability may have a considerable impact on the aquatic ecosystems in the Lower Amazon, especially during the dry season when the contraction of the aquatic environment causes shortage of available food. Our results also show that there is a decrease in the river flow during *El Niño* years as noted by Marengo (2004). The opposite occurs during *La Niña* years (Coe et al., 2002).

Wavelet

The power spectrum (wavelet transform, WT) of the Amazon River discharge anomaly (ARD) showed three main power centers: interannual of 42 months (3.5 years) for the period 1993-1999, biennial (associated with negative values of ARD) and annual, which is related to positive values (Fig. 6a). The rainfall in the Lower Amazon shows two interannual power peaks of 54 months (4.5 years), observed almost throughout the analyzed time period (1986 to 2006), and 32 months (2.5 years) for 1993-1997 (Fig. 6b). The water level anomaly of the Amazon River (WL) in Óbidos showed the same power nuclei (interannual, biannual and annual) as the wavelet spectrum of the Amazon River discharge anomaly (Fig. 6c). For the Amazon River water level anomaly in Santarém, the power spectrum (WT) had a biennial power peak from 1995 to 1999 and another annual peak for the periods between 1992-2001 and 2004-2008 (Fig. 6d).

(a)

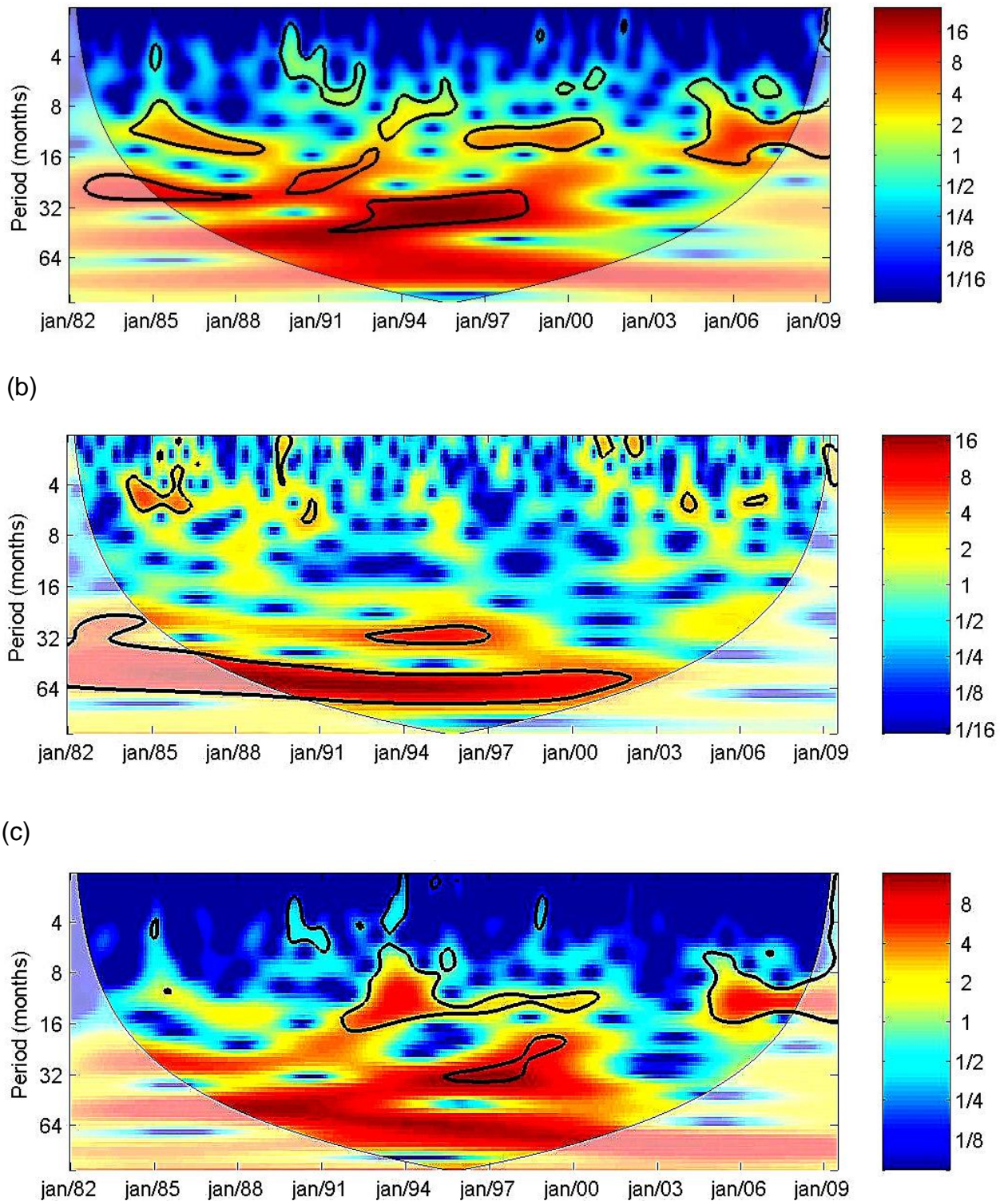
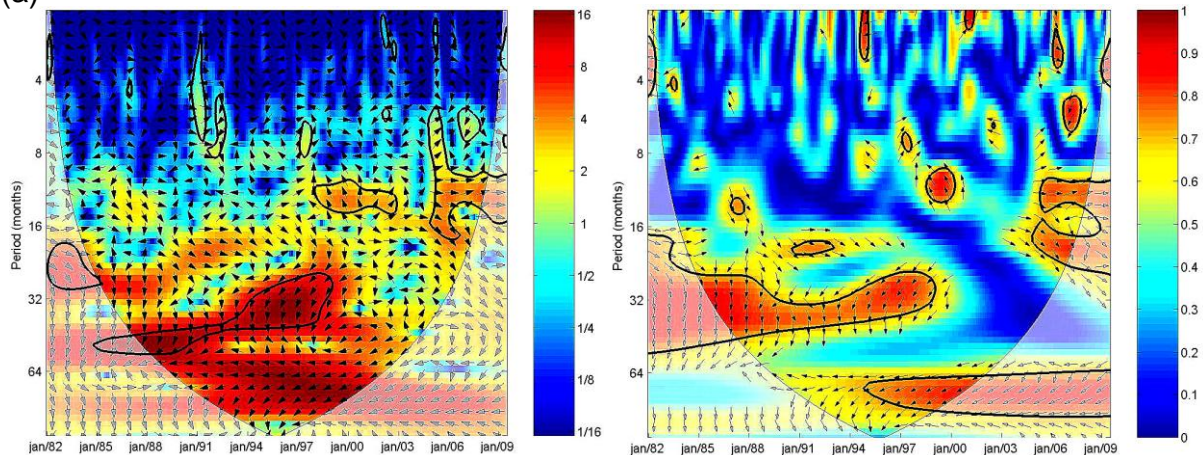


Figure 6: Power spectrum of WT (right) of (a) discharge of the Amazon River at Óbidos, (b) rainfall in the Lower Amazon, (c) the water level of the Amazon River at Santarém. Period 1982 to 2009. The thick black contour designates the 95% confidence level against the red noise and the cone of influence (COI), the areas where the edge effects might distort the picture are shown by the lighter shade.

Cross-Wavelet

The variability common to the Amazon River discharge (ARD) and the surface temperature in the Lower Amazon region (TMPsfc) observed in the cross-wavelet showed two power peaks (Fig. 7a). The first power peak had an interannual character of 48 months (4 years) for the period between 1987 and 2003, where the phase of TMPsfc advanced 135° over ARD, i.e., ARD responded in $3/8$ of the time (15 months) of the TMPsfc variability. The second wavelet was annual for the periods 1998-2002 and 2005-2008; during the first period, the phase TMPsfc had a 90° gap over the ARD, i.e., ARD responded within 3 months of the TMPsfc variations and, in the second period, the two were in phase. In addition, the coherence spectrum had basically the same power nuclei, with an extra peak of a longer period, varying from interannual to quasi-decadal, spanning 66-84 months (5.5 to 7 years). In this case, the phase showed that the variation of ARD was advanced 135° relative to TMPsfc, responding in 32 months (2.5 years) to the variability of this parameter.

(a)



(b)

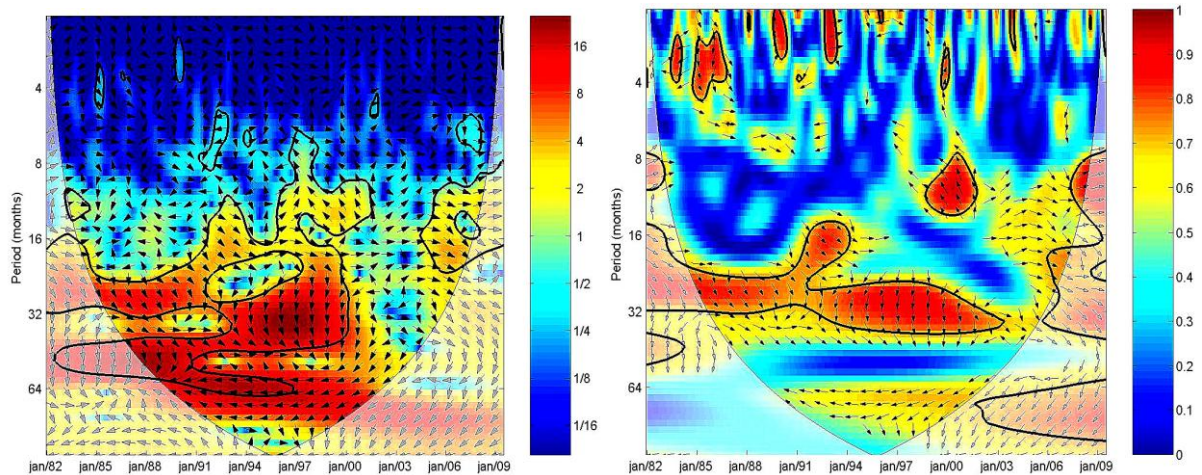


Figure 7: Cross-wavelet of the time series of the Amazon River anomaly discharge (ARD) and (a) of surface temperature (TMPsfc) in the Lower Amazon as well as (b) ENSO events (MEI). On the left, power of the cross-wavelet. On the right, wavelet coherence. The contours represent the variance. The 5% significance level against red noise is shown as a thick outline.

The cross wavelet between the ARD and ENSO events (MEI) showed two peaks of higher power. One interannual peak was centered at 32 months (2.5 years) for the period of 1984-2002, where the phase of the ARD was 90° advanced, relative to ENSO events, i.e., the ARD responded in $\frac{1}{4}$ of the period (8 months) of the variability of ENSO events. The second peak ranged from annual to biennial and was centered in an 18-month (1.5 years) period from 1985-2003, being predominantly in phase (Fig. 7b). The coherence spectrum showed three peaks of power, a biannual from 1985 to 2003, where ARD was advanced 90° in relation to ENSO events, responding in $\frac{1}{4}$ of the period (approximately 7 months) of the ENSO events. There was also an annual peak from 1998 to 2001, with a 225° phase shift of ENSO events over ARD, responding in 4 months, and a third peak of 4 months, with the phase advanced 90° and a 1 month response. Thus, the sign of ARD was predominantly advanced 90° , in relation to ENSO events and its effect was seen in the variability of ARD from 1 to 12 months (1 year) after ENSO events.

The water level anomalies of the Amazon River in Santarém (WL_ST) and the sea surface temperature on the continental shelf of Pará (SSTA_PA) had a common variability, observed in the cross wavelet with two major peaks of power (Fig. 8a). The first was biennial for 1995-1999, with the phase of SSTA_PA advanced 90° relative to WL_ST, i.e., WL_ST responded in $\frac{1}{4}$ of the period (six months) of the

SSTA_PA variation. The second peak, for the years 1984-1989, was annual and had three nuclei with SSTA_PA that lagged 45° from WL_ST, i.e., WL_ST responded in $1/8$ of the period (1.5 months) of the SSTA_PA. It was in the opposite phase as 1999-2000 and in 2004-2008, where the signals lagged by 90° , or WL_ST responded in 3 months to SSTA_PA variability. The coherence spectrum did not show a prominent peak, but rather isolated cores that were dispersed throughout the relevant period.

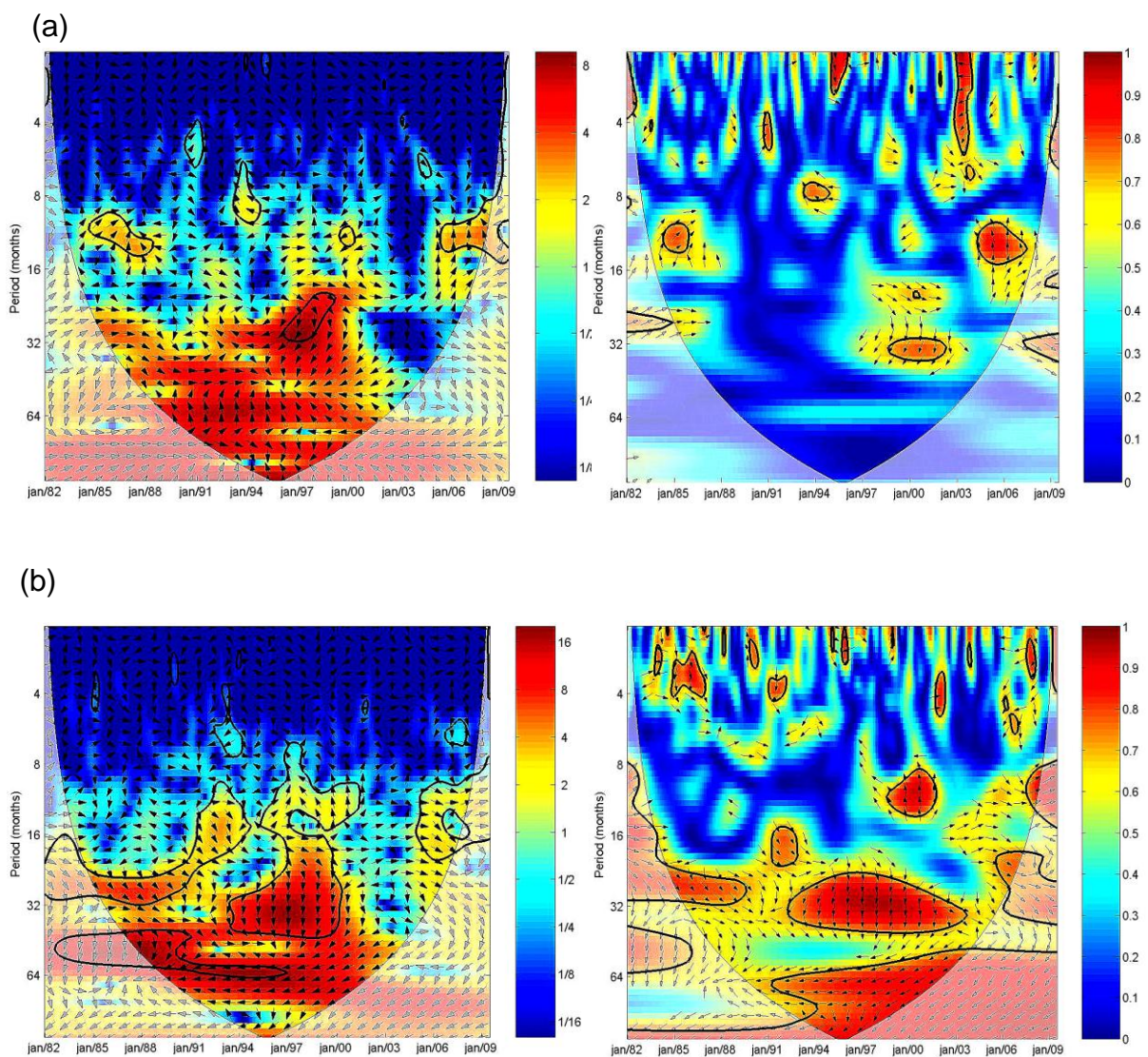


Figure 8 : Cross-wavelet between anomalies: (a) the water level of the Amazon River in Santarém (WL_ST) and the sea surface temperature on the continental shelf of Pará (SSTA_PA) and (b) ENSO events. The left side is the cross-wavelet power and the right is wavelet coherence. The contours represent the variance. The 5%

significance level against red noise is shown as a thick outline (cone of influence). The relative phase is shown as a vector.

Considering the water level anomalies of the Amazon River in Santarém (WL_ST) and associated ENSO events (MEI), the cross-wavelet showed 3 predominantly interannual power peaks (Fig. 8b). One displayed a 64-month peak (4.5 years) between 1988 and 2002, with the ENSO advanced 135° in relation to WL_ST, i.e., WL_ST responded in 24 months (2 years) of ENSO event variation. Another core lasted 42 months (4.5 years) for 1986-2000 with the phase advanced 90° , where WL_ST responded to MEI variation in $1/4$ of the period (10 months). The third core was biannual for 1985-2000, with the ENSO phase advanced $45-90^\circ$ in relation to WL_ST, i.e., WL_ST responded to ENSO variability in $1/4$ of the period (6 months). The coherence spectrum indicated three major peaks. The first peak lasted 64 months (4.5 years) from 1991-2004, with the signals in completely opposite phases. Another peak of 32 months (2.5 years) was observed for 1992-2004, where MEI was advanced 90° to the WL_ST, i.e., WL_ST responded to ENSO variation in 8 months. The third peak lasted up to 4 months and had many nuclei with different phases scattered throughout the relevant period.

Rainfall (RF_LA) in the Lower Amazon and surface temperature in the same region (TMPsfc) had a common interannual power peak of 48 months (4 years) for the years 1987-2004, in completely opposite phases (Fig. 9a). On the other hand, the coherence spectrum showed three power nuclei. The first, as we can observe in the wavelet spectrum, ranged for 48 months (4 years) in the same period and was out of phase. The second varied from quasi-annual to annual between 1987-2007 with the TMPsfc phase advanced 135° over RF_LA, i.e., rainfall in the Lower Amazon responded in 4.5 months to any variation of TMPsfc. There was yet another peak, but with infra-annual variability (up to 4 months) with different phases and power cores spread over the analyzed period.

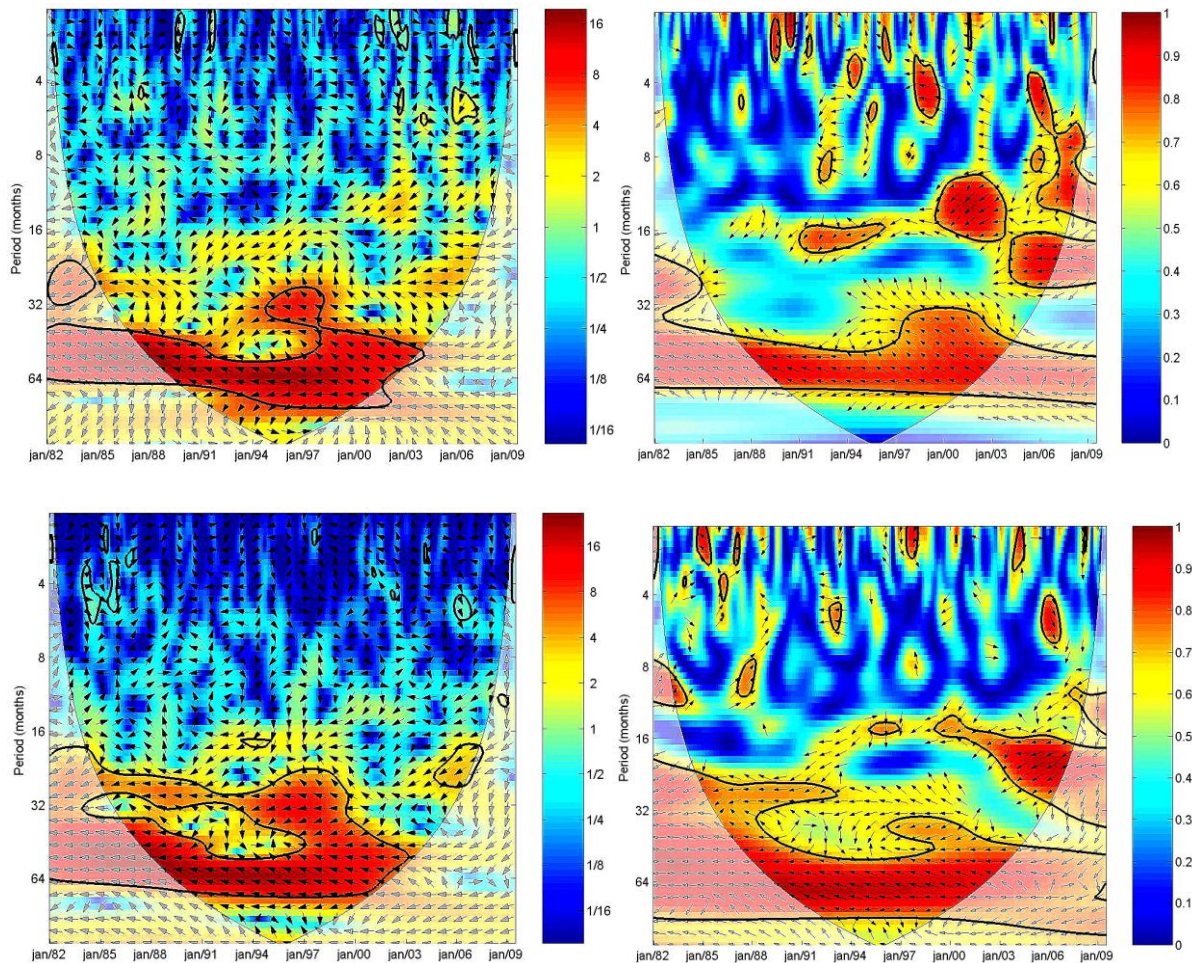


Figure 9: Cross-wavelet between anomalies (a) in rainfall (RF_LA) and surface temperature (TMPsfc), both are in the Lower Amazon (LA) and (b) ENSO events (MEI). The left side shows the power of the cross-wavelet and the right side is the wavelet coherence. The contours represent the variance. The 5% significance level against red noise is shown as a thick outline (cone of influence).

For the ENSO events and rainfall in the Lower Amazon (RF_LA), the cross-wavelet displayed two peaks, one interannual of 60 months (5 years) for 1988-2003 and another biennial for 1985-1999, both in completely opposite phases (Fig. 9b). The coherence spectrum showed three power peaks. One ranged from 24 to 84 months (2-7 years), centered at 64 months (5.5 years) from 1983 to 2003. The second peak was biannual for 1984-2007. Both were in the complete opposite phase. Infra-annual cores (> 6 months) could be observed throughout the period of study.

Redundancy Analysis

The RDA model for hydrological cycle variables, discharge (ARD) and level (WL) of the Amazon River, explained 36% of the variance, considering 13 exploratory factors (environment variables) ($p = 0.0065$, F-ratio: 5.02), with 76.9% of the variance explained in the first canonical axis and 15.4% in the second. Nine variables contributed significantly to the explanation of the model: u , SWSoiIM, SPFH2m, TMIN2m, LHF, SSTA_PA, SSTA_AZ, MEI, and GITA.

Figure 10 (left) illustrates ARD co-vary negatively with GITA, LHF and MEI, and positively with SWSoiIM, and also show a weak correlation with the SSTA_AZ. The variable WL_ST also was negatively correlated with GITA, LHF and MEI, and positively with SSSTA_PA and SWSoiIM. There was also a weak negative covariance with SSTA_AZ. On the other hand, WL_PT was more closely positively related to u and SPFH2m when compared with SWSoiIM and SSTA_AZ and co-vary negatively with TMIN2m and there was a relatively weak correlation with GITA, MEI and LHF.

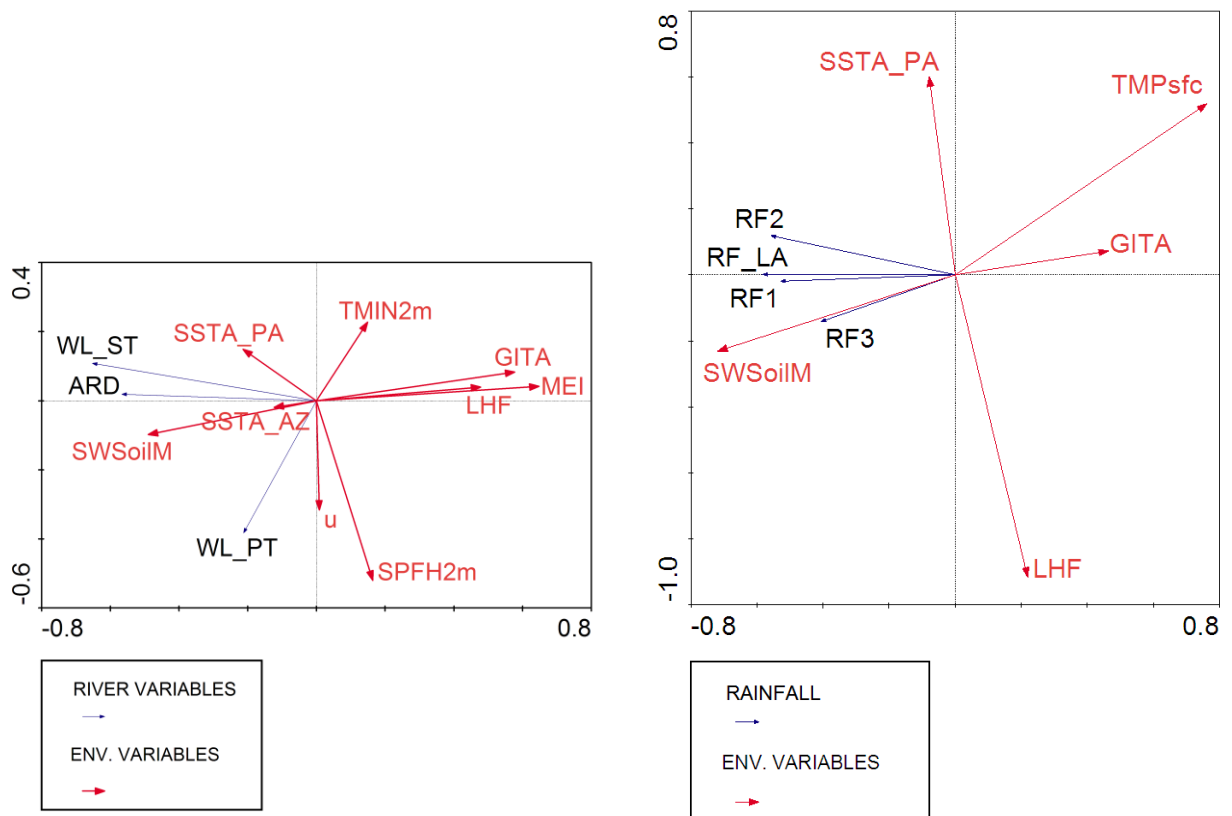
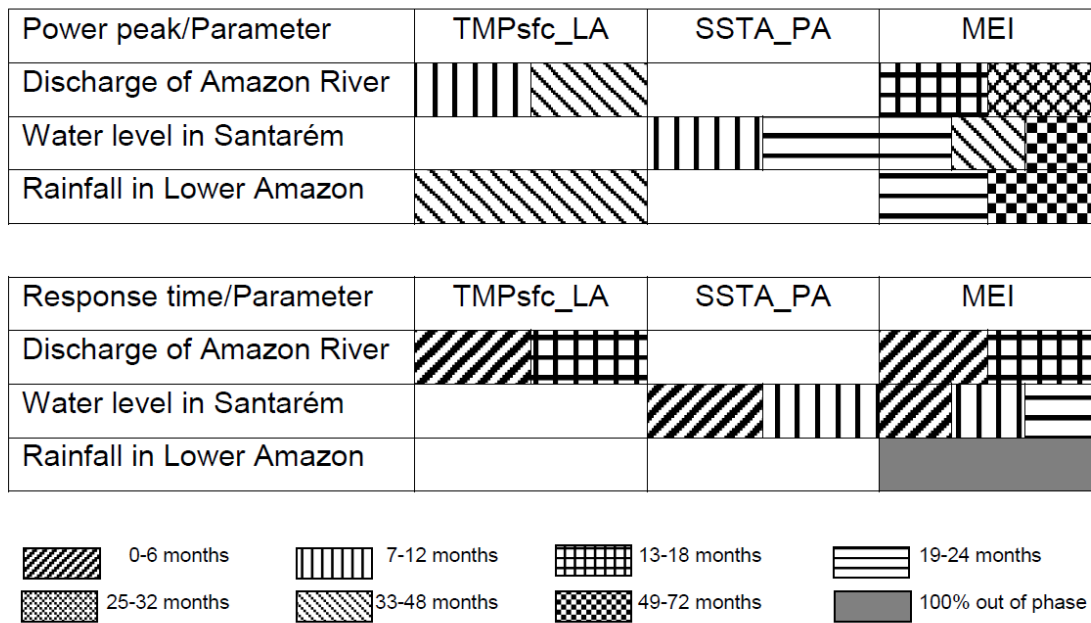


Figure 10: Canonical Redundancy Analysis (RDA) for (left) anomalies of the variables of the hydrological cycle, discharge of the Amazon River (ARD), water level at Parintins (WL_PT) and Santarém (WL_ST), (right) rainfall anomaly (RF) in the areas of study, both against anomalies of climate variables, where u : zonal wind at 10 m, TMPsfc: surface (soil) temperature, TMIN2m: minimum air temperature at 2 m from the surface, SWSoilM: volumetric soil moisture, SPFH2m: specific humidity of the air, LHF: latent heat flux or evapotranspiration, SSTA: sea surface temperature anomaly, GITA: Atlantic Interhemispheric Sea Surface Temperature Gradient, MEI: Multivariate ENSO index and area => LA: Lower Amazon, 1: Parintins/Óbidos, 2: Óbidos/Monte Alegre and 3: Monte Alegre/Almeirim, PA: continental shelf of northeastern of Pará State, AZ: continental shelf of Amazon.

The rainfall RDA model explained 34% of the variance in precipitation (RF), considering 16 exploratory factors ($p = 0.0054$, F ratio: 6.23), with 96.4% explained in the first canonical axis. There were five (5) variables that significantly contributed to the explanation of the model: TMPsfc, SWSoilM, LHF, GITA and SSTA_PA. The RF1 and RF_LA were negatively related with GITA and TMPsfc and positively with SWSoilM (Fig. 10-right). RF2 has a positive relation with SSTA_PA and SWSoilM and a negative relation with the GITA and TMPsfc. RF3 had a strong negative relation with TMPsfc and GITA and a positive relation with SWSoilM. RF also show a weak correlation with the LHF.

Table 1: Summary of the power peaks and response times (phases) observed in the cross-wavelet analysis of the hydrological parameters in the Lower Amazon. Period: January 1982 - October 2009. Where anomalies: TMPsfc_LA = surface temperature in the Lower Amazon, SSTA_PA = sea surface temperature on the continental shelf of Pará and MEI = Multivariate ENSO Index.



The more important power peaks observed in wavelet analysis (Table 1) that were related to the variables of the hydrological cycle in the Lower Amazon are interannual (42-54 months or 4-4.5 years), biennial and seasonal. These peaks are related to events of different sizes, with micro (soil moisture), meso (wind variability) and large (ENSO and GITA) scales. Decreased discharge of the Amazon was observed during El Niño years (Marengo, 2004), and increased discharge and flood area during La Niña years (Coe et al., 2002). Nuclei with annual and biennial periods coincided with periods of intense ENSO activity, strong El Niño and strong La Niña. These results are supported by those of Yoon and Zeng (2010), who found that the rainfall over southern Amazonia varies according to the moisture flow from the tropical Atlantic Ocean.

Enfield & Mayer (1997) found a lag of 8 months between North Atlantic SST and ENSO events. The Atlantic acts as a lagged amplifying agent of the Pacific influence (Giannini et al., 2001). On the other hand, the Atlantic has a strong influence on rainfall in the Amazon region, even after the ENSO signals have been removed. The same result was obtained in the cross-wavelet analysis for the response time of 8 months between ENSO events and the discharge of the Amazon River. When viewing the power peaks the response times of the hydrological cycle to the variability of the analyzed parameters, should be considered (Table 1), especially

for those occurring on an infra-annual scale (0-8 months), as verified in the high power core phases of the cross-wavelet spectra.

The discharged water level and rainfall in the Lower Amazon region have a high entropy for seasonal and interannual scales, i.e. their variability cannot be explained by a single parameter, but rather by a set of parameters, which are often interdependent. Discharge, for example, has >0.45 correlation with several of the analyzed parameters, such as TMPsfc, SWSOILm, LHF, MEI and GITA. In Santarém, in addition to these parameters, the level of the river displays variability related to SSTA in the northern continental shelf of Brazil. The same phenomenon can also be observed in the RDA.

Rainfall also has a strong correlation with several of the analyzed parameters, such as as TMPsfc, SWSoilM, GITA and MEI. The highest values were associated with the *lag* 0 (no delay). This shows that rainfall in the Lower Amazon is sensitive to any change in the forest-atmosphere-ocean system. The interannual variability of this parameter, observed in the wavelet analysis, is related to the anomalous heating/cooling of SST in the adjacent ocean basins (Yoon and Zeng, 2010, Dickinson, 1987). The variability of SST gradients in the Pacific or Atlantic, as well as ENSO events, would not be sufficient to fully explain the rainfall in the Amazon Basin in response to global changes (Harris et al., 2008). Two severe drought periods (in 1995 and 1998) coincided with the higher power nucleus observed in the wavelet analysis of the ARD. They were associated with an anomalous increase in Atlantic SST, together with a decrease in the intensity of trade winds and a reduction in water vapor transport in the eastern portion of the Amazon basin (Espinoza et al., 2011). Severe droughts in the Amazon occur when eastern equatorial Pacific temperature (positive MEI) and SST in the North Atlantic are warm (positive anomaly), as in 1983 and 1987. Events such as the warming of the South Atlantic in 1984 may also be partly related to the El Niño of 1982-83. In 1998, a severe El Niño caused a reduction in water vapor transport over the eastern Amazon, causing a divergence anomaly over this region. In the same year, a warming was observed in the tropical Atlantic Ocean, caused by ENSO-1 (Yoon and Zeng, 2010). This indicates that the variability observed in the anomalies of the hydrological cycle parameters are not the result of just one cause, but of a series of interrelated reasons.

The results obtained by cross-wavelet analysis between the water level in Óbidos (WL_ST) and surface temperature (TMPsfc) in the Lower Amazon are

corroborated by those obtained by Labat et al. (2005). Successive extreme El Niño events (April/1982-July/1983, July/1986-March/1988, April/1997-May/1998 and April/2002-March/2003) and La Niña (April/1988-June/1989, June/1998–April/2001 and October/2005-April/2006) were observed throughout the considered period. These events are connected to the power nuclei obtained by cross-wavelet analysis between variables.

Conclusion

In the nature has a set of uncertainties influenced by climate change and their links to the dynamics of the hydrological cycle and the ecosystem. Even with this uncertainty, the present study show that not only is seasonality important in the understanding of variability in the hydrologic cycle of the Amazon River Basin, but other scales should also be considered as interannual and quasi-decadal scales. These scales are related with meso and large event scales such as ENOS and GITA, among other factors, and can be observed in cross-wavelet analysis.

Climatic variability in the river-atmosphere-ocean system and on the floodplain is one of the main modelling factors in the aquatic communities of the Lower Amazon, determining changes in the extent of the aquatic habitat and involving deep lying environmental modifications that also regulate the structure of the fishery communities in the region.

Further studies should be conducted to improve the knowledge of the impact of climate variability and the hydrological cycle over the Amazon ecosystems, which contains enormous biodiversity and can sustain damage that is possibly irreparable and can influence the entire planet.

Acknowledgements

The author would like to thank CAPES for the financial support of a doctoral sandwich scholarship (process 9894/11-0), the Federal University of Pará (UFPA), the PROPESP/UFPA and FADESP for the financial support for publication and for the Post-Graduate Program in Aquatic Ecology and Fisheries (PPGEAP) that provided the opportunity for this research, the National Water Agency (ANA) and,

finally, NOAA/NCEP for the release of orbital data and meteorological reanalysis. Additional thanks to Dr. Pablo Pita and Dr. Juan Freire from the Facultad de Ciencias Universidad da Coruña (Spain) for their collaboration in the conclusion of this work.

References

Albernaz, A. L., Moreira, M.P., Ramos, J., Assunção, P.A., Franciscan, C.H., 2004. Contribuição ao conhecimento da distribuição de árvores. Estudo estratégico “bases científicas para a conservação da várzea: identificação e caracterização de regiões biogeográficas”. *Projeto Provárzea*. Belém.

Betts, R.A., Malhi, Y., Roberts, J.T., 2008. The future of the Amazon: new perspectives from climate, ecosystem and social sciences. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363, 1729-1735. doi: 10.1098/rstb.2008.0011

Chen, T.C., 1985. Global water-vapor flux and maintenance during FGGE. *Mon. Weather Rev.*, 113, 1801–1819.

Chiang, J., Chang, C., Wehner, M., 2013. Long-term behavior of the Atlantic Interhemispheric SST Gradient in the CMIP5 Historical Simulations. *J. Climate*. doi:10.1175/JCLI-D-12-00487.1, in press.

Coe, M.T., Costa, M.H., Botta, A., Birkett, C., 2002. Long-term simulations of discharge and floods in the Amazon basin. *J. Geophys. Res.*, 107, 8044. Available at <http://dx.doi.org/10.1029/2001JD000740>

Correia, F. W., 2006. Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA). *Rev. Bras. Meteorologia*, 21(3a), 153-167.

Costa, M.H., Foley, J.A., 1999. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. *J. Geophys. Res.*, 104(D12), 14189–14198.

D'Almeida, C., 2007. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. *Int. J. Clim.*, 27(5), 633-647.

DOI: 10.1002/joc.1475

Dickinson, R.E., 1987. *The Geophysiology of Amazonia: vegetation and climate interactions*. Wiley Series in Climate and the Biosphere, Vol 1 Climate and the Biosphere. Wiley Interscience Pub., New York. 526 p.

Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Potter, J., Fiorino, M., 1998. An Overview of Reanalysis-2. Resumos Climate Diagnostics Workshop, Miami, Florida. Available at http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis2/cdw98_abs.html. Last access in April 10, 2010.

Enfield, D.B., 1996. Relationships of inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 3305–3308.

Enfield, D.B., Mayer, D.A., 1997. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, 102, 929–945.

Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Junquas, C., Vauchel, P., Lavado, W., Drapeau, G., Pombosa, R., 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L13406. DOI:10.1029/2011GL047862.

Cazelles, B., Chavez, M., Berteaux, D., Ménard, F., Vik, J.O., Jenouvrier, S. et al., 2008. Wavelet analysis of ecological time series. *Oecologia*, 156, 287–304.

Giannini, A, Chiang, J.C.H., Cane, M.A., Kushnir, Y., Seager, R., 2001. The ENSO teleconnection to the tropical Atlantic Ocean: contributions of the remote and local SSTs to rainfall variability in the tropical Americas. *J. Clim.*, 14, 4530–4544.

Grenfell, B.T., Bjørnstad, O.N. & Kappey, J., 2001. Travelling waves and spatial hierarchies in measles epidemics. *Nature*, 414, 716–723.

Grinsted, A., Moore, J.C., Jevrejeva, S., 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysic.*, 11, 561–566. ID: 1607-7946/npg/2004-11-561.

Harris, P.P., Huntingford, C., Cox, P.M., 2008. Amazon Basin climate under global warming: the role of the sea surface temperature. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363, 1753–1759. DOI:10.1098/rstb.2007.0037.

Huang, B.H., Schopf, P.S., Pan, Z.Q., 2002. The ENSO effect on the tropical Atlantic variability: a regionally coupled model study. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 2039. DOI:10.1029/2002GL014872.

Hastenrath, S., 1976. Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33, 201-215.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S., Hnilo, J. J., Fiorino, M., Potter, G. L., 2002. NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis. *Bul. of the American Meteorological Society*, 83, 11, 1631-1643.

Keitt, T.H., 2008. Coherent ecological dynamics induced by large scale disturbance. *Nature*, 454, 331–334.

Keitt, T.H., Fisher, J., 2006. Detection of scale-specific community dynamics using wavelets. *Ecology*, 87, 2895–2904.

Kiladis, G., Diaz, H.F., 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2, 1069-1090.

Kousky, V.E., Kayano, M.T., Cavalcanti, I.F.A., 1984. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.

Kousky, V.E., Ropelewski, C.F., 1989. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 4, 351-363.

Labat, D., Ronchail, J., Callede, J., Guyot, J.L., De Oliveira, E., Guimaraes, W., 2004. Wavelet analysis of Amazon hydrological regime variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L02501. DOI: 10.1029/2003GL018741.

Legendre, P., Anderson, M.J., 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs*, 69, 1, 1–24.

Liu, Z., Zhang, Q., Wu, L., 2004. Remote impact on tropical Atlantic climate variability: statistical assessment and dynamic assessment. *J. Clim.*, 17, 1529–1549.

Marengo, J.A., 1992. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Int. J. Climatol.*, 12, 853-863.

Marengo, J.A., 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.*, 78, 79–96.

Marengo, J.A., 2006. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: a historical review and current state-of-the-art. *Rev. Bras. Meteorologia*, 21, 3A, 1-19.

Marengo, J.A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Cardoso, M.F., Oyama, M.D., 2008a. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Phil. Trans. Roy. Soc. B.*, 363, 1773–1778.

Marengo, J.A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Oyama, M.D., De Oliveira, G.S., De Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L.M., Brown, I.F., 2008b. The drought of Amazonia in 2005. *J. Clim.*, 21, 495–516.

Marshall, J., Kushner, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., Hurrell, J., McCartney, M., Saravanan, R., Visbeck, M., 2001. North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. *Int. J. Climatol.*, 21, 1863–1898.

Ménard, F., Marsac, F., Bellier, E., Cazelles, B., 2007. Climatic oscillations and tuna catch rates in the Indian Ocean: a wavelet approach to time series analysis. *Fish. Oceanogr.*, 16, 95–104.

Ministry of Fisheries and Aquaculture of Brazil (MPA), 2012. Boletim Estatístico Pesqueiro e Aquacultura 2011. 60 p.

Moron, V., Bigot, S., Roucou, P., 1995. Rainfall variability in subequatorial America and Africa and relationships with the main sea-surface temperature modes (1951–1990). *Int. J. Climatol.*, 15, 1297–1322.

Moura, A. D., Shukla, J., 1981. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil - observations, theory and numerical experiments with a General-Circulation Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38(12), 2653-2675.

Nobre, P., Shukla, J., 1996. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J. Climate.*, 9 (10), 2464-2479.

Raffles, H., Wiklerprins, M.G.A., 2003. Further Reflections on Amazonian Environmental History: Transformations of Rivers and Streams. *Latin American Research Review*, 38 (3), 165-187, 2003.

Rao, V.B., Hada, K., 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: annual and variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, 81-91.

Rayner, N. A., Horton, E. B., Parker, D. E., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine

air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, 108, 4407.
DOI:10.1029/2002JD002670.

Richey, J.E., Melack, J.M., Aufdenkampe, A.K., Ballester, V.M., Hess, L.L., 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature*, 416, 617–620.

Ronchail, J., Cochonneau, G., Molinier, M., Guyot, J.L., Chaves, A.G.D., Guimaraes, V., de Oliveira, E., 2002. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic Oceans. *Int. J. Climatol.*, 22, 1663–1686.

Ronchail, J., Labat, D., Callede, J., Cochonneau, G., Guyot, J.L., Filizola, N., de Oliveira, E., 2005. Discharge variability within the Amazon basin. Symposium S6 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly. IAHS, Foz do Iguaçu, Brazil, 21–30.

Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 1606-1626.

Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., 1989. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2, 268-284.

Salati, E., Nobre, C.A., 1991. Possible climatic impacts of Tropical deforestation. *Clim. Change*, 19, 177–196.

Saravanan, R., Chang, P. 2000. Interaction between tropical Atlantic variability and El Niño-southern oscillation. *J. Clim.*, 13, 2177–2194.

Servain, J., 1991. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *Journal of Geophysical Research*, 96,15137-15146.

Souza, E.B., Ambrizzi, T., 2002. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. *Atmósfera*, 15,105-120.

Souza, E.B., Kayano, M.T., Ambrizzi, T., 2004. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19, 2, 113-122.

Souza, E.B., Kayano, M.T., Ambrizzi, T., 2005. Intraseasonal and submonthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theor. Appl. Climatol.*, 81, 177-191. DOI: 10.1007/s00704-004-0081-4.

Souza, J.R.S., Rocha, E.J.P., Cohen, J.C.P., 2004. Evaluation of the anthropogenic impacts on the water cycle in Amazonia. pp. 37-56. *In: Aragón, L.E., Clusener-Godt, M. (Eds.), 2004. Issues of local and global use of water from the Amazon. Montevideo, UNESCO. Available at <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/cycle.pdf>. Last access in April 10th, 2012.*

Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, Microcomputer Power, 500 p.

Torrence, C., Campo, J.P., 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bul. of the American Meteorological Soc.*, 79 (1), 61-78. Available at <<http://paos.colorado.edu/research/wavelets>>. Last access in 15 August 2010.

Xie, S.-P., Carton, J.A., 2004. Tropical Atlantic variability: patterns, mechanisms, and impacts: Ocean-Atmosphere interaction and climate variability. American Geophysical Union, Washington, DC, pp 121–142.

Yoon, J-H., Zeng, N., 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Clim. Dyn.*, 34, 249–264. DOI 10.1007/s00382-009-0551-6.

Wolter K.; Timlin, M. S., 1998 Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? *Weather*, v. 53, p. 315-324.

Zarin, D.J., E.A. Davidson, E. Brondizio, I.C.G.Vieira, T. Sá, T. Feldpausch, E.A.G. Schuur, R. Mesquita, E. Moran, P. Delamonica, M.J. Ducey, G.C. Hurtt, C. Salimon, M. Denich., 2005. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. *Frontiers in Ecology and Environment*, 3, 365-369.

Zeng, N., 1999. Seasonal Cycle and Interannual Variability in the Amazon Hydrologic Cycle. *J. Geophys. Res.*, 104 (D8), 9097-9106. DOI:10.1029/1998JD200088.

Zeng, N., Yoon, J.H., Marengo, J.A., Subramaniam, A., Nobre, C.A., Mariotti, A, Neelin, J.D., 2008. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environ. Res. Lett.*, 3, 014002. DOI: 10.1088/1748-9326/3/1/014002.

CAPÍTULO 2

EFEITO DE FATORES HIDROMETEOROLÓGICOS NA COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA DA PESCA DE PEQUENA ESCALA NO BAIXO AMAZONAS

Artigo sendo elaborado para ser submetido para publicação no periódico ***FISHERIES RESEARCH (Elsevier)*** (impresso). Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista excetuando-se a fonte para fins de padronização do *layout* de apresentação desta tese.

Effect of hydrological and meteorological factors on fish assemblies caught by small-scale fishery in the Lower Amazon

PINAYA, W.H.D.^{1*}; LOBÓN-CÉRVIA, F.J.²; SOUZA, R.B.³; ISAAC, V.J.¹

¹ Laboratory of Fisheries Biology and Management of Aquatic Resources, Federal University of Pará (UFPA), Av. Perimetral, 2651, Terra Firme, Belém, PA, Brazil

² Department of Evolutionary Ecology, National Museum of Natural Sciences (CSIC), Madrid, Spain

³ Southern Regional Center for Space Research, National Institute for Space Research (INPE), Santa Maria, Brazil

* Corresponding author:

Walter Hugo Diaz Pinaya

Laboratory of Fisheries Biology and Management of Aquatic Resources

Federal University of Pará

Av. Perimetral, 2651

Terra Firme, 66077-530, Belém, PA, Brazil

Phone: +55 91 32740599

Fax: +55 91 32740599

Email: wpinaya@ig.com.br

Abstract

The aim of this study was to examine the patterns of commercial artisanal fishery using gillnets in the aquatic environments (Amazon floodplain lakes and river) and fishing areas of the Lower Amazon region from January 1993 to December 2004. This study also attempt to associate the CPUE (Catch Per Unit Effort) of the different trophic groups captured with climatic variables of the river-atmosphere-ocean system to identify the potential environmental influences on the fishery observed in the study area. Cross-correlation analyses and multivariate techniques, such as PCA and DCA, were used. The results showed a spatio-temporal variation of the commercial fishery

pattern along the Lower Amazon, either from the fishing environment or from the target species captured. The river-atmosphere-ocean system variables contribute to this variability in each fishery ground. In the Óbidos region, ENSO events and air/surface temperature are the most important factors associated with drought, when the flooded area is minimal, making species more vulnerable to predation and catch. CPUE positively co-varies with temperature and ENSO events, and negatively co-varies with the hydrologic cycle. In the Santarém region the sea surface temperature and the ENSO events were directly associated with local CPUE, reflecting its spatio-temporal variability. In the Monte Alegre area, the fishery productivity co-varies according to the hydrological cycle of the Amazon basin. In this city, CPUE is inversely associated with the flood pulse and directly associated with the ENSO events. The small-scale fishery has composition with different trophic groups leading to different correlations with climate variables. While in Obidos fishery (catfish) in the river is dominant, in Monte Alegre fishery in the floodplain lake is predominant, and in Santarém fishery has in both fishery area, in the river and floodplain lakes. Thus, these different specification fishery is associated with one or more environmental variables depend on the environment (lake) and for different time during the year.

Keywords: Fishery, Lower Amazon, floodplain, River-atmosphere-ocean system.

Introduction

The fishery in the Amazon region differs from other regions of Brazil by the large amount of species caught and fishery production associated with the maintenance of riparian communities in the area. Amazon River fishery is mostly artisanal and uses different fisheries techniques, with various degrees of specialization. Fishermen still employ distinct traditional strategies concerning the resources and fisheries environments used (Freitas and Rivas, 2006).

Despite the great richness in the composition of Amazon ichthyofauna, 80% of the landings in the fishery ports comprised a small number (six to twelve) of species, associated with the environment type, the market requests and the regional preferences for consumption. These species possess strategies for ecological

adaptation to the seasonal changes that occur in the environment throughout the year, such as river channels, floodplains and lakes (Barthem and Fabre, 2004).

The landscape, environment availability, meteorological characteristics and hydrological cycle variability are determinants for the distribution and ecology of fish resources in the Amazon region. With increased flow, the Amazon River overflows and floods marginal areas, causing the expansion of the aquatic environments (Junk and Wantzen, 2004; Junk, 1997; Bayley, 1991). Isaac et al. (2004) studied the fish landings in the city of Santarém and verified the existence of a strong relationship between the hydrological cycle and catch variability throughout the year.

Many studies have been performed to achieve knowledge concerning the biology, development, nutrition, metabolism, growth and migration of Amazonian fish (Alonso and Fabre, 2002; Barthem and Goulding, 1997; Fabré and Saint-Paul, 1997; Loubens and Panfili, 1997; Ruffino and Isaac, 1995; Petrere and Ribeiro, 1990; Bayley 1988; Kramer et al., 1978; Knoppel, 1970). Many fisheries studies have associated productivity with the effort used in fishery. This basic assumption has been applied to simple models classically used for fish stock evaluation (Gulland, 1971, 1966). However, these models assume a balanced ecosystem and more or less constant environmental factors, which is an inconsistent assumption for the freshwater ecosystem in the Amazon region. As a small-scale activity, fishery is essentially opportunistic, changing target species, environments and capture strategies, according to the availability of fishes and seasonal variations in the physical environment. Furthermore, climatic and hydro-meteorological variables at meso and macro-scales directly or indirectly influence the hydrological cycle, which determines changes in the flooded area and the amount of nutrients and food resources available in the aquatic environment (Freitas et al., 2012; IPCC, 2007). Thus, fishery cannot be considered as a direct response only to the intensity of the effort. In contrast, these fishery changes might represent other influences considered in multivariate models.

Once the fishery comprises a large number of species, the application of models integrating environmental and catch data requires the grouping of the species to minimize the number of dependent variables considered. Classifications based on taxonomic relationships cannot be applied in this context once phylogenetic groups do not necessarily have the same responses to the environment (Welcomme, 2010, 1999). The biological responses to variations in multiple scales should be identified to

improve our understanding of food webs on the aquatic environments in the Lower Amazon, which are complex and influenced through several abiotic and biotic factors. Therefore, similarity relations based on ecological aspects are more appropriate for this classification. Based on these ideas, there is one notable mechanism for classifying fish according to feeding habits, trophic relationships or co-occurrence.

The aim of the present study is to characterize fishing productivity variable patterns that occur when fishery with gillnets, classified according to co-occurrence groups, which have contributed to more than 80% of the fish landings (Batista et al., 2011) of the artisanal motorized fleet operating in the Lower Amazon. Thus, beyond the fishery effort, correlation models considering the aquatic environments used for the catch, the fishery ground and the wide-scale hydro-meteo-oceanographic conditions will be used, thereby determining the potential influence of the environment on the fishery activity in the study area. This approach aim also to contribute to the prediction of possible future impacts of climate change or hydrographic conditions on the small scale amazonian fishery activities and on the fish resources. Several changes are occurring in the Amazonian landscape, due to the human impact in the nature (rainforest fire, deforestation, dams, etc.). These facts should change the hydrological cycle and local and global climate. Should also affect fish populations and fishery that is much important in the Amazon riparian communities for economic, social and cultural development and their food security.

Materials and Methods

Study Area

The study area includes the mesoregion of the Lower Amazon, between latitudes 1° 43'S - 2°37 'S and longitudes 55°55'W - 53°46'W (Figure 1). This region was subdivided into three fisheries areas: "O" for fisheries occurring in the environments near the city of Óbidos, "S" for the fisheries occurring near Santarém and "M" for fisheries occurring in the Monte Alegre, Brazil.

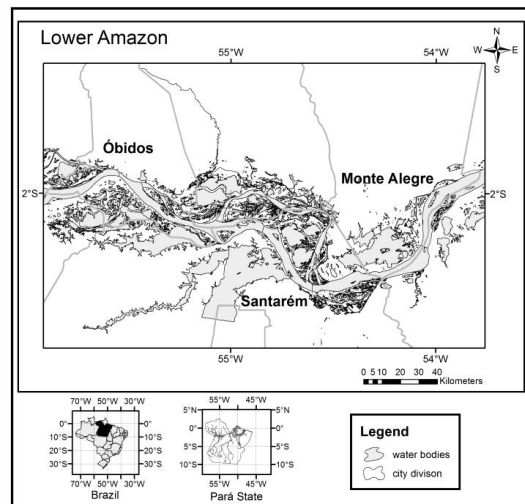


Figure 1: The study area included the mesoregion of the Lower Amazon and three (3) minor areas: Óbidos (O), Santarém (S) and Monte Alegre (M). Boundaries of fishing areas are in black and the main Amazon River and floodplain lakes are in grey.

Materials

Fishery Data

The fishery data set was produced through IARA and ProVárzea projects conducted at the Brazilian Institute of the Environment/IBAMA. Information concerning the fish catch by species and nominal effort was collected daily in each fish landing by interviewing fishermen responsible for the fleet docked at the landing localities in the studied region (Isaac et al., 2004). The fishery data set ran from January 1993 to December 2004, containing 154.479 records, and each record corresponds to a fishery trip characterized in terms of the location of the fishery area (region, fishery ground, location and type of environment, i.e., floodplain lake or river), total catch for each species, vessel type, fishing technique used, arrival and departure date, location and amount of fishermen in the fishery. From this total data set, all landings of motorized vessels equipped with a crew of fishermen, worked in the 3 areas of the Lower Amazon (Óbidos, Santarém and Monte Alegre) and using gillnets were filtered from database to the analysis. This selection resulted in 19.149 records of river fishery and 37.989 records of floodplain lake fishery, used in the present research.

Hydrological Data

The hydrological data used here were obtained from the network of automatic river stations of the Brazilian National Water Agency (ANA - www.ana.gov.br). The variables used here were the river discharge (ARD), the water level (WL) and the precipitation or rainfall (RF). The data were collected at the monthly frequency between January 1975 and December 2009.

Meteo-Oceanographic Data

The meteorological data used here were extracted from the database of the NCEP/NCAR Reanalysis Project (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research). The products were the N/N Reanalysis (Ebisuzaki et al., 1998) and the Reanalysis 2 (Kanamitsu et al., 2002). Data were obtained in monthly averages with a spatial resolution of 1,8758 km × 1,9058 km lat/lon. The parameters analysed here were the zonal and meridional wind anomalies at 10 m height (u and v , respectively), the surface (soil) temperature (TMPsfc), the minimum air temperature at 2 m height (TMIN2m), the specific humidity at 2 m height (SPFH2m) and the water content of the soil (SWSoilM).

The SST data were available from the global database of the Pathfinder project, Version 5.0 (PV5), developed by NODC (National Oceanographic Data Center) and RSMAS (Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science – University of Miami) and offered by PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center). The SST data set used here are the "Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST Field" product and were processed with the algorithm NLSST (Non Linear Sea Surface Temperature). With a spatial resolution of 4 km × 4 km, these data were obtained in regular global grids for the period from January 1982 to December 2009, with a monthly temporal resolution. Monthly averages of SST were calculated for the northern continental shelf of Brazil (NCSB) in the Atlantic Ocean.

Climatological Indexes

The climatological indexes used in this study were diagnostic tools aimed to describe the oscillations of the planet's climate system. Each index was created with the purpose of monitoring the climate. We used time series of the Multivariate ENSO Index (MEI), the North Atlantic Oscillation (NAO) Index and the Atlantic *Inter-Hemispheric Sea Surface Temperature Gradient* (GITA). The MEI is a numerical time series derived from the application of the Empirical Orthogonal Functions into time series of SST and five other meteorological variables in the Tropical Pacific Ocean (Wolker and Timlin, 1998). The series were chosen to indicate the presence of the *El Niño/La Niña* phenomena due to their advantage in combining a wide range of coupled variables that controls the ENSO. NAO is the dominant mode of climate variability in the North Atlantic Ocean and its index represents the anomalous difference between the Northern Hemisphere polar (low) and subtropical (high) atmospheric pressure. The GITA, proposed by Moura and Shukla (1981), strongly controls the precipitation of the Tropical Atlantic Ocean and its vicinity. Chiang et al. (2013) describe the long-term behavior of this gradient point out to the fact that a secular trend of GITA is present over most of the 20th Century and that has a strong relation to the increase of anthropogenic aerosol and greenhouse gases in the atmosphere.

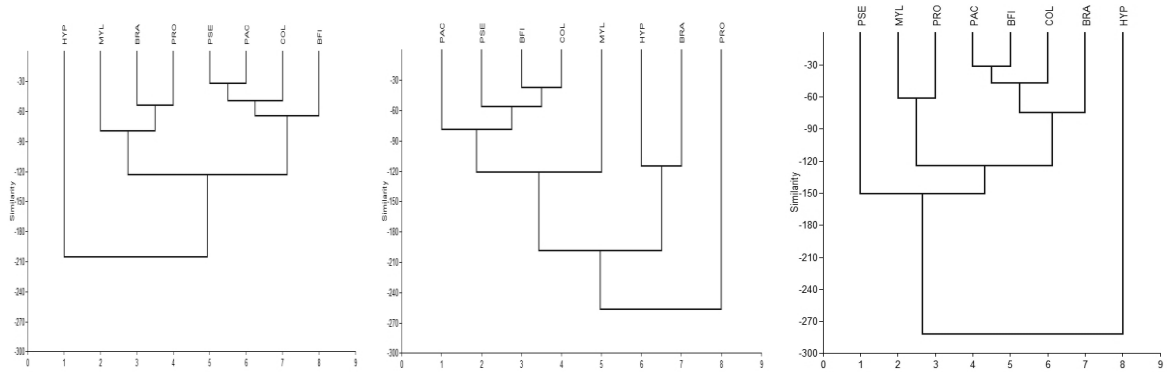
Methods

The monthly catch data were grouped according to the fishery ground considered (Óbidos, Santarém and Monte Alegre), co-occurrence group and fishery environment (lakes and river). The option to use groups of co-occurrence rather than trophic groups or migration could better represent how the fish occupy the same aquatic environment in the Amazon and how they might interact. While there may be predators, prey there, scavenging and eating species occur, or sedentary and migratory fish, vying for the same room, whether for food, shelter or breeding, for example. Thus, in this study we chose to use the co-occurrence groups. Being part of 80 % of the total fish production in each environment was the decisive criteria for cutting the number of species included in the multivariate analysis.

In order to evaluate the co-occurrence similarity between the fish species most usually caught in Lower Amazon region, a cluster analysis was performed. The clustering algorithm was Ward's method constrained and the result can be checked

on the dendrogram. Arbitrary cut line "on similarity of 0.8 was used as a reference point to identify clusters. The dendrogram (Figure 2) show the co-occurrence fish species groups by fishery environment (river and floodplain lake).

River



Lake

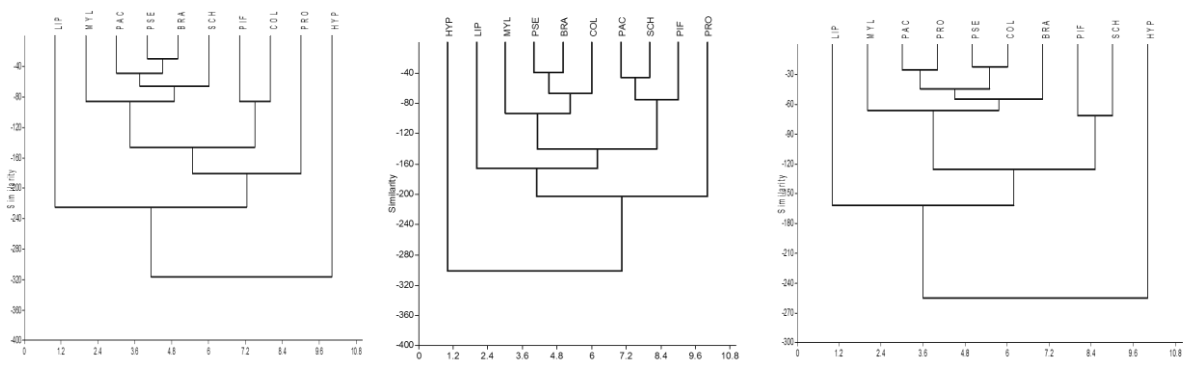


Figure 14: Similarity dendrogram of stretches based on fish species co-occurrence from fishery environment (river and lake) in fishing grounds near Óbidos, Santarém and Monte Alegre.

The cluster analysis results revealed five groups formed for each fishery environment (Table 1).

Table 1: The co-occurrence groups for each fishery environment (river and lake) in the Lower Amazon region.

River	Fish species
G1	<i>Hypophthalmus marginatus</i> , <i>H. edentatus</i> (HYP)
G2	<i>Mylossoma duriventre</i> , <i>Myleus schomburgki</i> (MYL)
G3	<i>Prochilodus nigricans</i> (PRO)
G4	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>P. tigrinum</i> (PSE); <i>Colossoma macropomum</i> (COL); <i>Brachyplatystoma filamentosum</i> (BFI)
G5	<i>Brachyplatystoma vaillanti</i> (BRA)

Lake	Fish species
G1	<i>Hypophthalmus marginatus</i> , <i>H. edentatus</i> (HYP)
G2	<i>Liposarcus pardalis</i> (LIP)
G3	<i>Mylossoma duriventre</i> , <i>Myleus schomburgki</i> (MYL)
G4	<i>Pimelodina flavipinnis</i> (PIF), <i>Schizodon fascitum</i> (SCH)
G5	<i>Pachypops</i> sp, <i>Plagioscion auratus</i> (PAC); <i>Prochilodus nigricans</i> (PRO); <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>P. tigrinum</i> (PSE); <i>Colossoma macropomum</i> (COL); <i>Brachyplatystoma vaillanti</i> (BRA)

The meteo-oceanographic and hydrological data series, climatological indexes were building through monthly averages between January 1993 and December 2004. Every time series was filtered using a “bandpass” filter type with $n = 15$.

CPUE (Catch per Unit Effort)

The CPUE was used to measure the catch productivity (monthly for each fishery ground and species), defined as the amount of fish resource caught (C) per unit of effort (E) established when fishing. The catches were represented as tons and the effort units included the number of fishing days multiplied by the number of fishermen in each fishery trip. The monthly CPUE was estimated according to the methodology of Petreire et al. (2010):

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i E_i}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

Where, C is the catches, E is the effort (number of fishing days * number of fishermen) and i is each fishery trip in the same month.

These authors recommend applying this method when using an estimator with little knowledge about the behavior of the variables, as in most studies of fishing.

Single and Multivariate Statistical Analyses

Nested ANOVA was applied to test differences in the fish area in each co-occurrence group in the Lower Amazon, considering three factors: region (fishery ground), month and year. For all variables normality and homoscedasticity tests of the data were performed through the Shapiro-Wilk and Bartlett. According to Gauch (1982), DCA is most suitable analysis for the clustering of the ecological data once the second matrix of eigenvectors from the principal component is not constant and varies according to the distribution of the sampled population. This analysis facilitates the graphical visualization of the variation of the associations. The cross-correlation coefficients were estimated between CPUE by trophic groups and several environmental variables. A Principal Component Analysis (PCA) was used to assess the main trends of variation in environmental variables.

Results

Fishery

The *Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus* (GL1 co-occurrence group) (Table 2) constituting 50.9% of the total catch in the floodplain lake environment, in terms of weight. The GL5, group of *Pachypops sp.*, *Plagioscion auratus*, *Prochilodus nigricans*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinu*, *Colossoma macropomum* and *Brachyplatystoma vaillanti* constituted 24.2% of the catch, and 14.7% of the total catch weight comprised GL4 (*Pimelodina flavipinnis* and *Schizodon fascitum*), while 8.4% comprised GL3 (*Mylossoma duriventre* and *Myleus schomburgki*), 1.8% comprised *Liposarcus pardalis* (GL2).

Table 2: Distribution of the total catch (t) and average CPUE (t.fisherman⁻¹.day⁻¹) of the different co-occurrence groups and standard deviation for floodplain lake and each fishing area (Óbidos, Santarém, Monte Alegre) in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004, with motorized vessels using gill net fishing technique. GL: co-occurrence group in the floodplain lake, GL1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GL2: *Liposarcus pardalis*; GL3: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GL4: *Pimelodina flavipinnis*, *Schizodon fascitum*; GL5: *Pachypops sp.*, *Plagioscion auratus*; *Prochilodus nigricans*; *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma vaillanti*.

	Lake										
	Obidos			Santarem			Monte Alegre			Total	
	catch	CPUE	%	catch	CPUE	%	catch	CPUE	%	catch	%
GL1	2,614	12.0	76.2	1,809	7.2	41.0	1,311	8.4	38.4	5,733	50.9
GL2	29	0.1	0.8	297	0.3	6.7	620	1.3	18.2	946	8.4
GL3	35	0.5	1.0	103	0.2	2.3	61	0.3	1.8	199	1.8
GL4	348	1.4	10.1	797	2.1	18.0	512	2.4	15.0	1,657	14.7
GL5	404	4.2	11.8	1,410	4.2	31.9	910	4.8	26.7	2,724	24.2
Total relativo	3,430		96.2	4,416		88.1	3,414		88.2	11,260	90.4

	Standard Deviation					
	Obidos		Santarem		Monte Alegre	
	catch	CPUE	catch	CPUE	catch	CPUE
GL1	1.55	13.11	1.81	10.88	0.83	10.08
GL2	0.03	0.32	0.30	0.46	0.10	2.14
GL3	0.15	3.19	0.10	0.33	0.05	0.47
GL4	0.27	2.41	0.80	2.27	0.37	4.16
GL5	0.26	4.93	1.41	2.68	0.27	4.33

In floodplain lakes when ordering fish catch according to fishery area, GL1 (*Hypophthalmus marginatus* and *H. edentates*) and GL5 were always at the first and second position respectively, with a change occurring in the ranking position among the other groups captured. In Obidos, the third group on local fish production was the GL4 and the fourth group was the GL3. In Santarém, the third group was also the GL4, but the fourth group was GL2. In Monte Alegre, the third position was the GL2 (*Liposarcus pardalis*) and fourth group was the GL4.

Table 3: Distribution of the total catch (t) and average CPUE (t.fisherman⁻¹.day⁻¹) of the different co-occurrence groups and standard deviation for Amazon river and each fishing area (Óbidos, Santarém, Monte Alegre) in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004, with motorized vessels using gill net fishing technique. GR: co-occurrence group in the Amazon river; GR1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GR2: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GR3: *Prochilodus nigricans*; GR4: *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma filamentosum*; GR5: *Brachyplatystoma vaillanti*

	River										
	Obidos			Santarem			Monte Alegre			Total	
	catch	CPUE	%	catch	CPUE	%	catch	CPUE	%	catch	%
GR1	67	2.3	8.8	107	1.1	5.7	151	3.4	23.2	326	9.9
GR2	29	0.3	3.8	186	0.4	9.9	29	0.2	4.5	243	7.4
GR3	52	0.7	6.8	208	0.9	11.1	49	0.6	7.5	309	9.4
GR4	172	2.3	22.6	465	2.8	24.7	140	2.3	21.5	777	23.6
GR5	441	4.8	57.9	914	3.8	48.6	282	3.6	43.4	1637	49.7
Total relativo	761		78.9	1881		67.9	651		70.3	3292	70.6

In the Amazon River (Table 3), the main catch was composed by *Brachyplatystoma vaillanti* (GR5 group) with 49.7% of the total weight, followed by 23.6% GR4 co-occurrence group (*Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*, *Colossoma macropomum*, *Brachyplatystoma filamentosum*), 9.9% *Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus* (GR1), 9.4% GR3 (*Prochilodus nigricans*) and 7.4% GR2 (*Mylossoma duriventre* and *Myleus schomburgki*). Considering fishery ground, the co-occurrence group with the highest catches in Óbidos and Santarém was the GR5 (*Brachyplatystoma vaillanti*), followed by the GR4. In Monte Alegre and Óbidos, the third position was occupied by the GR1 (*Hypophthalmus marginatus* and *H. edentates*), but in Santarém this ranking position was occupied by *Prochilodus nigricans* catch (GR3).

Monthly and yearly patterns of fishery

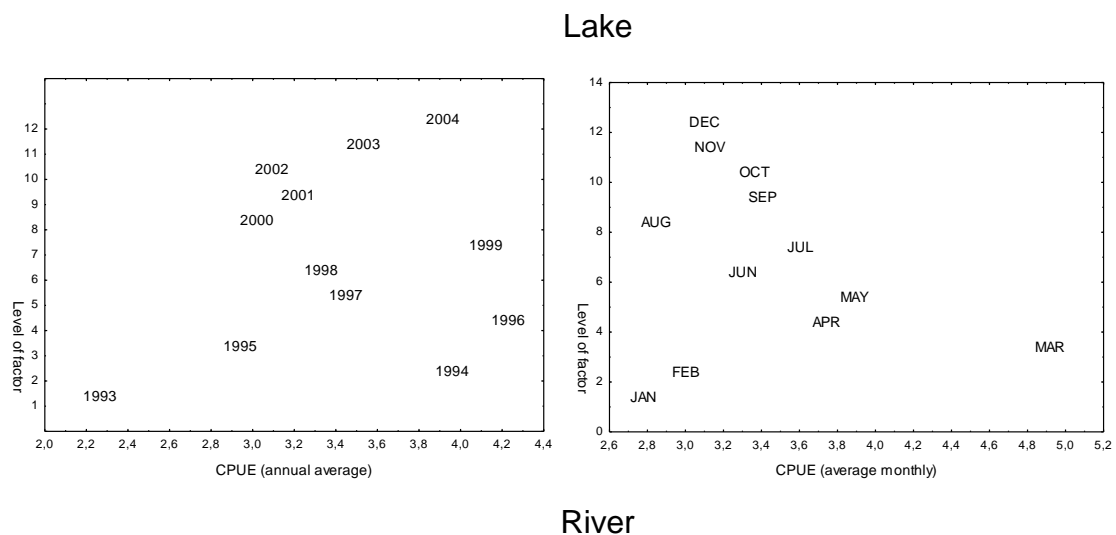
ANOVA analysis also indicated that the month of March showed the highest monthly CPUE average in lakes. Considering the river environment, the highest CPUE averages were recorded in 1995, 1999 and 2001 and the lowest values were recorded in 1993 and 2002-2004.

However, ANOVA results also show in the floodplain lake environment, the monthly variances between the co-occurrence groups were significant, and the variance was not significant among the years and fishery areas, as shown in Table 4. These results indicate a continuous pattern in the fishery activity throughout the year. An analysis of the Amazon River environment showed that the inter-year variance between fishing areas was significant. In contrast, the variance among months was not significant.

Table 4: Nested ANOVA results summary for the monthly mean values of CPUE in the three regions of the Lower Amazon, in the floodplain lakes and in the Amazon River, between January 1993 and December 2004. GL: co-occurrence group in floodplain lake, GR: co-occurrence group in Amazon River, M: month and Y: year.

<i>Lake</i>					
	Effect (F/R)	df	MS	F	p
{1}Y	Fixed	11	58.491	1.757	0.056
{2}M	Fixed	11	60.932	1.830	0.044
{3}REGION	Fixed	2	27.728	0.833	0.435
{4}GR	Fixed	4	5634.442	169.253	0.000
<i>River</i>					
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	F	p
{1}Y	Fixed	11	49.316	1.961	0.028
{2}M	Fixed	11	28.840	1.147	0.320
{3}REGION	Fixed	2	18.422	0.733	0.481
{4}GR	Fixed	4	974.653	38.755	0.000

In the nested ANOVA graphic for floodplain lake environment, there were significant differences between months, with March presenting the highest monthly average and lowest values observed in the months of January, February and August. Figure 3 shows that 1996 and 1999 were favorable years for the fishery in the Amazon River, while 1993 and 2002 were hostile years in this environment.



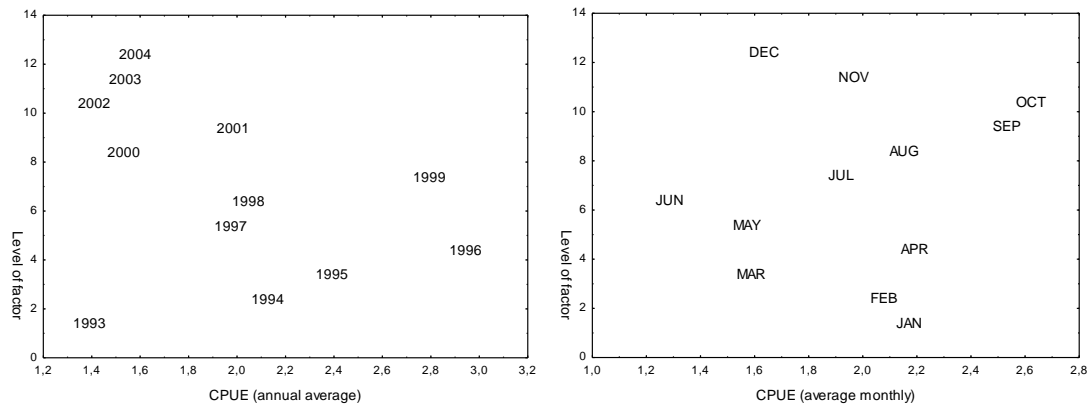


Figure 3: Graphic representation of the mean values of CPUE (t.fisherman⁻¹.day⁻¹) in floodplain lakes and in the Amazon River, showing monthly and annual variations during the period from 1993 to 2004, for the fishery in the Lower Amazon region.

Odernation of fishery pattern

The ordination analysis performed for averages of CPUE through DCA indicates that four are differences in the fishery patterns according to the fishing co-occurrence group (Figure 4). A characteristic pattern for the grouping of co-occurrence groups was observed. Thus, the DCA graphics show the GL1 and GL5 (lake, a); GR2 and GR3 (river, b); GR4 and GR5 (river, b) are indicate maybe three fisheries patterns.

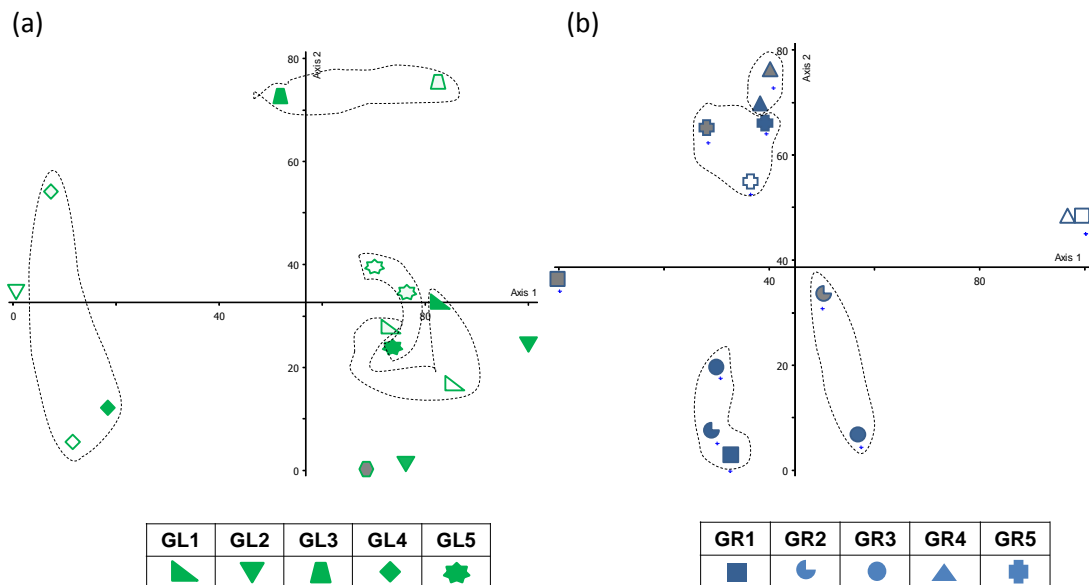


Figure 4: The detrended correspondence analysis (DCA) scatterplot of mean CPUE in the Lower Amazon region considering the various co-occurrence groups, fishery areas and environment (a: lake, green, b: river, blue). The first and second principal

components of the results are represented by axis 1 and axis 2, respectively. GL: co-occurrence group in floodplain lake; GL1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GL2: *Liposarcus pardalis*; GL3: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GL4: *Pimelodina flavipinnis*, *Schizodon fascitum*; GL5: *Pachypops sp*, *Plagioscion auratus*; *Prochilodus nigricans*; *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma vaillanti*; GR: co-occurrence group in the Amazon River fisheries grounds; GR1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GR2: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GR3: *Prochilodus nigricans*; GR4: *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma filamentosum*; GR5: *Brachyplatystoma vaillanti*. Fishery ground empty: Obidos; full: Santarém; dashed: Monte Alegre.

Environment ordination

The principal component analysis (PCA) made with environmental variables shows a four distinct group clustering (Figure 5). The first two axes explained 71.25% of the total variance with 56.34% referring to the first axis. A total of 18 environmental variables were tested. The variables of the first group (1) are associated with the environmental temperature, such as the surface temperature (TMPsfc), minimum temperature of the air at a 2-m height (TMIN2M), specific humidity at a 2 m height (SPFH2M) and ENSO events index (MEI). The second group (2) comprised oceanographic variables, such as the sea surface temperature on the NBCS - North Brazilian Continental Shelf (SSTA), and Gradient Inter-Hemispheric of TSM in the Atlantic Index (GITA) and North Atlantic Oscillation Index (NAO). The variables associated with the hydrological cycle established the third group (3), comprising the Amazon River discharge (ARD), level (WL). The fourth group (4) is associated with the rainfall (RF), component zonal of wind (u) and the water content in the soil (SWSoilM).

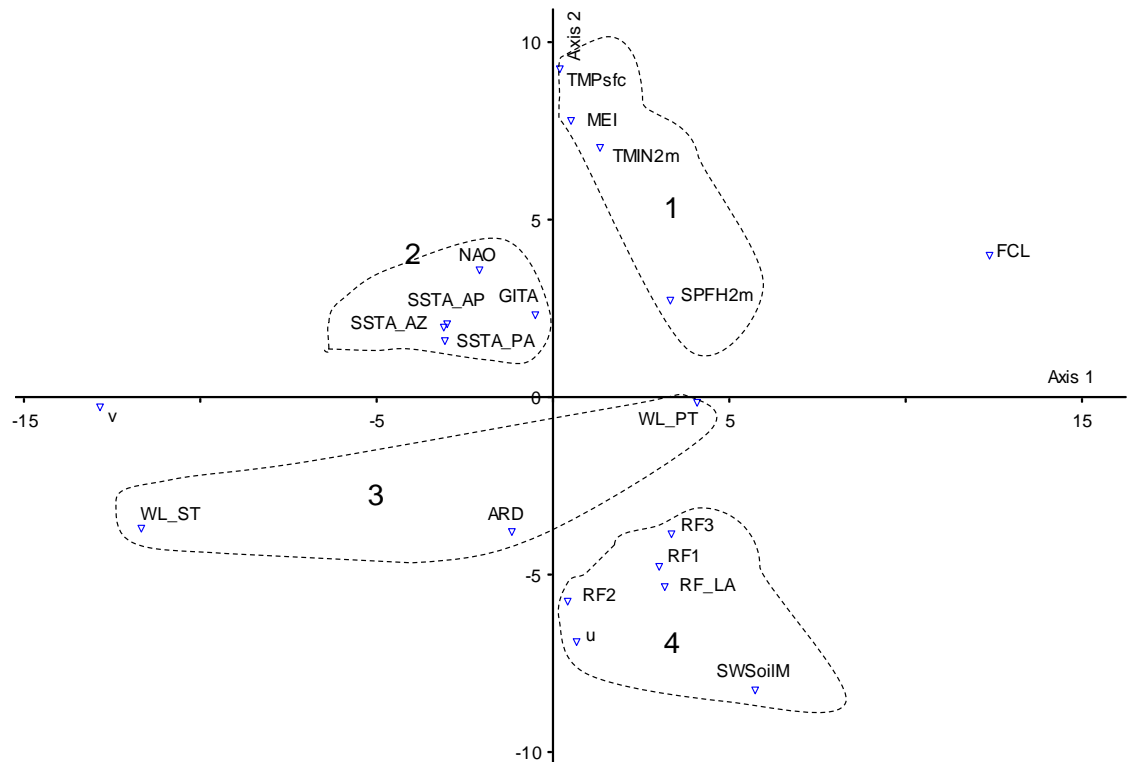


Figure 5: Principal Component Analysis (PCA) of the environmental variables with the first and second axes. ARD: Amazon River discharge; RF: rainfall; WL: Amazon River level; u, v: zonal and meridional wind component in the Lower Amazon region; TMPsfcC: surface temperature, TMIN2m: minimum air temperature at 2 m; SPFH2m: specific air humidity at 2 m; SWSoilM: soil moisture, SSTA: sea surface temperature; MEI: Multivariate ENSO Index; NAO: North Atlantic Oscillation Index; and GITA: Gradient Inter-Hemispheric of TSM in the Atlantic Index. LA: Lower Amazon; OB,1: Obidos; ST,2: Santarém ; MA,3: Monte Alegre; AP: Amapa Continental Shelf ; AZ: Amazon Continental Shelf; PA: Pará Continental Shelf.

The fisheries productivities GL1 (*Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus*) and GL5 (*Pachypops sp*, *Plagioscion auratus*; *Prochilodus nigricans*; *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum* and *Brachyplatystoma vaillanti*) in the floodplain lake are associated with the hydrological cycle, rainfall, and zonal wind component. The GL3 (*Mylossoma duriventre* and *Myleus schomburgki*) is associated with air temperature variability and ENSO events. The productivity of GL4 (*Pimelodina flavipinnis* and *Schizodon fascitum*) is mainly associated with flood pulse. And the GL2 (*Liposarcus pardalis*) is associated with meridional wind component and heat latent flux (FCL).

In the Amazon River, GR4 (*Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum* and *Brachyplatystoma filamentosum*) and 5 (*Brachyplatystoma vaillanti*) fisheries productivities are mainly associated with the air and sea surface temperature variability and ENSO events. GR2 (*Mylossoma duriventre* and *Myleus schomburgki*) and 3 (*Prochilodus nigricans*) are associated with rainfall, zonal wind component and hydrological cycle. Consider the same fishery environment the GR1 (*Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus*) is associated with meridional wind component and heat latent flux (FCL).

Association between environment and fishery success

The cross-correlation analysis (Table 5 and 6) between the CPUE and the environmental variables anomalies shows differences between the yield of each co-occurrence group in the fishery grounds of Obidos, Santarém and Monte Alegre. Fishery productivity demonstrates also different time responses (lag) to the hydrological and meteo-oceanographic variables.

Table 5: The cross-correlation between the CPUE in the fishery areas near the cities of Óbidos, Santarém and Monte Alegre verified in floodplain lake environments and environmental variables. GL: co-occurrence group in floodplain lake; GL1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GL2: *Liposarcus pardalis*; GL3: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GL4: *Pimelodina flavipinnis*, *Schizodon fasciatum*; GL5: *Pachypops sp*, *Plagioscion auratus*; *Prochilodus nigricans*; *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma vaillanti*; ARD: Amazon River discharge; WL: Amazon River level; u: wind zonal component in the Lower Amazon region; TMPsfc: surface temperature; TMIN2m: minimum air temperature at 2 m; SPFH2m; specific humidity; SWSoilM: water content of the soil; SSTA: sea surface temperature on North Brazilian Continental Shelf; MEI: El Niño/La Niña multivariate index; GITA: gradient inter-hemispheric of sea surface temperature in the Atlantic. Highlighted values: $r > 0,55$. Grey color: moderate to strong correlation (Dancey and Reidy, 2007).

		Lake									
		ARD	WL	u	TMPsfc	TMIN2m	SPFH2m	SWSoilM	SSTA	MEI	GITA
Obidos	GL1	<i>r</i>	-0.52					-0.50			
		<i>lag</i>	+11					+15			
	GL2	<i>r</i>		+0.64							
		<i>lag</i>		+26							
	GL3	<i>r</i>		-0.54		+0.52	+0.53			+0.71	
		<i>lag</i>		+6		+8	+7			+10	
	GL4	<i>r</i>	-0.54	+0.62					+0.50	-0.58	
		<i>lag</i>	+38	+19					+33	+25	
	GL5	<i>r</i>		-0.54						+0.54	
		<i>lag</i>		-41						-37	
Santarém	GL1	<i>r</i>								+0.68	
		<i>lag</i>								+21	
	GL2	<i>r</i>				+0.61	+0.62			+0.67	
		<i>lag</i>				-9	-14			-7	
	GL3	<i>r</i>	+0.51	-0.65						-0.67	
		<i>lag</i>	+7	-43						-38	
	GL4	<i>r</i>		+0.70	-0.50					-0.50	
		<i>lag</i>		+19	+5					+24	
	GL5	<i>r</i>	-0.51	-0.60					-0.50	+0.67	
		<i>lag</i>	+6	+7					+8	+10	
Monte Alegre	GL1	<i>r</i>			-0.50					-0.60	
		<i>lag</i>			-23					+6	
	GL2	<i>r</i>		+0.58		-0.50				-0.54	
		<i>lag</i>		+25		+29				+33	
	GL3	<i>r</i>		-0.52						+0.52	
		<i>lag</i>		-33						-32	
	GL4	<i>r</i>	+0.55	-0.62						+0.63	-0.50
		<i>lag</i>	+6	-45						-41	+6
	GL5	<i>r</i>		-0.67		+0.54				+0.57	
		<i>lag</i>		-17		-16				-13	

In Óbidos, the floodplain lake fishery presented the highest correlation between GL3 and ENSO events (0.70, lag = 10 months), but also showed a moderate correlation with the other co-occurrence groups, with lag ranging from 25 (GL4) to 37 (GL5) months (Table 5). The flood pulse is the second strong correlation, specially with the GL2 (0.64, lag = 26 months) and GL4 (0.62, 19 months) co-occurrence groups. The minimum air and surface temperature (TMIN2m, TMPsfc), the Amazon River discharge (ARD), the water content of the soil (SWSoilM) and sea surface temperature anomaly (SSTA) in the North Brazilian Continental Shelf (NBCS) were also associated with CPUE in the Óbidos area. Almost all groups in the fishing grounds near Santarém were strongly correlated with ENSO events, only the GL3

group showed moderate correlation. The GL4, GL3 and GL5 groups were also highly correlated with the flood pulse 0.70 (lag = 19 months), 0.65 (lag = 43 months) and 0.60 (lag = 7 months) respectively. The group GL2 also has a strong correlation with surface temperature (0.61, lag = 9 months) and air (0.60, lag = 14 months). The environmental variables (eg, ENSO events and flood pulse) were less correlated with the CPUE in floodplain lakes of Monte Alegre compared with areas of Obidos and Santarem. A moderate correlation can also be observed with the zonal wind (GL1), surface temperature (GL2 and GL5) and the Atlantic Inter-Hemispheric Sea Surface Temperature Gradient - GITA (GL5). When we use groups of co-occurrence for fisheries studies, the CPUE showed to be less correlated with the flow of the Amazon River ($0.50 < r < 0.60$) than with the flood pulse ($r > 0.60$).

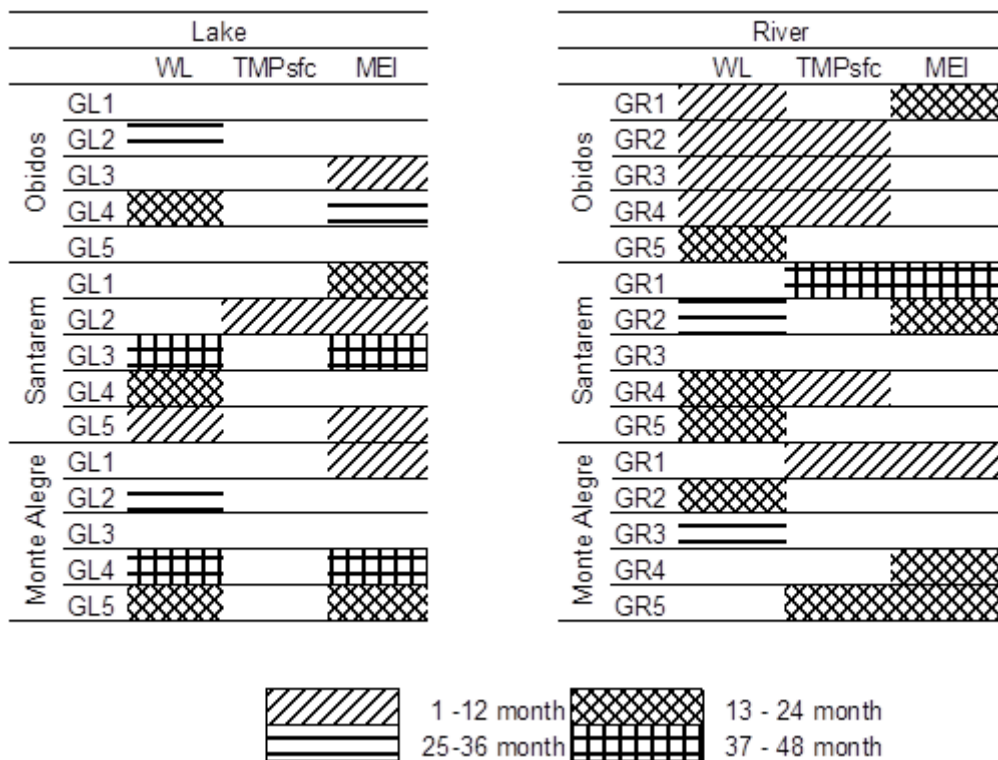
Table 6: Cross-correlation between the CPUE in the fisheries grounds of Óbidos, Santarém and Monte Alegre verified in Amazon river and environmental variables. GR: co-occurrence group in the Amazon River fisheries grounds; GR1: *Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus*; GR2: *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*; GR3: *Prochilodus nigricans*; GR4: *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*; *Colossoma macropomum*; *Brachyplatystoma filamentosum*; GR5: *Brachyplatystoma vaillanti*; ARD: Amazon river discharge; ; WL: Amazon River level; u: wind zonal component in the Lower Amazon region; TMPsfc: surface temperature; TMIN2m: minimum air temperature at 2 m; SPFH2m; specific humidity; SWSoilM: water content of the soil; SSTA: sea surface temperature on North Brazilian Continental Shelf; MEI: El Niño/La Niña multivariate index. Highlighted values: $r > 0,55$. Grey color: moderate to strong correlation (Dancey and Reidy, 2007).

		River								
		ARD	WL	u	TMPsfc	TMIN2m	SPFH2m	SWSoilM	SSTA	MEI
Obidos	GR1	<i>r</i>	-0.68	-0.74		+0.54				+0.74
		<i>lag</i>	+10	+11		+12				+15
	GR2	<i>r</i>	-0.53	-0.58		+0.61	+0.55			
		<i>lag</i>	+3	+6		+7	+2			
	GR3	<i>r</i>	-0.53	-0.62		+0.55	+0.57			
		<i>lag</i>	+3	+4		+1	+1			
	GR4	<i>r</i>	-0.68	-0.74		+0.55				
		<i>lag</i>	+10	+11		+12				
	GR5	<i>r</i>		-0.65						
		<i>lag</i>		-22						
Santarem	GR1	<i>r</i>		-0.54	-0.55	+0.60			-0.52	+0.66
		<i>lag</i>		+37	-22	+38			-24	+40
	GR2	<i>r</i>		-0.64						+59
		<i>lag</i>		-27						-22
	GR3	<i>r</i>		-0.50						
		<i>lag</i>		-25						
	GR4	<i>r</i>		+0.55		+0.60	+0.60			
		<i>lag</i>		-17		+10	+7			
	GR5	<i>r</i>	+0.50	+0.56			+0.51		+0.61	-0.64
		<i>lag</i>	-16	-15			+7		+12	-10
Monte Alegre	GR1	<i>r</i>			+0.50	-0.61	-0.55			
		<i>lag</i>			+13	+9	+9			
	GR2	<i>r</i>		-0.57						
		<i>lag</i>		-21						
	GR3	<i>r</i>		-0.58					-0.50	
		<i>lag</i>		-27					-14	
	GR4	<i>r</i>				+0.54	+0.57		+0.53	-0.58
		<i>lag</i>				-1	0		-4	-22
	GR5	<i>r</i>		-0.52		+0.63	+0.55	+0.50	-0.50	+0.66
		<i>lag</i>		-1		-17	-18	-22	-7	-14

Table 6 shows that the CPUE in the Amazon River in the fisheries grounds near the Óbidos city varied mainly with the hydrological cycle (WL and ARD), surface and air temperature (TMPsfc and TMIN2m). ENSO events have shown strong correlation only with the fishery productivity of the group GR1 (*Hypophthalmus marginatu* and *H. edentatus*) with $r = 0.74$ and $lag = 15$. In Santarem, the co-occurrence groups were highly correlated with more than one environmental variable, just the GR3 (*Prochilodus nigricans*) group was only moderately correlated with the flood pulse. The variables correlated with the CPUE in the river were those associated with the events ENOS (MEI index), hydrological cycle (ARD and WL), surface and air temperature (TMPsfc and TMIN2m), the water content in the soil

(SWsoilM) and zonal wind component, especially with the groups GR1 (*Hypophthalmus sp*) and GR5 (*Brachyplatystoma vaillanti*). Near the city of Monte Alegre, the CPUE was shown to have moderate to strong correlation with environmental variables analyzed. Only events ENOS (GR1) and the surface temperature (GR1 and GR5) had a correlation coefficient $r > 0.60$. The response provided varied from immediate to biennial, approximately.

Table 7: Brief show the strongest cross-correlation, $r > 0.55$ (Dancy and Reidy, 2007) between the CPUE in the fishing grounds near the Óbidos, Santarém and Monte Alegre cities verified in floodplain lake environments and environmental variables. WL: Amazon River level (flood pulse); TMPsfc: surface temperature; MEI: El Niño/La Niña multivariate index.



The moderate to strong correlations (> 0.55 , Dancy and Reidy, 2007) of fishing productivity on floodplain lakes and the Amazon River are highlighted in Table 7. The CPUE (lake and river) of many co-occurrence groups correlate moderately to strong with flood pulse (WL) and ENSO events (MEI). Despite GL1- Obidos (*Hypophthalmus marginatus*, *H. edentatus* piscivorous) be very important in the composition of the fishery production in the floodplain lakes, they do not appear in the table above because even correlated with environmental variables like Amazon River discharge

(ARD) and soil moisture (SWSoilM), their values are low ($r < 0.55$). The same occurs with the GL5 group in Obidos and GL3 (*Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki*) in Monte Alegre, because even being correlated with WL and MEI values are also smaller than 0.55. On the fishing grounds in Amazon River just fishery productivity of GR3 (*Prochilodus nigricans*) in Santarem that even being correlated with the flood pulse has lower value to 0.55.

Discussion

Factors, such as landscape, aquatic environments, food availability, climatic variability and the dynamics of the hydrological cycle in the Lower Amazon region, influence the distribution and the ecology of fishing resources, and consequently the behavior of fishermen and fishing, as observed in the results of the present study. These behaviors also include the local culture and the macroeconomics evolution.

The Lower Amazon floodplain is being subject to major changes in habitat (Junk, Bayley and Soares, 2007) associated with geomorphology and vegetation cover, due to its hydrological and soil use, respectively. This reality should worsen in the future with urban and economic development of the Amazon becoming a major threat at medium and long term, which might jeopardize aquatic ecosystems and fishery in the Lower Amazon region (Hammer et al., 2008; Raffles and Winklerprins, 2003; Saint-Paul et al., 2000).

It is clear that the river-atmosphere-ocean system is coupled and its effect on fish production is different for each fishery ground of the Lower Amazon and the co-occurrence group. Each fishery ground has different characteristics in relation to fishery, than if each specie and environment are different, each species or co-occurrence group will be associated with different environmental variables set. While temperature acts on fish growth and the wind fields, the humidity, the covering vegetation and ENSO events favor the availability of food, rainfall in the hydrographic basin, the Amazon River flow and the superficial runoff indicated the extent of the flooded area. Thus, due to the ecological and behavioral complexity of these resources, environmental variables individually or collectively affect different stages of the ichthyofauna life cycle.

The flooded area are related to the capture of GL2 and GL3 and the drought intensity has to be associated with the fishery success of GR4 and GR5 in the river.

The lag are correlated with the reaction time, mainly for the growth time between spawning and its harvest. For GR5 (piscivorous) it is longer because, for example, *Brachyplatystoma flavicans* is captured after 3 or 4 years. Already GL2, GL3, GR2, GR3, or detritivores and herbivores this time is just one or two years at maximum.

Due to the high complexity of aquatic ecosystems in the Amazon, co-occurrence groups are closely associated to migratory behavior. The migration of fish is usually associated with reproductive events, but in some populations, migration might also be associated with feeding and dispersion behavior, as observed in several species of fish in the Amazon (Castello, 2008; Petrere and Ribeiro, 1990; Goulding, 1980). Migration typically occurs between the river and floodplain and not all fish species migrate. The success of these migrations depend on climate variability and hydrological cycle, which influence the survival of the species targeted by fisheries in the region, either spawning or recruitment. Amazon fish can be classified according to spatial distribution and migratory behavior, and divided into three categories (Barthem et al., 1997): a) sedentary - species with local distribution, no migration, remaining in lentic environments or performing only small lateral movements during floods or droughts; b) migratory - initiate reproductive migration at the beginning of the flood and also trophic movements; c) highly migratory species moving over 3000 km in the axis Solimões-Amazon River for trophic and reproductive migrations. Almost all co-occurrence groups represent seasonal migratory species, according to the river level, for reproduction, dispersion or trophic purposes. These species remain in lakes during the flood period for feeding and growth (Barthem and Fabre, 2004). Some species, such as *Colossoma macropomum* (GL5, GR4) and *Prochilodus nigricans* (GR3), remain in wetlands for a few years of their life cycle before beginning river migrations (Araujo-Lima and Goulding, 1998, Isaac et al., 1996), while other species migrate during their first year of life,

GL2 and GR3 are mainly detritivores fishes and their form compact shoals during migration (Brook and Petrere, 1990), showing high growth and fecundity rates (Vieira, 1999; Oliveira, 1996), thus concentrating their efforts to spawn during the flood, when there is a large availability of food and habitats to escape from predators (Winnemiller, 1995). Nevertheless, when these fish start their migration to return to the fluvial environment, they become the main target of fishermen, such as the fish of the genus *Semaprochiloduns* (Isaac et al., 1996).

Analyzing fish production in the floodplain lakes of the Lower Amazon region showed that GL2 co-occurrence group is one of the most important for fishing in the region. The effect of climate change and landscape can be extremely negative in the survival of fish GL2 and GL3 co-occurrence species, because they depend on the amount of food injected into the aquatic environment every new hydrological cycle. Years anomalous very committed to the extension of spaces to refuge and food, as well as the dispersion of eggs, larvae and juvenile fish.

GR3 and GR4 using both fluvial and lacustrine environments, were the GR4 and GR5 groups contributing the most for fish production in river environments. (Barthem and Fabre, 2004). The floodplain is indirectly used, as they prey on species migrating out of these areas during the drought (Barthem and Goulding, 1997). The GR4 and GR5 co-occurrence groups primarily comprises "large migratory catfish" from the Amazon. The species that make a trophic longitudinal migration along the river for breeding and feeding are primarily associated with the riverbeds (Batista, 2000; Barthem et al., 1997).

Fishery activity in river environments is more specialized than in floodplain lake environments. The larger catches are associated with transitions between the ebb tide (June-August) and drought period (September to November) when some species form shoals to return to the rivers and restart dispersion migration (Petreire and Ribeiro, 1990). Due to the increased flow of the Amazon River, fishery in this environment becomes impractical during the flood period (March-May).

The variability of the anomalies of the discharge, river level and rainfall in the watershed, have a higher impact on aquatic floodplain lake environment ecosystems in the Lower Amazon during drought. With the reduction of the available aquatic environment, the lack of food and decreased refuge areas, the drought is a critical period for the survival of most species, and this condition leads to increased competition. During drought, fish move to areas where water is abundant in river channels (Isaac et al., 2008). In this season, the fish biomass diminishes and they prepare for spawning. These conditions favor predators that chase shoals migrating in the river channel or trapped in the floodplain lakes (Barthem and Fabre, 2003; Barthem and Goulding, 1997; Lowe-McConnell, 1987). However, fishing vessels also have poor accessibility to these areas, resulting in a decrease in the fish catchability. The fishery of sedentary or floodplain lake species, which spend their life cycle primarily in floodplain lakes or lake-associated systems, such as some GL4 (genus

Pimelodina), GL5 (gender *Plagioscion*) and GL2 fishes (genre *Liposarcus*), and some migratory fish, such as the gender species *Colossoma* (GR4), *Prochilodus* (GR3) and *Pseudoplatystoma* (GR4), is intensified at the end of the drought season (Isaac et al., 1996).

At low tide, due to the aquatic environment contraction, fish cluster. At this time, migrant fish form shoals and begin dispersion migration upstream, which lasts throughout the drought until the beginning of the flood (Barthem and Fabre, 2003; Petrere and Ribeiro, 1990). This stress causes a decrease in biomass and in the growth rate. Fishery is intense in lakes and rivers during this migration. The floodplain and flooded forest are indirectly used, once these former fish prey on other species from these areas during the drought (Barthem and Goulding, 1997).

The flood pulse interferes with aquatic ecosystem processes (Junk and Wantzen, 2004) largely influenced by the landscape morphology. During the early flood the possibility of access to the shelter area against predators and food resources, such as fruits, leaves and seeds derived from forests and flooded fields, algae that grow in floodplain lakes and less-shaded wetlands, and decomposed organic matter derived from aquatic macrophytes, dead animals and the forest (Junk et al., 1997; Araujo-Lima et al., 1995, Junk et al., 1989; Goulding et al., 1988; Lowe-McConnell, 1987), favor fish seeking new areas of lakes, flooded forests and savannas. After breeding, larvae and fingerlings are carried by the currents of rivers to the wetlands (Goulding, 1980; Araujo-Lima, 1990; Junk, 1984). These fish are subsequently distributed throughout the free water, water with macrophytes and floating grasses or over the flooded forest where the fish find food and protection against various types of natural enemies, mainly other predator fish (Isaac et al., 2008). During the flood, detritivores and omnivores store fat for later use during the reproductive period (Dilacerate and Correia, 1999; Vieira, 1999; Fabre et al., 1997; Oliveira, 1997). In addition, due to the increased catch vulnerability of the fish stocks, fishermen move to the wetlands (Junk et al., 2010, 1989; Carvalho Araujo-Lima and Lima, 2004; Junk, 1997). The life strategy success will therefore depend on the anomaly amplitude of the hydro-meteo-oceanographic variables and how atypical the hydrological cycle might be.

Typically, when the river flood begins, there is a greater increase in the value of CPUE in floodplain lakes. In this phase of the hydrological cycle, the river level is fairly stable, and there is a predominance of the aquatic environment in the floodplain

with dispersion of the ichthyofauna in this area. These areas and large extensions of the flooded vegetation, such as forests and prairies of floating grasses, serve as places for feeding, breeding and nursery of many fish species of major commercial interest in the Lower Amazon region (Batista et al., 2011a, Araujo-Lima, 2001; Vieira 1999; Fabré and Saint-Paul 1998; Junk, 1997; Lowe-McConnell, 1987; Junk, 1985; Goulding, 1980). However, fishery activity is reduced with the decreasing catch ability of the target species due to large increases in dispersal habitats and refuges.

In the river environment, the year 1993 was unfavorable for fishery, and the years from 1999 to 2001 were the most favorable. During the severe La Niña years (1999-2001), the anomalous increase in the river flow and flooded areas favored fishing in rivers. The spatio-temporal variance (between fishing areas and throughout the year) of target species or co-occurrence groups reflected the displacements and migrations of almost all commercially exploited species in the study area, and the constant change in fishing strategies adapted to the environment, varying according to the cyclical movements of the target species, reflected in fish landings (Isaac et al., 1998, 1996). In addition to the greater catch of some co-occurrence group in a determined fishery environment compared with other groups, all species were caught in floodplain lakes or rivers.

The year 1993 was marked by the severe El Niño event, which involved an anomalous drought period comprising the maintenance of fish stock resources, and the minor annual CPUE average from all periods was considered. In 1999, La Niña occurred, which increased the flood area, thus presenting the highest CPUE average in floodplain lakes.

During El Niño, there was a decrease in the Amazon River discharge (Pinaya et al., 2013; Marengo, 2004) and in contrast, during La Niña, there is an increased discharge and flood area (Coe et al., 2002). The intensity of the flood pulse of the floodplains in the Lower Amazon region is directly associated with ENSO events variability. Among other factors, the flood pulse likely regulates the availability of food, therefore affecting the breeding and recruitment success of species that find food on the floodplain. These species have commercial importance, regardless of their life expectancy, being crucial for the survival the local ichthyofauna (Junk, 1997; Junk et al., 1989) and fishing. A complex mosaic of habitats is formed with floodable lands, successive local stages and wetlands (Wantzen et al, 2005; Poole, 2002; Ward et al, 2002). Nevertheless, these floods homogenize the characteristics of the

water bodies, which were previously disconnected (Thomaz et al., 2007). Extensive lotic environments, including the Monte Alegre Great Lake, the Curuaí Great Lake and the Parú Lake characterize the fisheries grounds from the Lower Amazon region. In different years, different groups of organisms show success according to their opportunity window (and Gafny Gasith, 1999) and susceptibility according to their phenological window (Junk and Wantzen, 2004). Fishery is therefore more productive for the benefited trophic groups.

Through statistical analysis for the fish production landed at Santarém, Isaac et al. (2008) indicated that even with the annual fishery effort average (number of fishermen and fisheries days) remaining barely stable or even decreased from 1993 to 2003, while the CPUE increased due to other factors, such as the increase in average-sized vessels, engine power and storage capacity for ice and fish. This CPUE increase should not be considered as a result of stock modifications but also as a result of increased fishery efficiency. The same authors showed a fishery activity optimization strategy in the Lower Amazon with reduced vessel number and fishermen required for buying new boats.

The average CPUE value indicates that the fishery activity in the floodplain lake region was more fishery productive in Santarém, followed by fishery near the city of Monte Alegre and Óbidos. The CPUE is justified once for the same fishery effort, showing that the catch is greater when fishing in Santarém. This value presents low-skilled fishery (Isaac et al., 2008) and occurs throughout the year, making the seasonal variability of CPUE not significant. The variability of the flood pulse and other environmental parameters from year to year could largely affect the diversity of local fauna (Wantzen et al., 2008) and consequently, affect the fishery activity and production.

Conclusion

There is a spatio-temporal variation of the commercial fishing pattern along the lower Amazon region, either through fishing environment (floodplain lake and river) or co-occurrence group caught.

All analyses performed indicate that more than one environmental parameter from the river-atmosphere-ocean system are differently associated with the spatio-

temporal variability of the fishing activity in the Lower Amazon. These parameters tend to affect different periods of each co-occurrence group life cycle.

The high entropy for seasonal and inter-annual scales for the variables studied does not explain the CPUE variability in the Lower Amazon only with a single variable, but rather with a set of co-dependent variables.

The flood pulse, ENSO events, air and surface temperatures in the Lower Amazon are associated with CPUE in all fishing areas and environments analyzed.

The constant change in the Lower Amazon landscape, transforming forest areas in open fields for agricultural activities has changed the relative importance of each hydro-meteo-oceanographic variable. This phenomenon resulted in an increase in air and surface temperature, and a decrease in food availability.

The Lower Amazon region should not be considered as a whole but it should be compartmentalized for a better understanding of the dynamic of the region and the river-atmosphere-ocean system.

The interaction between landscape, aquatic environments, climatic variability and the hydrological cycle dynamics in the Lower Amazon determines the fishing resources distribution, strategies and ecological adaptations, and the fisherman and the fishing behaviors, thereby determining changes in the profile and intensity of exploitation of these resources.

The systematic gathering of data must be continuously encouraged to generate a series of uninterrupted data, which facilitates the improved management of the fishing activity in the possibility of climate change.

Acknowledgements

The authors would like to thank CAPES for financial support through a doctoral sandwich-scholarship (process 9894/11-0), the Federal University of Pará (UFPA), the PROPESP / UFPA and FADESP for the publication financial support and its Post-Graduate Program in Aquatic Ecology and Fisheries (PPGEAP) that provided the opportunity to perform this research. The authors would also like to thank the Brazilian Ministry of Fisheries and Aquaculture (MPA) for the release of the fishing data, the National Water Agency (ANA), the NOAA / NCEP for the release of orbital data and meteorological reanalysis and the Evolutive Ecology group from the Madrid National Sciences for the doctoral internship in Spain.

References

- Albernaz, AL; Moreira, MP; Ramos, J.; Assunção, PA; Franciscan, CH, 2004. Contribuição ao conhecimento da distribuição de árvores. Estudo estratégico “bases científicas para a conservação da várzea: identificação e caracterização de regiões biogeográficas”. Projeto Provárzea, Belém.
- Alonso, JC; Fabre, NN, 2003. Spatial and temporal pattern of the population structure and current state of fishing exploitation of the dourada (*Brachyplatystoma flavicans*, Lichtenstein, 1819. *In*: LARS2 Large River Symposium (2^o: 2003: Phnom Penh, Cambodia). Available in: www.lars2.org/unedited_papers/unedited_paper/Alonso.pdf. Accessed on Nov 18th, 2010.
- Alonso, JC, 2002. Padrão espaço-temporal da estrutura populacional e estado atual da exploração pesqueira da dourada *Brachyplatystoma flavicans*, Castelnau, 1855 (Siluriformes:Pimelodidae), no sistema Estuário-Amazonas-Solimões. PhD Thesis on Tropical Biology and Nature Researches. Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA Manaus, Amazonas.
- Ayres, JM, 1995. As matas de várzea do Mamirauá. MCT-CNPq, Programa do Trópico Úmido- Brasília, DF. CNPq. Sociedade Civil Mamirauá, Rio de Janeiro, 124p.
- Araújo-Lima, CARM, 1990. Larval development and reproductive strategies of Amazonian fishes. PhD Thesis. University of Stirling, Escócia. 173 p.
- Araújo-Lima, CARM; Goulding, M., 1998. So fruitful a fish: Ecology, Conservation, and Aquaculture of the Amazon’s Tambaqui. Biology and Resource Management in the Tropics Series. Columbia Univ. Press, 191p.
- Araujo-Lima, CARM; Agostinho, AA; Fabr e, NN, 1995. Trophic aspects of fish communities in Brazilian River and Reservoirs. *In*: Tundisi, JG, Bicudo, CEM; Matsumura-Tundisi, T. (Eds). Limnology in Brazil. ABC/SBL, Rio de Janeiro, pp 105-136.

Araujo-Lima, CARM; Forsberg, BR; Victoria, R.; Martinelli, LA, 1986. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science*, 234, 1256-1258.

Barthem, RB, Fabr e, NN, 2004. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. *In*: Ruffini, ML (Ed). A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. ProVárzea, Manaus. pp 11-55.

Barthem, RB, Goulding, M., 1997. The Catfish connection: ecology, migration, and conservation of Amazon predators. Columbia University Press, New York. 144p.

Barthem, RB; Petrere Jr., M.; Isaac, VJ; Ribeiro, MCLB; McGrath, D.; Vieira, I.; Valderrama, M., 1997. A pesca na Amazônia: problemas e perspectivas para o seu manejo. *In*: Valladares-Padua, C., Bodmer, R. e Cullen Jr, L. (Eds.). Manejo e Conserva o da Vida Silvestre no Brasil. MCT-CNPq, Sociedade Civil Mamirauá.

Batista, VS., 1998. Distribui o, dinâmica da frota e dos recursos pesqueiros da Amazônia Central. PhD Thesis – Inpa/UFAM, Manaus. 291p.

Bayley, PB, 1988. Factors affecting growth rates of young tropical floodplain seasonality and density-dependence. *Environ. Biol. of Fishes*. 21, 127-142.

Bayley, PB, 1991. The flood-pulse advantage and the restoration of river-floodplain systems. *Regulated Rivers: Res. and Manag.* 6, 75–86.

Carvalho de Lima, A., Araujo-Lima, CARM, 2004. The distributions of larval and juvenile fishes in Amazonian rivers of different nutrient status. *Freshwater Biology*. 49(6), 787-800. INIST : 15393, 35400011005106.0090

Castello, L., 2008. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. *Ecology of Freshwater Fish*. 17, 38-46.

Coe, MT, Costa, MH, Botta, A., Birkett, C., 2002. Long-term simulations of discharge and floods in the Amazon basin. *J. Geophys. Res.* 107, 8044. Available in: <http://dx.doi.org/10.1029/2001JD000740>.

Dancey, CP, Reidy, J., 2007. *Statistics without maths for psychology*. Pearson Education/Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 619 p. ISBN: 0-13-124941-X.

Fabré, NN, Saint-Paul, U., 1997. O ciclo hidrológico na Amazônia Central e sua relação com o ciclo sazonal de crescimento do jaraqui de escama fina, *Semaprochilodus taeniurus*. Congresso Brasileiro de Limnologia, UFSCar, São Carlos. pp 154.

Fabré, NN, Alonso, JC, 1998. Recursos Ícticos no Alto Amazonas: Sua Importância para as populações ribeirinhas. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Zool.* 14(1), 19-55.

Fabré, NN, Donato, JC, Alonso, JC (Eds.), 2000. *Bagres de la Amazonia Colombiana: Um Recurso sin Fronteiras*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI, Bogotá. 253 p.

FAO-COPESCAL, 2000. Informe del taller regional sobre el manejo de las pesquerías de bagres migratorios del Amazonas(Iquitos, Perú). Informe de campo F-5: Comisión de pesca continental para América Latina. FAO, Roma. 103 p.

Forsberg, BR, Araujo-Lima, CARM, Martinelli, LA, Victoria, RL, Bonassi, JA, 1993. Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. *Ecology.* 74, 643-652.

Gafny, S., Gasith, A., 1999. Spatially and temporally sporadic appearance of macrophytes in the littoral zone of Lake Kinneret, Israel: taking advantage of a window of opportunity. *Aquatic Botany.* 62, 249–267.

Gallo, RG, 2000. Situación del manejo de las pesquerías de grandes bagres migratorios amazónicos en el Perú. Taller sobre manejo de las pesquerías de bagres migratorios del amazonas. COPESCAL. 4-9 de octubre, Iquitos, Peru.

Gauch, HG, 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge Univer. Press, New York, 298 p.

Gilmore, RM, 1986. Fauna e etnozologia da América do Sul tropical. *In*: Ribeiro, D. (Ed.) Suma Etnológica Brasileira. FINEP, Petropolis. 1, 189-234.

Goulding, M., 1988. The fishes and the forest. Explorations in Amazonian natural history. University of California Press, Berkeley. 280 p.

Goulding, M., Carvalho, ML, Ferreira, EJM, 1988. Rio Negro: rich life in poor water: Amazonian diversity and foodchain ecology as seen through fish communities. SPB Academic Publishing, The Hague. 200 p.

Gulland, JA, 1966. Manual of sampling and statistical methods for fisheries biology. Part 1. Sampling methods. FAO Manual in Fishery Science. 3(5).

Gulland, JA, 1971. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. Editorial Acribia por la FAO, Zaragoza, España. 164 p.

Junk, WJ, 1985. Temporary fat storage, an adaptation of some fish species to the water level fluctuations and related environmental changes of the Amazon system. *Amazoniana*. 9: 315-351.

Junk, WJ, 1997. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. *In*: The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system. Junk, WJ (Ed.). Ecological studies. 126, 3-20.

Junk, WJ, Bayley, PB, Sparks, RE, 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. 110-127p. *In*: Dodge, DP (Ed). Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106p.

Junk, WJ, Wantzen, KM, 2004. The flood pulse concept: new aspects, approaches, and applications — an update. *In*: Welcomme, R., Petr, T. (Eds) Proceedings of the

2nd Large River Symposium (LARS), Phnom Penh, Cambodia Food and Agriculture Organization e Mekong River Commission. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok. 16, 117–149.

Junk, WJ, Soares, MGM, Bayley, PB, 2007. Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 10, 153–173.

Knoppel, HA, 1970. Food of Central Amazonian fishes. Contribution to the nutrient ecology of Amazonian rain-forest-streams. *Amazoniana*. 2, 257-352.

Kramer, DL, Lindsey, CC, Moodie, GEE, 1978. The fishes and the aquatic environment of the Central Amazon basin, with particular reference to respiratory patterns. *Can. J. Zoo*. 56, 717-729.

IBAMA, 2007. Estatística da pesca 2007 - Grandes regiões e unidades da federação. IBAMA, Brasília. 151 p.

Isaac, VJ, Milstein, A., Ruffino, ML, 1996. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazônica*, 26(2) 185-208.

Isaac, VJ, Ruffino, ML, Milstein, A., 1998. Fisheries ecology in the Lower Amazon: A typical artisanal practice in the tropics. *Ecotropica*. 4, 99-114.

Isaac, VJ, da Silva, CO, Ruffino, ML, 2008. The artisanal fishery fleet of the lower Amazon. *Fisheries Manag. and Ecology*. 15, 179-187.

Isaac, VJ, Fabr e, NN, da Silva, CO, Ruffino, ML, Saint-Paul, U., 2011. Ecologia da Fauna Ict ica. Cap. 6, 201-246. *In*: Batista, VS et al. (Orgs) Peixes e pesca no Amazonas: uma avalia o integrada. Ibama/ProVárzea, , Brasília. 276 p.

Loubens, G., Panfili, J., 1997. Biologie de *Colossoma macropomum* (Teleostei: Serrasalminidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyol. Explor. Freshwaters*. 8(1), 1-22.

Lowe-McConnell, RH, 1987. *Ecological Studies in Tropical Fish Communities*. Cambridge University Press, New York. 382 p.

Marengo, JA, 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.* 78, 79–96.

Martelo, J., Lorenzen, K., Crossa, M., Mcgrath, DG, 2008. Habitat associations of exploited fish species in the Lower Amazon river–floodplain system. *Freshwater Biology.* 53, 2455–2464. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.02065.x

Matthews, WJ, 1998. *Patterns in Freshwater Fish Ecology*. 2nd ed. Chapman and Hall, New York. 757p. ISBN-10: 041202831X

McCune, B., Mefford, MJ, 1999. *Multivariate analysis of ecological data*. MjM Software, Gleneden Beach.

Meggers, B., 1977. *Amazônia: a ilusão de um paraíso*. Civilização Brasileira, Rio de Janeiro. 207 p.

Moyle, PB, Cech, JJ, 2009. *Fishes: an introduction to ichthyology*. 5th ed. Pearson Prentice Hall. 726p. ISBN: 0131008471, 9780131008472

Nikolsky, GV, 1969. *Theory of fish population dynamics as the biological background for rational exploitation and management of fishery resources*. Oliver & Boyd, Edinburgh. 323 p.

Pinaya, WHD, Souza, RB, Isaac, VJ, 2013. *River-ocean-atmosphere system interactions and climate in the Lower Amazon*. Submitted for Environment International in Oct, 2013.

Poole, GC, 2002. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology.* 47, 641–660.

- Raffles, H., Winklerprins, MGA, 2003. Further reflections on Amazonian environmental history: transformations of rivers and streams. *Latin American Res. Rev.* 38, 165–187.
- Ribeiro, MCLB, Petrere Jr., M., 1990. Fisheries ecology and management of the jaraqui (*Semaprochilodus taeniurus*, *S. insignis*) in central Amazonian. *Regulated Rivers: Res. and Manag.* 5, 195-215.
- Ruffino, ML, Isaac, VJ, 1995. Life cycle and biological parameters of several brazilian amazon fish species. *The ICLARM Quartely, Fishbyte Section.* 8(4), 40-45.
- Saint-Paul, U., Zuanon, J., Villacorta, MA, Garcia, M., Fabre, NN et al., 2000. Fish communities in Central Amazonian white and blackwater floodplains. *Environ. Biol. Fishes*, 57, 235–250.
- Thomaz, SM, Bini, LM, Bozelli, RL, 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-flood-plain systems. *Hydrobiologia.* 579, 1–13.
- Vari, RP, Malabarba, LR, 1998. Neotropical ichthyology: an overview. *In: Malabarba, LR, Reis, RE, Vari, RP, Lucena, ZMS, Lucena CAS (Eds.) - Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes.* Edipucrs, Porto Alegre. pp 1-11.
- Wantzen, KM, Drago, E., da Silva, CJ, 2005. Aquatic habitats of the Upper Paraguay river-floodplain-system and parts of the Pantanal (Brazil). *Ecohydrology e Hydrobiology.* 21, 1–15.
- Wantzen, KM, Junk, WJ, Rothhaupt, K-O, 2008. An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia.* 613(1), 151-170. *Konstanzer Online-Publikations-System (KOPS).* Available in: <http://kops.uni-konstanz.de/volltexte/2009/7515/>. Accessed on Feb10, 2013.
- Ward, JV, Tockner, K., Arscott, DB, Claret, C., 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biol.* 47, 517–539.

Winemiller, KO, 2004. Floodplain river food webs: generalizations and implications for fisheries management. 285-310 p. *In*: Welcomme, RL, Petr, T. (Eds.) Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries V. 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations e Mekong River Commission. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok. ID: 173125. Available in: <http://www.fao.org/docrep/007/ad526e/ad526e00.htm>. Accessed on Nov 20, 2012

CAPÍTULO 3

A PESCA DE MULTIESPÉCIES DE REDE DE EMALHE NO BAIXO AMAZONAS E SUAS RELAÇÕES COM A VARIABILIDADE CLIMÁTICA REGIONAL E GLOBAL

Artigo sendo elaborado para ser submetido para publicação no periódico ***PloS One (PLOS.ORG)*** (ISSN-1932-6203, online). Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista excetuando-se a fonte para fins de padronização do *layout* de apresentação desta tese.

CATCHING MULTISPECIES BY DRIFTNETTING IN THE LOWER AMAZON AND THEIR RELATIONSHIPS WITH REGIONAL AND GLOBAL CLIMACTIC VARIABILITY

Walter Hugo Diaz Pinaya^{1*}, Francisco Javier Lobon-Cervia², Ronald Buss de Souza³, Juan Freire⁴, Pablo Pita⁴, Victoria Judith Isaac¹

¹ Laboratório de Biologia Pesqueira e Manejo de Recursos Aquaticos – Universidade Federal do Pará – Av. Perimetral, 2685 –Terra Firme – Belém – PA – Brasil

² Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC – Madrid – Spain

³ Centro Regional Sul – Instituto de Pesquisas Espaciais – Santa Maria – RS – Brazil

⁴ Facultad de Ciencias – Universidad A Coruña – A Coruña – Galicia – Spain

* contact e-mail: wpinaya@ig.com.br

Summary

This paper sets out to study the spatial-temporal variability in catch of the main fishery resources of the Amazon River and floodplain lakes of the Lower Amazon, as well as relating the CPUE (Catch per Unit of Effort) with anomalies in the variables of the river-atmosphere-ocean system, determining the influence of the environment on fishing or the catchability of the resources. Data on finfish in landings from the towns and villages of the Lower Amazon for the fisheries of Óbidos, Santarém and Monte Alegre, were recorded from January 1993 to December 2004. Crossed wavelet techniques, DCA and RDA, were used for the analysis of time series. Fisheries production in the Lower Amazon presents differences in terms of the environment, the river accounting for approximately half of what is produced in floodplain lakes. This variability occurs both throughout the Lower Amazon region (longitudinal gradient) and laterally, in each of the municipalities studied (latitudinal gradient). Fish production in the Lower Amazon in the river is approximately half of what is produced in floodplain lakes. In studies on fish production in the Lower Amazon, it should at all times be considered that different environmental variables, or a series of them, act differently on fish stocks and the success of catches in each fishery studied. Despite the co-variation of catches with the environmental variables on an annual, biennial

and inter-annual scale, their most intense response time occurs on an infra-annual scale, indicating that the seasonal variations strongly affect the success of fisheries.

Key words: catch, hydrological cycle, Amazon Basin, river-atmosphere-ocean system.

Introduction

Fishing is a traditional activity in the Amazon, practiced since the days of the first indigenous people to live in the region. In the Lower Amazon, this activity is different from other regions due to the large amount of species explored, the catch production and its relationship with maintaining the coastal communities present in the area. It is an essential artisanal activity using diverse fishing methods, with different degrees of technological development. Different strategies are also applied, depending on the target resources and the environment [1], contributing to an increase in the complexity of fishing in the Amazon. Some authors have studied the variability of the hydrological cycle and its relationship with the dynamics, recruitment and catch of commercial species in inland waters, in diverse places in the world [2] – [14].

It is calculated that the wealth of ichthyofauna in the Amazon rises to about 8,000 species [15]. But however, when analysing fish landings in the main ports of the Amazon, it is noted that the amount of commercially exploited species varies from six (6) to twelve (12), which approximately correspond to 80% of the total volume landed. The specific composition of the catch is related to the type of environment that predominates in the fishery and to the customs in the regional communities. To illustrate this, the preference for scale fish, in detriment of catfish in the Central Amazon area, is echoed in the fish supply in the local markets [16]. Fish species have strategies to adapt to the seasonal changes in the hydrological cycle, occupying floodplain lakes and/or the river [16]. A complete knowledge of these strategies is extremely important for an understanding of the abundance and composition of these fishery resources. Research into the biology, feeding, metabolism, development, growth and migration of Amazon fish species has contributed to this understanding [17] – [25], *inter alia*.

The distribution and ecology of fishery resources in the Amazon region are determined by the natural surroundings, availability of environments, meteorological characteristics and variability of the hydrological cycle. With a greater flow, the rivers overflow their bed and flood their banks, leading to the expansion of aquatic environments [16]. Flooding due to overflowing occurs in the fisheries the Amazon plain and governs fisheries dynamics in this region. There is a strong relationship between the hydrological cycle and the variability of catches during the year [26]. The flood plains and wetland forests are of vital importance to the trophic ecology of the Lower Amazon, and consequently, are extremely valuable in ensuring the success of commercial fisheries, which leads to the need for their conservation [27] – [30].

In order to ensure a sustainable management and the conservation of the fisheries resources in the Amazon region, the concept of managing landscape units should be considered, i.e., the resources within the environment as a whole and its variability within the river system-floodable area. Likewise, considering the scope of the landscape phenomena interacting with the climate, the ecological approach should consider meso- or macro-scales in order to strengthen guidelines and public conservation policies and the management of fisheries resources in the Amazon river basin region. This indicates the importance of understanding the interaction between resource and environment [16].

This paper sets out to study the spatial-temporal variability in catch of the main fisheries resources in the Lower Amazon, considering the different aquatic environments, i.e., the Amazon River and the floodplain lakes, as well as relating fishery productivity applying the CPUE (Catch per Unit Effort) with anomalies in the variables of the river-atmosphere-ocean system, determining the influence of the environment on the catchability of these resources and on the success of the fisheries.

Material and Methods

Study area

The study area covers the fisheries of Óbidos, Santarém and Monte Alegre, in the region of the Lower Amazon, between latitudes 1°43'S – 2°37'S and longitudes 55°55'W – 53°46'W (Figure 1).

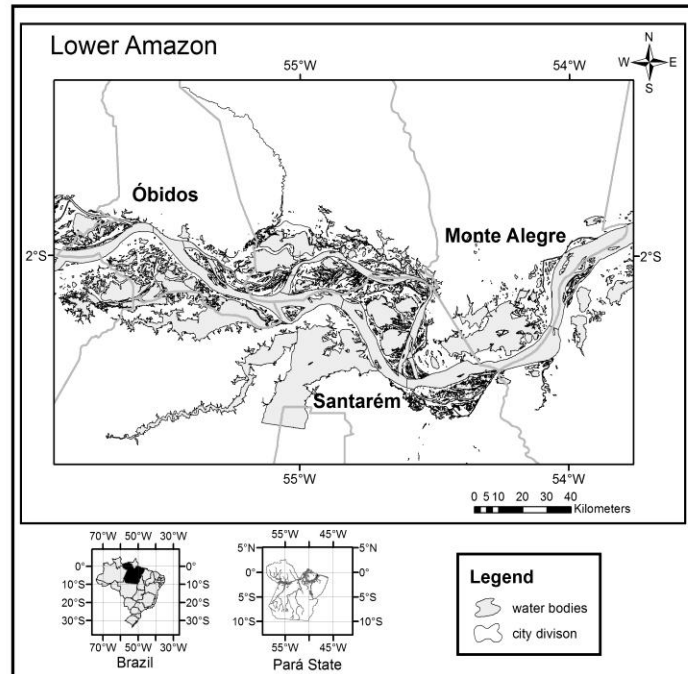


Figure 1: The study area included the meso-region of Lower Amazon and three (3) lesser areas: Óbidos (O), Santarém (S) and Monte Alegre (M). The boundaries of these fisheries appear in light grey; the Amazon River and floodplain lakes appear in dark grey.

Materials

Fisheries data

The series of fisheries data used was generated by projects IARA/IBAMA and ProVarzea/IBAMA. Information on catch per species and fishing effort were collected on a daily basis for each fishing trip by means of interviews with the skippers or those responsible on the vessels that dock in catch landing ports in the study area [26]. The time series of fisheries data covers the period from January 1993 to December 2004, including 163,546 identification records of fishing units, where each record corresponds to a fishing trip. With the selection of attributes – “fishing boat” and “driftnetting” – the series was reduced to 19,484 records for the rivers environment, and 37,624 records for floodplain lakes, only considering fisherys in the Lower

Amazon. This selection is justified since it is known that driftnetting is the main fishing method in the Lower Amazon, and the fishing boats (boats with their own crew for catching fish) are the most representative units of this artisanal fleet, accounting for over 80% of all the fisheries production in the region [31]. A fishery was adopted in order to reduce the effect of mobility of the fishing fleet in the study region.

The criterion for the reduction in the number of species included in the multivariate analyses involved, in order of importance, limiting the fishery production in each environment (floodplain lake and river) to a total of 80%.

Hydrological data

Hydrological plain data (ARD), height (WL) in the rivers and rainfall (RF) in the study area were obtained from the ANA (Agência Nacional de Águas – www.ana.gov.br). Temporary monthly series were obtained for the same period from fishery data covering the period from January 1993 to December 2004. The period used for determining plain climatology, altitude and rainfall, in the Amazon River, was from January 1975 to December 2005.

Meteorological data

The meteorological data were taken from the NCEP/NCAR Reanalysis Project bank (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) N/N Reanalysis [32] and Reanalysis 2 [33]. Monthly averages were used, distributed in a Gaussian Grid with a spatial resolution of 1,8758 km x 1,9058 km (lat./long.). For the purposes of this study, we included data on anomalies in wind speed components at 10 m from the surface (u and v), air temperature at 2 m (TMP2m), TMPsfc (surface temperature), rate of potential evaporation (PEVPR), surface runoff (RUNOF), specific unit of air (SPFH2m) and the volumetric unit of soil (SWSoilM).

Climatological indices

In order to correlate any possible variabilities found in fishing in that region with climatological events and other large scale external forces, time series of indices

were used, namely, the Multivariate ENSO Index – *MEI*), the North Atlantic Oscillation Index – *NAO*) and the TSM Inter-Hemisphere Index on the Atlantic (*GITA*).

Methods

From each environmental variable, their respective standardized anomaly was calculated and, subsequently, techniques for the analysis of times series and multivariate indices were used.

CPUE (Catch per Unit Effort)

In order to measure productivity, catch per unit effort (CPUE) was used for each fishery and species), defined as the amount of fisheries resource caught by an effort unit used in catching. The CPUE was estimated by using catch in tonnes divided by the effort (number of fishermen x fisherman days). The CPUE estimate was determined by using the Jackknife method, as described below [34]:

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i E_i}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

where C_1 is the catch in one month and fishery, and E_1 is the effort for the same month and fishery.

The Jackknife method was selected since it is recommended for situations in which there is a lack of knowledge on the behaviour of variables, as is the case in the majority of fisheries studies [35].

The CPUE, on the other hand, will be considered as being related, not only to catching the resource, but also to the availability of the fishery environment, i.e., both its catchability (Q) and its abundance (A).

$$CPUE \equiv f(A, Q) \therefore$$

$$CPUE \propto Q \rightarrow Q \equiv f(\text{ambiente})$$

Fisheries data were grouped according to taxonomic family and the monthly value of the CPUE was estimated for each fishery (Ódibos, Santarém and Monte Alegre) and the fishery environment (river and floodplain lakes).

Statistical analysis

For all the variables, tests for normality were conducted, and data homocedasticity were analysed using the Shapiro-Wilk and Bartlett tests, respectively, accepted for $p > 0.05$. The ANOVA test was applied to test the variance in the monthly average CPUE according to taxonomic family of fish species in the Lower Amazon region, where the factors established were families, the fisheries (region), the months and the years.

Ordination was made in the three municipalities (Ódibos, Santarém and Monte Alegre) and respective fishery environments (river and floodplain lakes) using a rectified correspondence analysis (DCA) of the average monthly CPUE [35]. The CPUE values analysed were logarithmically transformed from the log type (x) before processing the analysis [36]. This analysis made it possible to graphically visualize the variation in associations. Redundancy Analyses (RDA) were also made where a matrix of explanatory variables (environmental variables) is used to quantify the variation in a matrix of response variables (CPUE), assuming linear relationships between variables and CPUE [37]. The relationships between the average monthly CPUE according to taxonomic family and the meteo-oceanographic variables and the hydrological cycle were analyzed by RDA and crossed correlations.

Statistical analysis and graphics from the ANOVA test were made using the STATISTICA7.0[®] software, while for the DCA, the PCORD software was used and the RDA was applied using the Canoco programme for Windows 4.54 [38].

Results

Fishing in the Lower Amazon and specific composition

Fisheries production

For the period 1993-2004, estimated total fisheries production was 17,482 tonnes, with an average of 122 tonnes/month. August and September, in the years 1994, 1995, 2001 and 2002, are the months with the highest catches and are related to the period of ebb tide-drought in the Amazon river basin. Now the lower values were found to coincide with the high tide period. December 2002 and 2003, January and February 2000 and 2004 were the months with the least catches. Generally speaking, the most caught species (81.4 % of the total caught) were *Hypophthalmus marginatus* and *edentatus* (26.9%); *Brachyplatystoma rousseauxii* and *flavicans* (11.6%); *Prochilodus nigricans* (8.6%); *Plagioscion sp* and *Pachypops sp* (5.4%); *Pseudoplatystoma fasciatum* and *tigrinum* (5.3 %); *Liposarcus pardalis* (5.0%); *Semaprochiloduns taeniurus* and *insignis* (4.5%); *Pimelodina flavipinnis* (3.8%); *Schizodon fasciatum* and *Leporinus trifasciatus* (3.4%) and *Brachyplatystoma vaillanti* (3.2 %). Each fishing trip presented an average fishing effort of 5 fishermen (varying from 2 to 11 fishermen) and 4 fishing days (varying from 3 to 6 days).

Fisheries production in the lotic (river) environment is cyclic in nature, with an annual peak production in the period from August to October (high tide-drought), with less expressive values from December to February (high tide). The years 1995, 1999, 2001 and 2002 stand out for having higher catches, while the years 1997, 2000 and 2003 are noted for lower values (Figure 2). Out of the species caught in river environments, the most outstanding in the period analysed were: *Brachyplatystoma rousseauxii* and *B. flavicans* (28.0 %); *Prochilodus nigricans* (11.1 %); *Semaprochiloduns taeniurus* and *S. insignis* (8.7 %); *Brachyplatystoma vaillanti* (7.6 %); *Brachyplatystoma filamentosum* (7.0 %); *Pseudoplatystoma fasciatum* and *P. tigrinum* (5.6 %); *Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus* (5.5 %); *Mylossoma duriventre*, *Myleus schomburgki* and *Metynnis argenteus* (4.2 %); *Liposarcus pardalis* (3.8 %). These account for 81.4% of the catches in the period analysed for this fishery environment, which amounted to a total of 4,700 tonnes, or an average of 33 tonnes/month.

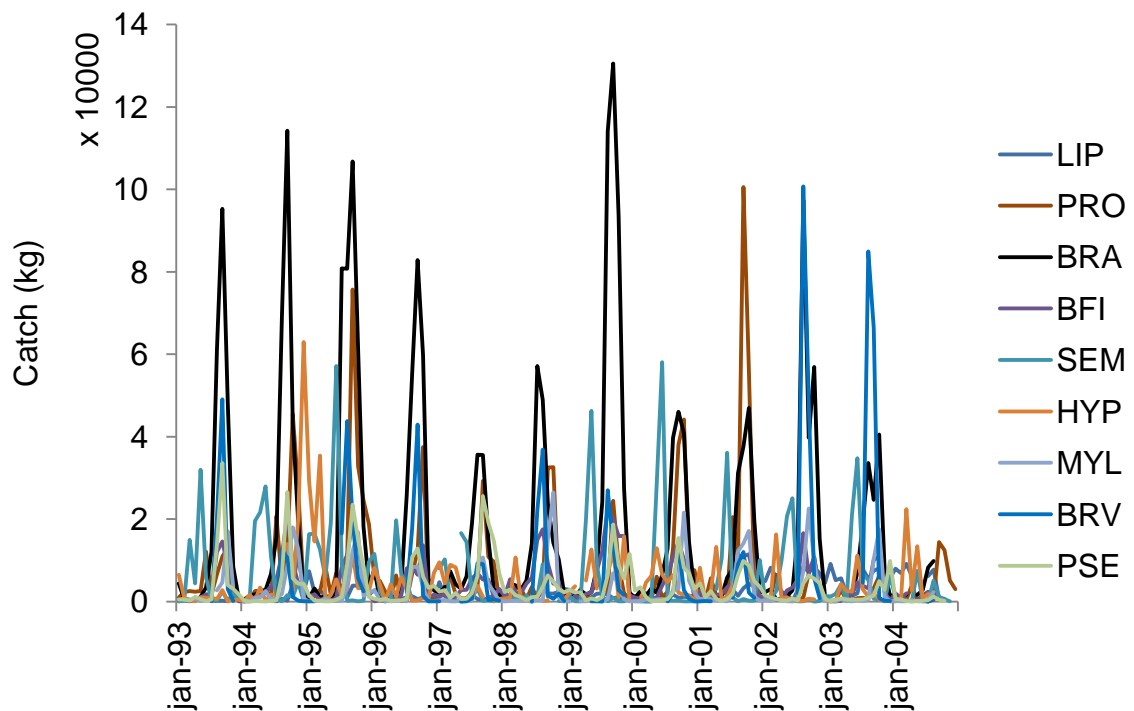


Figure 15 Monthly fishery production in the Amazon river near the fishery grounds of Óbidos, Santarém and Monte Alegre from January of 1993 to December of 2004.

(BRV) *Brachyplatystoma vaillanti*, (BRA) *Brachyplatystoma rousseauxii e flavicans*, (SEM) *Semaprochiloduns taeniurus e S. insignis*, (BFI) *Brachyplatystoma filamentosum*, (HYP) *Hypophthalmus marginatus e H. edentatus*, (MYL) *Mylossoma duriventre, Myleus schomburgki e Metynniss argenteus*, (LIP) *Liposarcus pardalis*, (PRO) *Prochilodus nigricans*, (PSE) *Pseudoplatystoma fasciatum e P. tigrinum*.

In the lentic (lake) environment, a rising trend was noted in total production, contrary to what occurs in the rivers. The years from 2001 to 2003 noted the highest fish production values, while the lowest values were recorded for 1993 and from 1997 to 1999 (Figure 3). The transition period high tide period showed the highest values, i.e., February-March, while the lowest values are related to the dry-high tide period, from October to December. Out of the target species most caught in floodplain lakes during the period analysed were: *Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus* (50.1 %); *Plagioscion* spp and *Pachypops* spp (7.3 %); *Pimelodina flavipinnis* (7.1 %); *Liposarcus pardalis* (6.1 %) and *Prochilodus nigricans* (4.7 %); *Colossoma macropomum* (3.5 %); *Pseudoplatystoma fasciatum* and *P. tigrinum* (3.2 %). These

species account for 82.2 % of the total production for the period (12,782 tonnes or 89 tonnes/month on average).

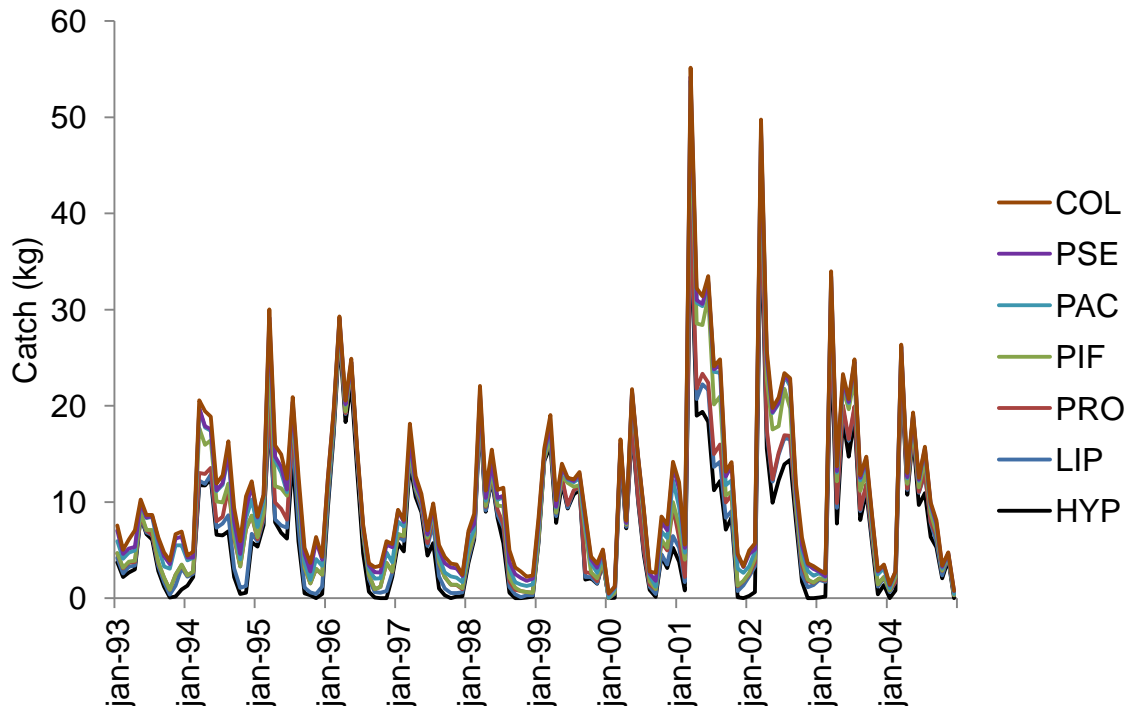


Figure 16 Monthly fishery production in floodplain lakes near the fishery grounds of Óbidos, Santarém and Monte Alegre from January of 1993 to December of 2004.

(HYP) *Hypophthalmus marginatus* e *H. edentatus*, (LIP) *Liposarcus pardalis*, (PRO) *Prochilodus nigricans*, (PIF) *Pimelodina flavipinnis*, (PAC) *Plagioscion* sp e *Pachypops* sp, (PSE) *Pseudoplatystoma fasciatum* e *P. tigrinum*, (COL) *Colossoma macropomum*.

Grouping the species caught into families, the presence of 20 families of 5 orders are noted. The most important families are: Hypophthalmidae, Pimelodidae, Sciaenidae, Prochilodontidae, Loricariidae, Anostomidae, Cichlidae, Clupeidae and Doradidae. The evolution of the CPUE by taxonomic family caught in the Lower Amazon indicates an interannual variation and specificity according to fishery environment. The families Pimelodidae are caught most in the river (Figure 4a), and Hypophthalmidae in floodplain lakes (Figure 4b). These two taxonomic groups account for a higher CPUE in 1996 and 1999.

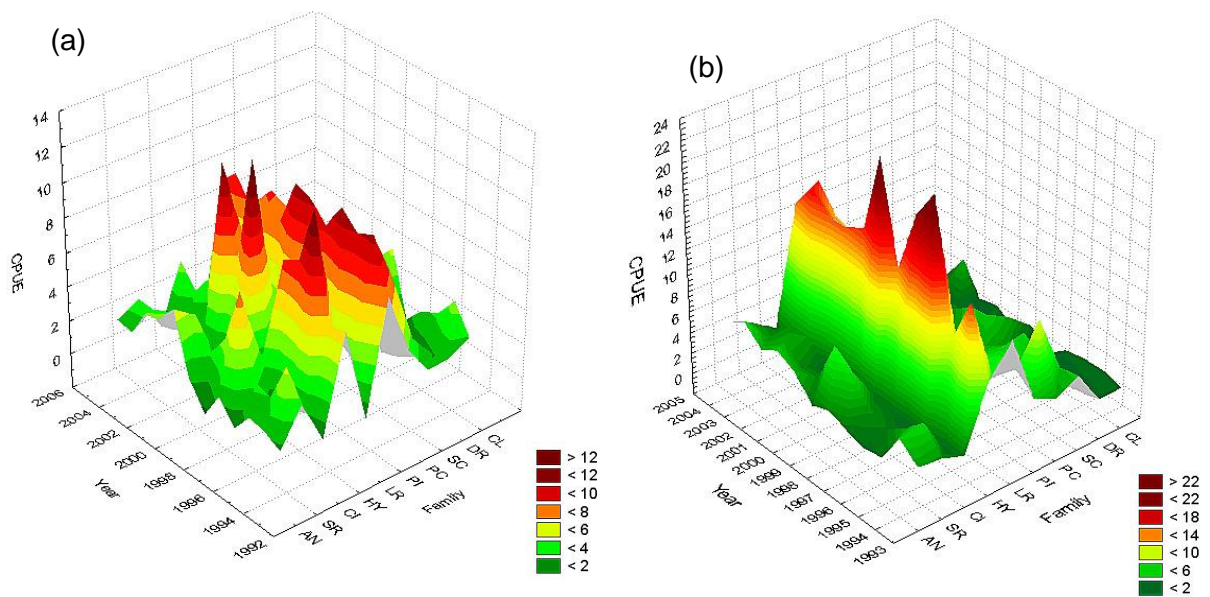


Figure 4. Diagram showing temporal variation in the average CPUE by taxonomic family in the catches in the (a) Amazon River, and in (b) floodplain lakes in the Lower Amazon, from January 1993 to December 2004.

(HY) Hypophthalmidae, (PI) Pimelodidae, (SC) Sciaenidae, (PC) Prochilodontidae, (LR) Loricariidae, (SR) Serrasalminidae, (AN) Anostomidae, (CI) Cichlidae, (CL) Clupeidae, (DR) Doradidae

Table 1 shows that the catch and the CPUE vary in accordance with the environment and the fishery. To illustrate this, in Santarém and in a river environment, the family most caught was Pimelodidae, with approximately 12 tonnes/month, while the family with the highest CPUE was Hypophthalmidae, with 10.44 kg/fisherman day and barely 787 kg on average caught per month. Or in the case of floodplain lakes, where the family Loricariidae has the second highest CPUE (10.83 kg/fisherman day), but barely ranking in sixth position among the most caught (2.07 tonnes/month on average). This lack of correspondence between catch and CPUE may also be noted in the municipalities of Óbidos and Monte Alegre.

Table 4: Average monthly fish production (kg) and CPUE (kg/fisherman day) per taxonomic family and fish caught and by artisanal driftnet fishery environment in the Lower Amazon.

	OBIDOS				SANTAREM				MONTE ALEGRE			
	River		Lake		River		Lake		River		Lake	
	Captura (kg)	CPUE	Captura (kg)	CPUE	Captura (kg)	CPUE	Captura (kg)	CPUE	Captura (kg)	CPUE	Captura (kg)	CPUE
PI	4.832	9,30	2.531	4,90	12.161	9,37	5.533	5,05	3.719	8,87	5.599	6,94
PC	462	6,27	433	4,49	2.093	7,41	1.949	4,70	355	4,78	1.846	4,84
SR	307	3,61	592	4,47	1.676	5,18	2.185	4,01	309	3,74	1.695	4,78
HY	466	4,17	18.149	16,40	786	10,44	12.745	15,10	1.096	7,53	10.000	16,33
CL	108	1,00	79	1,00	495	1,00	359	1,00	74	1,00	631	1,00
DR	116	1,00	155	1,00	277	1,00	403	1,00	215	1,00	354	1,00
AN	77	1,05	653	3,29	432	4,49	2.909	5,63	54	2,53	717	3,64
SC	86	1,91	1.386	4,28	319	3,71	4.546	4,82	105	2,31	2.242	4,47
CI	23	0,86	193	2,79	205	2,18	996	2,64	91	2,16	631	2,21
LR	3	0,23	202	4,83	125	6,04	2.063	10,83	100	4,63	4.309	13,44

(HY) Hypophthalmidae, (PI) Pimelodidae, (SC) Sciaenidae, (PC) Prochilodontidae, (LR) Loricariidae, (SR) Serrasalminidae, (AN) Anostomidae, (CI) Cichlidae, (CL) Clupeidae, (DR) Doradidae.

Monthly and annual fishing pattern

Table 2 shows that all the covariances are significant ($p > 0.5$), with the exception of the interaction between month and fishery in floodplain lakes.

Table 2: ANOVA results between average monthly CPUE and spatial-temporal variables. (Y) year, (M) month, (REG) fishery, (FM) Taxonomic family.

River	F	p	Lake	F	p
{1}Y	2,95	0,00	{1}Y	2,12	0,02
{2}M	8,06	0,00	{2}M	3,08	0,00
{3}REG	38,53	0,00	{3}REG	15,34	0,00
{4}FM	43,82	0,00	{4}FM	196,60	0,00
1*2	1,25	0,04	1*2	1,45	0,00
1*3	2,19	0,00	1*3	3,62	0,00
1*4	1,49	0,00	1*4	3,76	0,00
2*3	2,23	0,00	2*3	0,88	0,62
2*4	2,75	0,00	2*4	3,28	0,00
3*4	4,44	0,00	3*4	8,82	0,00

The ANOVA statistically showed that the differences in catch per unit effort between the target families throughout the period analysed is less in river environments than in floodplain lakes (Figure 5a). In the floodplain lakes, catches of Hypophthalmidae stand out. It is noted that the inter-annual variance is more important in lakes than in the river (Figure 5b).

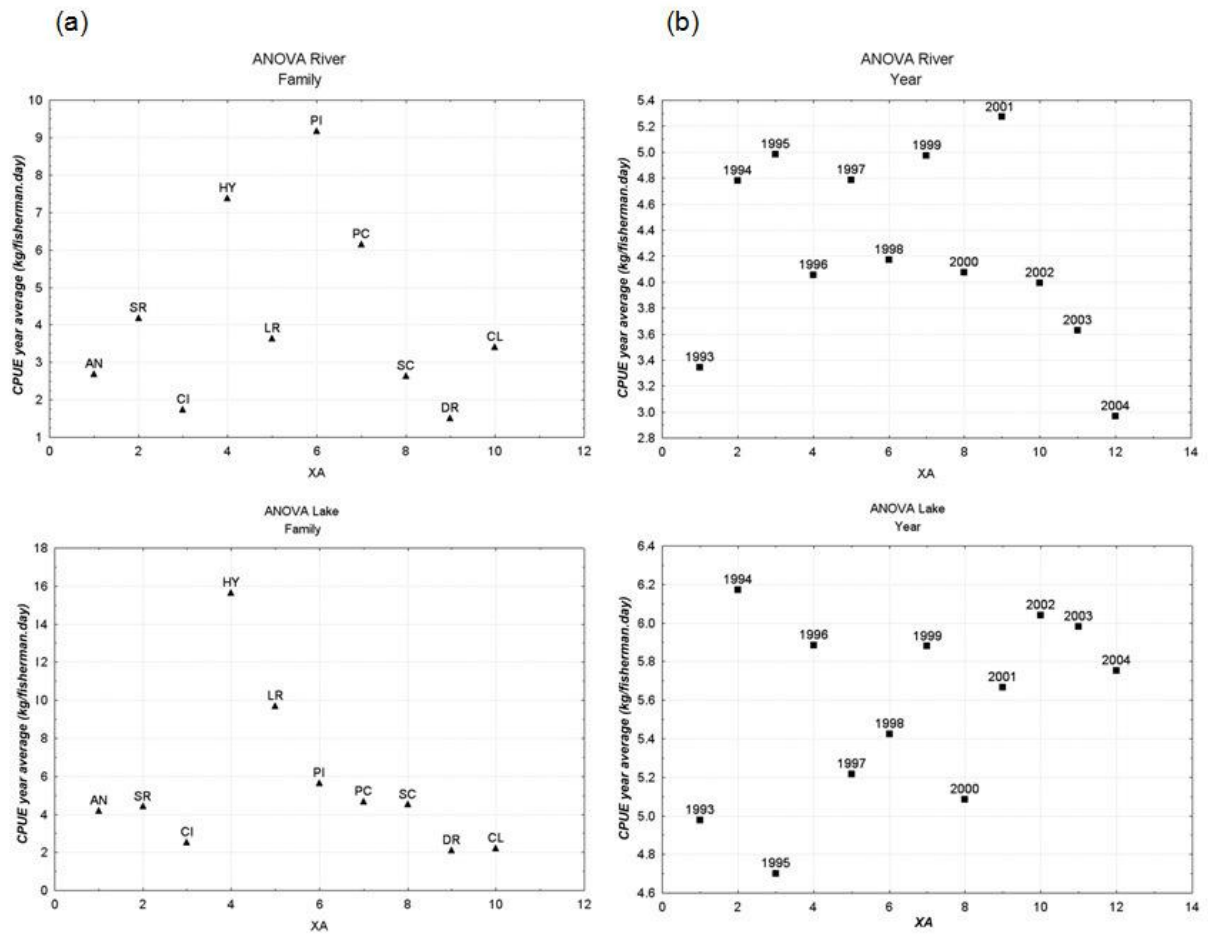


Figure 5. Graphic illustration of the results of the ANOVA test for the average CPUE for fisheries in the river (above) and floodplain lakes (below) in the Lower Amazon, according to target family and year.

(XA) level of the factor, (a) family and (b) year.

Management of fishing patterns

Analysis of the DCA management indicates that there is a difference between fishing patterns in the Lower Amazon by fishery and by fishery environment (Figure 6). It is possible to observe a clear separation in fisheries activity, in the horizontal axis of the graph, according to the municipalities where the fisheries occur, with Óbidos and Monte Alegre on the ends and Santarém in an intermediate position between the other two. A separation is also shown in the fisheries carried out in the river and floodplain lakes, noted in the vertical axis (Figure 6).

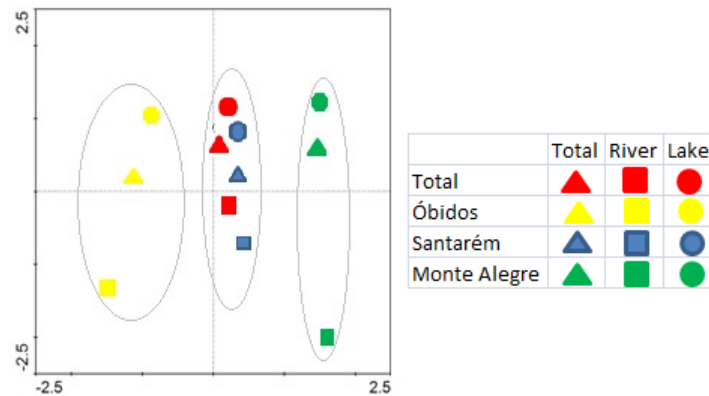


Figure 6. Graphic illustration of the DCA analysis for the monthly average CPUE in the Lower Amazon, by fishery ground and environment.

Apart from the existing management between the fisheries (Figure 6), the DCA analysis shows similar patterns for some fishing systems, such as the catch of species in the family Pimelodidae (PI) and Doradidae (DR) in the Amazon River and of Hypophthalmus (HY) and Serrasalmididae (SR) in floodplain lakes (Figure 7). Due to the scarce significance in the fishery, some families were not considered in this analysis, such as: Anostomidae (AN), Serrasalmididae (SR) and Loricariidae (LR) at Obidos for rivers, and Loricariidae (LR) and Doradidae (DR) at Obidos and Clupeidae (CL) at Monte Alegre for the floodplain lakes.

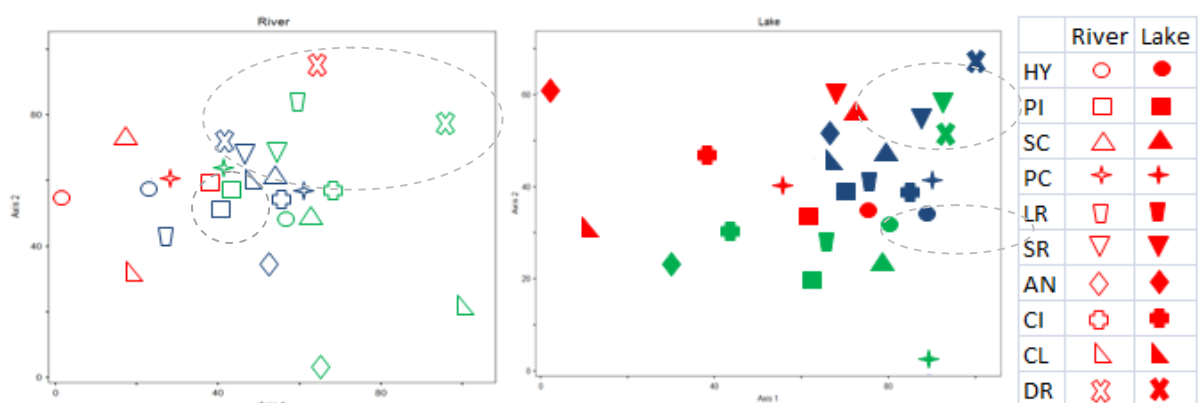


Figure 7. Graphic illustration of the first and second main component of the DCA analysis of the monthly average CPUE by target families caught in the Lower Amazon by fishery and fishery environment.

(HY) Hypophthalmidae, (PI) Pimelodidae, (SC) Sciaenidae, (PC) Prochilodontidae, (LR) Loricariidae, (SR) Serrasalmidae, (AN) Anostomidae, (CI) Cichlidae, (CL) Clupeidae, (DR) Doradidae; fishery environment in river (empty) and floodplain lake (full); the fishery of Óbidos (red), Santarém (blue), Monte Alegre (green). Axes 1 and 2 are the first and second main component of the data.

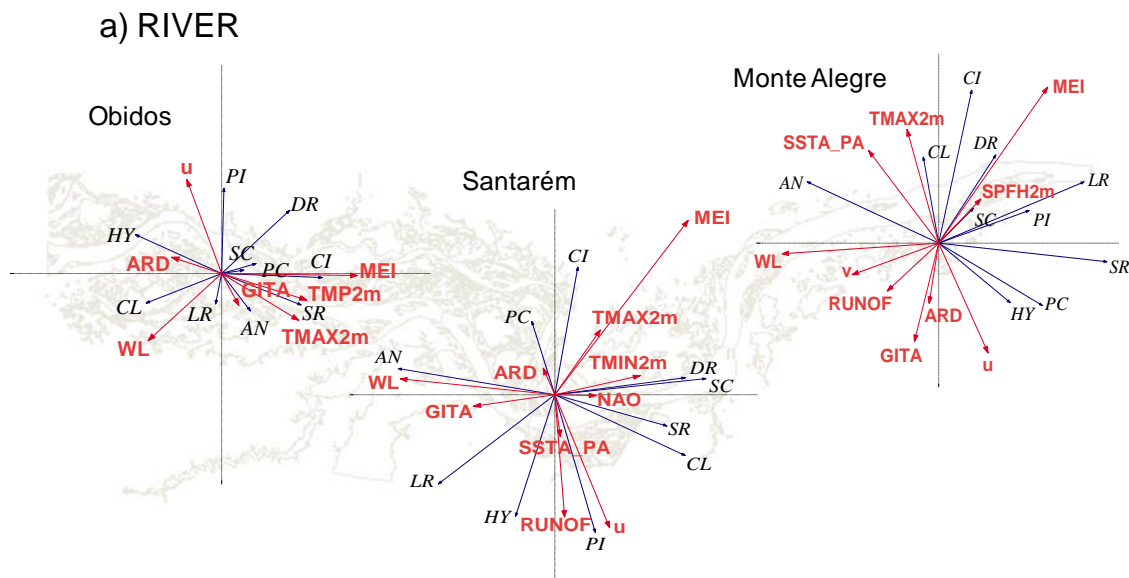
Relationship between fisheries production and climatic variability

In the river environment, the RDA model (Figure 8a) shows that the monthly CPUE of the taxonomic family Hypophthalmidae (HY) at Óbidos positively covariates with the yield in the Amazon River (ARD) and negatively with the air temperature (TMP2M and TMAX2M). The contrary can be verified with the taxonomic family Serrasalmidae (SR), i.e., its productivity covariates positively with the air temperature and negatively with the river yield. Now the monthly CPUE of the taxonomic families Clupeidae (CL) and Loricariidae (LR) covariate positively with the flooding pulse (WL). While the CPUE for the family Doradidae (DR) covariates positively with the flooding pulse. The CPUE for the taxonomic families taxonômicas Sciaenidae (SC), Prochilodontidae (PC) and Cichlidae (CI) covariate positively with ENOS (MEI) events. Productivity of the taxonomic family Anostomidae (AN) is directly related to the oscillation in the inter-hemispheric seawater surface Temperature Gradient in the Atlantic (GITA), and inversely with the zonal wind component (u). And the CPUE for the taxonomic family Pimelodidae (PI) at Óbidos covariates positively with this same wind component (u). Still considering the lotic environment, only the Santarém region, we note that productivity of the taxonomic family Hypophthalmidae (HY) covariates positively with surface runoff (RUNOF) and the temperature of the seawater surface on the Pará continental platform (SSTA_PA) is negatively with ENOS (MEI) events and the air temperature (TMAX2M), the inverse occurring with the CPUE for the taxonomic family Cichlidae (CI). Productivity of the taxonomic family Pimelodidae (PI) also covariates positively with RUNOF and SSTA_PA in addition to the zonal wind component (u), and negatively with the yield of the Amazon River (ARD), the inverse occurring with productivity of Prochilodontidae (PC). The variance in the monthly CPUE for the taxonomic families Clupeidae (CL) and Serrasalmidae (SR) covariates positively with the air temperature (TMIN2M) and the oscillation of the North Atlantic

(NAO) and negatively with the GITA. The monthly CPUE for the family Anostomidae (AN) covariates positively with the flooding pulse (WL) and negatively with the North Atlantic Oscillation (NAO). Loricariidae (LR) has its productivity in this fishery, covarying negatively with the zonal wind component (u) and negatively with the SSTA_PA. The CPUE for Anostomidae (AN) covariates positively with the same oceanographic variable, the seawater surface temperature on the Pará continental platform (SSTA_PA), negatively with the CPUE for Prochilodontidae (PC). Productivity for Doradidae (DR) is directly related to ENOS (MEI) events and inversely with the surface runoff of the hydrographic basin (RUNOF). The CPUE for Cichlidae (CI) covariates negatively with the fluctuation of the Inter-Hemisphere Index on the Atlantic (GITA) and the flow of the Amazon River (ARD), while the CPUE for Clupeidae (CL) covariates positively with the air temperature (TMAX2M) and negatively with the zonal wind component (u). Now the productivity of Loricariidae (LR), Pimelodidae (PI) and Sciaenidae (SC) indicates a direct relationship with the variance in the air unit (SPFH2M9 and inverse with the southerly wind component (v) and the flooding pulse (WL).

In the floodplain lake environment (Figure 8b), the RDA model indicated that in the fishery of Óbidos, the CPUE for Hypophthalmidae (HY) covariates positively with the seawater surface temperature on the continental platform of the Amazon (SSTA_AZ), minimum air temperature (TMIN2M) and ENOS (MEI) events. Productivity of Serrasalminidae (SR), Doradidae (DR), Sciaenidae (SC) and Cichlidae (CI) covariates negatively with the zonal wind component (u). Anostomidae (AN), Clupeidae (CL) and Loricariidae (LR) covariate positively with the Amazon River basin (ARD) and negatively with the zonal wind component (u). While the CPUE for Pimelodidae (PI) shows a direct relationship with the variation in the river basin (ARD) and inverse with large scale events indicated by the climatological indices GITA and MEI. Now Prochilodontidae (PC) covariates negatively with the air temperature (TMIN2M and TMAX2M), seawater surface temperature on the continental platform of the Amazon (SSTA_AZ) and events of the ENOS (MEI). In the fishery of Santarém, in floodplain lakes, productivity of Hypophthalmidae (HY) covariates positively with the Amazon River basin (ARD) and negatively with the seawater surface temperature on the Pará continental platform (SSTA_PA) and maximum air temperature (TMAX2M). The inverse has been confirmed for the CPUE for Anostomidae (AN) and Loricariidae

(LR). The CPUE for Serrasalmidae (SR) and Sciaenidae (SC) shows that they are directly related to surface runoff in the hydrographic basin (RUNOF) and inversely with the inter-hemispheric seawater surface Temperature Gradient in the Atlantic (GITA) and the flooding pulse (WL), while the productivity of Pimilodidae (PI) the contrary is noted. The CPUE for Cichlidae (CI) and Clupeidae (CL) also covariate positively with RUNOF. At Monte Alegre, the RDA model indicates for the floodplain lake environment that productivity of Hypophthalmidae (HY) covariates positively with the ARD and the GITA, and negatively with the minimum air temperature (TMIN2M) and surface temperature (TMP2M). Productivity of Prochilodontidae (PC) also covariates positively with GITA, but negatively with the potential evaporation (PEVPR), while the CPUE for Serrasalmidae (SR) is directly related to surface runoff (RUNOF). It is noted that the CPUE for Loricariidae (LR) and Clupeidae (CL) is also related to surface runoff, but inversely so. Doradidae (DR) covariates positively with the seawater surface temperature on the Amapá continental platform (SSTA_AP) and negatively with the flow of the river (ARD) and the GITA. Productivity of Cichlidae (CI) covariates positively with ENOS (MEI) events and negatively with the zonal wind component (u). Anostomidae (AN) and Pimelodidae (PI) show a direct relationship with SSTA_AP.



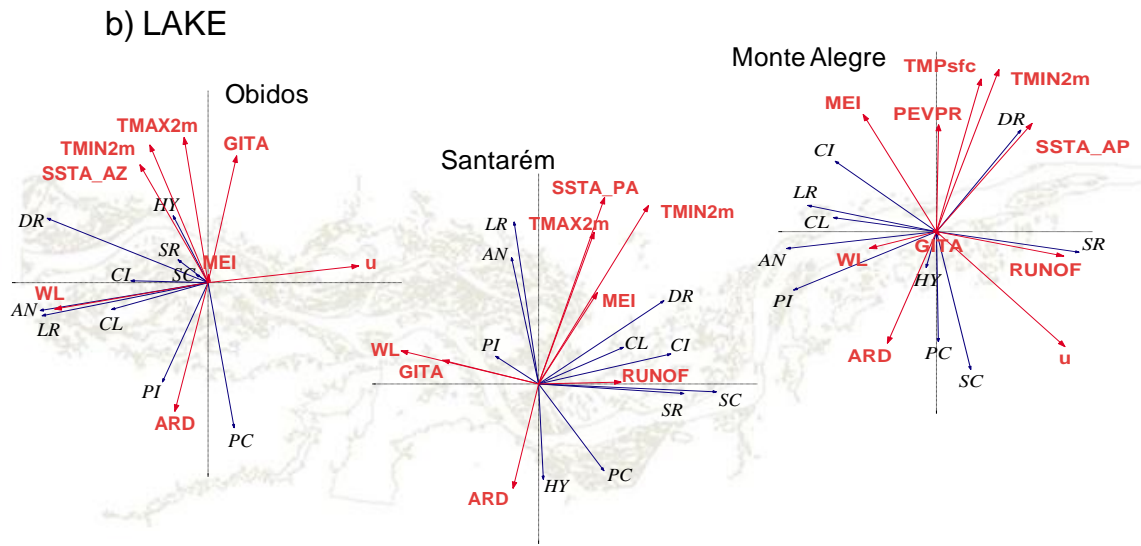


Figure 8. Graphic illustration of the RDA analysis results for the monthly average CPUE in the Lower Amazon (river and floodplain lakes) in relation to the anomalies in hydrometeorological variables.

(HY) Hypophthalmidae, (PI) Pimelodidae, (SC) Sciaenidae, (PC) Prochilodontidae, (LR) Loricariidae, (SR) Serrasalmidae, (AN) Anostomidae, (CI) Cichlidae, (CL) Clupeidae, (DR) Doradidae, (ARD) the Amazon River discharge, (WL) the Amazon river level, (u , v) zonal and meridional components of the wind, (TMPsfc) the soil temperature, (SPFH2m) specific humidity of the air at a height of 2 m, (SWSOILm) the soil moisture level, (LHF) the latent heat flux, (GITA) TSM Inter-Hemisphere Index on the Atlantic, (NAO) North Atlantic Oscillation Index, (MEI) Multivariate Climatic Index of ENSO events.

Discussion

Fisheries in the Lower Amazon are characterized precisely by having large areas of lotic environments, such as the Great lake of Monte Alegre, the Grande de Curuaí lake and the Parú lake. The landscape of the flow and dynamics of the flooding pulse in the Lower Amazon plays an important role in the life of the ichthyofauna in the Lower Amazon, regulating the availability of food and shelter, exerting an influence on reproduction, food and growth of many fish species [56, 62, 75-76]. Constant, increasing modifications of the landscape, change in river flows due to the construction of barriers and other alterations in their natural habitat, are viewed as

considerable threats, in the long term, to the ichthyofauna and to fisheries activity in this region [46, 76-78].

The hydrological cycle in the Lower Amazon is very much determined by the climate, and vice versa [59]. This cycle includes energy exchanges, transport of water vapour, rainfall, drainage, infiltration and diverse water storage mechanisms. All these phenomena depend on climate and determine the main characteristics of ecosystems which, in turn, affect the dynamics of the ichthyofauna. Climatic variability and the dynamics of the hydrological cycle in the Lower Amazon, as well as the characteristics of the landscape and the amount of aquatic environments and food available affect the distribution and ecology of the fisheries resources and, thus, the behaviour of the fisherman and the fish. But however, this behaviour is also affected by local culture and the growth of the macroeconomy. These are dynamic aspects, which present marked temporal variations.

Today we know that over time, the amount of water retained in the Amazon Basin has been altered, as well as the greater part of its surface plant coverage, due to long term geophysical factors [60]. Interannual variability of the flood pulse and other environmental parameters, such as air and surface temperature, have a considerable effect on the diversity of local fauna [61] and, as a result, on fisheries activity and production [62]. Higher temperatures reduce the solubility of oxygen in water, which may increase the demand for oxygen and food consumption of fish due to their increased metabolic rate. Increases in water temperature in the surface layer may also promote the survival of parasites and bacteria. These facts combine together can reduce survival, growth and reproductive success in fish populations [63].

Fluctuations in rainfall in the Amazon are partially associated with ENOS events. In years when El Niño occurs, there is a tendency to produce dry or accentuated ebb tide, while in years when La Niña occurs, flooding is intense [59, 64-68]. The duration and intensity of each period in the hydrological cycle are determining factors for the ichthyofauna that uses the flood plains, being able to compromise the success of recruitment and the survival of the species [69]. In the Amazon floodplain, the composition of fish communities each year has been related to the duration and intensity of the hydrological periods in previous years [62, 70-71]. The success or

otherwise of a reproductive strategy (seasonal, balanced or opportunist) and the survival of young individuals in the population of fish in the ebb tide is going to depend on the adaptation capacity of each species to the seasonal fluctuations of environmental variables [46, 72]. But the success of an annual class will also depend on the extent of the anomaly in the hydro-meteo-oceanographic variables and on how atypical the behaviour of the hydrological cycle was in the previous period.

Climatic variability has a direct effect on catch as it allows or hinders access to fishing locations to target fish species. The river-atmosphere-ocean system is linked to its effect on fish production and is different for each region in the Lower Amazon, for each family and for each target species. Temperature acts on fish growth: the field of winds, humidity, plant coverage and ENSO events promote or otherwise the availability of food, while the hydrographic basin, yield in the Amazon River and surface runoff indicate the extent of the flooded area. So, due to the ecological and behavioural complexity of these resources, the environmental variables individually or collectively affect the life cycle of fish fauna [73]. The year 1995 was characterized by an intense drought, leading to a considerable reduction in the aquatic environment. This left the ichthyofauna individuals more vulnerable. That year was considered to be anomalous since ENOS events were considered to be weak, there was an atypical increase in seawater surface temperature (TSM) in the Atlantic, a fall in the intensity of the trade winds accompanied by a reduction in water vapour transport in the eastern portion of the Amazon basin [59, 74]. In this period, a lower annual average CPUE occurred in the floodplain lakes. With this extremely dry event, accessibility to floodplain lake fishery environments as made difficult, stimulating fish productivity in the river. This fact is evidenced by the variability in the CPUE of the taxonomic family Hypophthalmidae.

Ichthyofauna in the floodplain lakes of the Lower Amazon have a complex behavioural dynamic. During the high tide period, following reproduction, larvae and/or young fish of many fish species are carried by the river current to the flooded areas [30, 46, 48-50], a free aquatic medium where they search for food and shelter against various types of predator. Even during the drought, adults move to the rivers since the aquatic environments are concentrated in the main channels [46]. This

particular dynamic is echoed in fish productivity and in the behaviour of the fishermen.

Ichthyofauna in the Amazon is extremely heterogeneous in terms of life forms, behaviours and adaptations, depending on the size of the aquatic ecosystem available [46], which is echoed in its catchability. Over 90% of the total catch of fish comes from the floodplains [51]. In different years, different groups of organisms may be more successful than others, considering their windows of opportunity [52] and phenological windows of susceptibility [53], leading to catch in the following periods being more productive with one or other target family.

At the start of the high tide, the level of the river is practically stable, with aquatic environments on the floodplain predominating where a substantial part of the ichthyofauna are dispersed, in search of food [21, 30-32, 50, 54-57]. Meanwhile, fishing is more difficult during this period, due to the reduced catchability of target species, because of the considerable dispersion of individuals, arising from the increase of habitats and shelters. During ebb tide, fish begin to group together, due to the contraction of the aquatic environment [16, 20]. In this period, catching is intense in the floodplain lakes and rivers. The flooded plain and forest are used by species of the families Pimelodidae and Sciaenidae since such fishes predate on other species that are leaving these areas during this period [18]. During the dry period, fish are forced to move to areas where water is abundant, in the river channels [43]. But not all the boats are able to operate in these environments. During this period, there is a concentration of catch in the river of Pimelodidae. At the end of the dry seas, fisheries production of Serrasalminidae (genus *Colossoma*) and Prochilodontidae (genus *Prochilodus*) is intensified. At high tide, catch is concentrated into target families of lake-living species that have a life cycle mainly in floodplain lakes or in associated lake systems [58], such as Pimelodidae (genera *Pimelodina* and *Pseudoplatystoma*), Sciaenidae (genus *Plagioscion*), Loricariidae (genus *Liposarcus*).

The complexity of the dynamics of multi-specific fishing, along with the lack of series of fisheries production data increase the difficulty in evaluating the impact of fishing on the stocks of these resources in the Amazon [39-40]. In this type of fishery, catch

levels tend to increase with an increase in effort, until stabilizing and not diminishing the same with an increase in effort [41]. Contrary to what is observed in fisheries with a single target species, which shows a linear drop proportional to the CPUE with an increased effort, the multispecific fishery CPUE behaves in a non-linear manner [42]. The same occurs with the annual average of fishing efforts (number of fishermen and fishing days), maintaining practically stable or reducing in the period from 1993 to 2003, the CPUE increased in Santarém, probably due to other factors related to technological advancements in the fishing fleet, such as the increase in the average size and engine power rating of the boats and/or ice storage and fish capacity [43], which increase fishing power.

Some species in the families Serrasalminidae, Pimelodidae and Scianidae are being caught in the Amazon in sizes below the average length of the first sexual maturation - L_{50} [42, 44, 45], this being able to compromise maintaining fish stocks in the region. A substantial threat to the sustainability of the fisheries resources in the region is the excessive concentration of fishing effort on just some target species [42]. In this regard, efforts to diversify the composition of the species caught may reduce the pressure on the species already highly exploited. Meanwhile, despite these considerations, the results of the analyses indicate that the fisheries resources in the Lower Amazon appear to be moderately exploited, i.e., below the maximum expected yield [42].

The results also foster the notion of classifying the fisheries into two large fishing categories, according to species and the environments explored, namely: 1) fishing in the river and 2) alternate fishing in floodplain lakes and in flood areas at high tide and in the river during the dry season [46]. Fishing in floodplain lakes, as opposed to fishing in the river, involves a low degree of specialization and occurs throughout the year [43]. The species caught in the river are extremely vulnerable, with a high risk of overexploitation since fishing is more specialized and fisheries production targets a small number of families and target species. In addition to this, since the main exploration area is the river, these species are not benefited by fishery agreements held by the coastal communities to protect floodplain lakes and flooded areas [47]. Furthermore, the fisheries of these species that move between flooded areas and rivers, depending on the hydrological cycle phase, have a greater plasticity and are

less vulnerable to the risk of overexploitation [46] and are protected under community fishery agreements. So, some management measures should consider these two categories in order to find differentiated solutions for the ordinance and sustainability of the activity.

Furthermore, it is evident that only fisheries regulation is not sufficient to obtain better yields in the activity. Alterations in the landscape have impacts on the climatic characteristics of the region and in the hydrological cycle. In this regard, deforestation causes direct and direct harm to the fish populations due to the reduction in the amount and diversity of food available and due to the alteration of the hydrological cycle. Scientific research demonstrates that a greater amount of forest leads to a greater amount of fish, with some species increasing their predominance in the communities [75, 76, 77, 78, 79]. So, for example, the substitution of forest for grazing land should cause changes in fish eating habits due to the reduction in the supply of fruits, seeds and other forms of organic matter originating in the forest. The impact of deforestation on the stability of the aquatic ecosystem is greater than that of fishing, and even on ichthyofauna species that do not depend directly on the forest, such as those in the family Pimelodidae [80]. The extent of degradation and modification of the plain landscape should worsen with the town and economic development in the Amazon, becoming a considerable threat to the environment in the long term, and may compromise aquatic and fish ecosystems in the region [81-83].

Conclusion

- ◇ Diverse small and medium scale events, such as air temperature, humidity, the duration and intensity of the hydrological cycle and the field of winds, as well as large scale events, measured by means of the MEI, NOA and GITA climatological indices, interact with the fishery dynamics in the study area.
- ◇ The taxonomic target groups in the fisheries show differences in the manner in which the monthly average CPUE varies with one or more environmental variable.
- ◇ Fishery productivity in the study area shows a large difference and different patterns between the floodplain lake and rivers systems. This variance occurs throughout the region of the Lower Amazon (longitudinal gradient) as well as laterally

in each fishery studied (latitudinal gradient), and depends on the ecological characteristics and life strategies of each target family considered.

◇ Apparently, the intensity of exploration is still moderate for fishing in the Lower Amazon.

◇ Conservation of the characteristics of the landscape and maintenance of hydric balance should be considered in the fish management plans.

Acknowledgements

I wish to thank CAPES for the financial support with a PhD sandwich scholarship (process 9894/11-0), the Federal University of Pará (UFPA), PROPESP/UFPA and FADESP for their financial support in publishing, to their Post-Graduate Programme in Aquatic and Fishing Ecology (PPGEAP), which made it possible to conduct this research, to the Ministry of Fisheries and Aquaculture of Brazil for releasing fish data, to the National Water Agency (ANA), to NOAA/NCEP for releasing orbital data and meteorological re-analyses and to the group in Marine Resources and Fisheries at the Faculty of Science in the University of A Coruña, and the Department of Evolutional Ecology at the National Museum of Natural Sciences (MNCN/CSIC) for the opportunity to conduct my PhD sandwich scholarship in Spain. My thanks also to Ian Emmett for the translation into English.

References

1. Freitas CEC, Rivas AAF (2006) A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Ocidental Cienc Cult [online] 58(3): 30-32. Available: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252006000300014&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0009-6725.
2. Janáč M, Ondračková M, Jurajda P, Valová Z, Reichard M (2010) Flood duration determines the reproduction success of fish in artificial oxbows in a floodplain of a potamal river. Ecology of Freshwater Fish 19: 644–655. doi: 10.1111/j.1600-0633.2010.00449.x

3. Tan X, Li X, Lek S, Li Y, Wang C, Li J, Luo J (2010) Annual dynamics of the abundance of fish larvae and its relationship with hydrological variation in the Pearl River. *Environmental Biology of Fishes* 88(3): 217-225.
4. da Rocha FC, Casatti L, Pereira DC (2009) Structure and feeding of a stream fish assemblage in Southeastern Brazil: evidence of low seasonal influences. *Acta Limnol Bras* 21(1): 123-134.
5. Suzuki HI, Agostinho AA, Bailly D, Gimenes MF et al. (2009) Inter-annual variations in the abundance of young-of-the-year of migratory fishes in the Upper Paraná River floodplain: relations with hydrographic attributes. *Braz J Biol* (on line) 69(2): 649-660. ISSN: 1519-6984. Available: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842009000300019>
6. Bailly D, Agostinho AA, Suzuki HI (2008) Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiaba river, upper Pantanal, Brazil. *River Res Applic* 24(9): 1218-1229.
7. Luz-Agostinho KDG, Agostinho AA, Gomes LC, Julio Jr HF (2008) Influence of flood pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Paraná River floodplain. *Hydrobiologia* 607(1): 187-198. doi: 10.1007/s10750-008-9390-4
8. Murchie KJ, Hair KPE, Pullen CE, Redpath TD et al. (2008) Fish response to modified flow regimes in regulated rivers: research methods, effects and opportunities. *River Res Applic* 24(2): 197-217. doi: 10.1002/rra.1058
9. Welcomme RL (2008) *Inland Fisheries: Ecology and Management*. John Wiley & Sons, Cornwall. 384 p.
10. Zeug SC, Winemiller KO (2008) Relationships between hydrology, spatial heterogeneity, and fish recruitment dynamics in a temperate floodplain river. *River Res Applic* 24: 90–102. doi: 10.1002/rra.1061

11. Welcomme RL, Winemiller KO, Cowx IG (2006) Fish environmental guilds as a tool for assessment of ecological condition of rivers. *River Res Applic* 22: 377–396. doi: 10.1002/rra.914
12. Craig JF, Halls AS, Barr JJF, Bean CW (2004) The Bangladesh floodplain fisheries. *Fisheries Res* 66(2-3): 271-286. doi:10.1016/S0165-7836(03)00196-6
13. Baran E, Van Zalinge N, Ngor Peng Bun (2001) Floods, floodplains and fish production in the Mekong Basin: present and past trends. pp. 920-932. In: Ahyaudin Ali et al. (Eds.) *Proceedings of the Second Asian Wetlands Symposium*, 27-30 August 2001, Penang, Malaysia. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia. 1116 p.
14. Marchetti MP, Moyle PB (2001) Effects of flow regime on fish assemblages in a regulated California stream. *Ecological Applic* 11: 530–539. Available: [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0530:EOFROF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0530:EOFROF]2.0.CO;2)
15. Vari RP, Malabarba LR (1998) Neotropical ichthyology: an overview. In: Malabarba LR, Reis RE, Vari RP, Lucena ZMS, Lucena CAS, editors. *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. Porto Alegre: Edipucrs, pp 1-11.
16. Barthem RB, Fabr e NN (2004) Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amaz onia. In: Ruffini ML, editor. *A pesca e os recursos pesqueiros na Amaz onia Brasileira*. ProVárzea, Manaus. pp 11-55.
17. Alonso JC, Fabre, N (2003) Spatial and temporal pattern of the population structure and current state of fishing exploitation of the dourada (*Brachyplatystoma flavicans*, Lichtenstein, 1819). In: LARS2 Large River Symposium (2^o: 2003: Phnom Penh, Cambodia). Available from: www.lars2.org/unedited_papers/unedited_paper/Alonso.pdf.
18. Barthem RB, Goulding M (1997) *The catfish connection: ecology, migration, and conservation of Amazon predators*. New York: Columbia University Press. 144 p.

19. Ruffino ML, Isaac VJ (1995) Life cycle and biological parameters of several Brazilian Amazon fish species. *The ICLARM Quarterly, Fishbyte Section* 8 (4): 40-45p.
20. Ribeiro MCLB, Petrere Jr M (1990) Fisheries ecology and management of the jaraqui (*Semaprochilodus taeniurus*, *S. insignis*) in Central Amazon. *Regulated Rivers: Res Manag* 5: 195-215.
21. Fabr e NN, Saint-Paul, U (1997) O ciclo hidrológico na Amazônia Central e sua rela o com o ciclo sazonal de crescimento do jaraqui de escama fina, *Semaprochilodus taeniurus*. *Cong Bras Limnologia, UFSCar, São Carlos*, p 154.
22. Loubens G, Panfili J (1997) Biologie de *Colossoma macropomum* (Teleostei: Serrasalminidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyol Explor Freshwaters* 8(1): 1-22.
23. Bayley PB (1988) Factors affecting growth rates of young tropical floodplain seasonality and density-dependence. *Environmental Biology of Fishes* 21: 127-142.
24. Kramer DL, Lindsey CC, Moodie GEE (1978) The fishes and the aquatic environment of the Central Amazon basin, with particular reference to respiratory patterns. *Can J Zoo* 56: 717-729.
25. Kn ppel HA (1970) Food of Central Amazonian fishes. Contribution to the nutrient-ecology of Amazonian rain-forest-streams. *Amazoniana* 2: 257-352
26. Isaac VJ, Silva CO, Ruffino ML (2004) A pesca no Baixo Amazonas. pp. 185–211. In: Ruffino, ML, editor *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazonia brasileira*. Manaus: ProVarzea/Ibama. 272 p.
27. Saint-Paul U (1994) Der neotropische  berschwemmungswald: Beziehung zwischen Fisch und Umwelt. Final report BMFT N 0339366A, BMFT, Bonn. 71 p.
28. Goulding M, Carvalho ML, Ferreira EF (1988) Rio Negro: rich life in poor water. The Hague: SPB Academic Publishing. 200 p.

29. Araujo-Lima CARM, Forsberg BR, Victoria R, Martinelli LA (1986) Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science* 234: 1256-1258.
30. Goulding M (1980) *The fishes and the forest. Explorations in Amazonian natural history.* Berkeley: University of California Press. 280 p.
31. Batista VS, Isaac VJ, Fabr e NN, Gonzalez, JCA (2012) Principais Recursos Pesqueiros: Varia es Espaço-Temporais e Rela es com o Ambiente. pp 135-206. In: Batista VSB, Isaac VJ, editors. *Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada.* Brasília: Ibama/ProVárzea. 276 p. ISBN: 978-85-7300-310-9
32. Ebisuzaki W, Kanamitsu M, Potter J, Fiorino M (1998) An Overview of Reanalysis-2. Proceedings of Climate Diagnostics Workshop, Miami, Florida. Available from: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis2/cdw98_abs.html.
33. Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, Yang S et al. (2002) NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis. *Bull Amer Meteor Soc* 83(11): 1631-1643.
34. Petrere Jr M, Giacomini HC, De Marco Jr P (2010) Catch-per-unit-effort: which estimator is best?. *Braz J Biol [on line]* 70(3): 483-491. Available: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842010005000010>.
35. Causton DR (1988) *Introduction to vegetation analysis.* London: Unwin Hyman. 342p.
36. Jongman RH, Ter Braak CJ, van Tongeren OF (1995) *Data analysis in community and landscape ecology.* New York: Cambridge University Press. ISBN: 0521475740
37. Ter Braak CJF (1995) Ordination. Cap. 5, p. 91-173. In: Jongman RHG, Ter Braak CJF, Van Tongeren OFR, editors. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology.* Cambridge University Press, New York. 299 p.
38. Ter Braak CJF, Smilauer P (2002) *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5).* Microcomputer Power, Ithaca.

39. Chuenpagdee R, Pauly D (2008) Small is beautiful? – A database approach for global assessment of small-scale fisheries. In: Nielsen J, Dodson JJ, Friedland K., Hamon TR, Musick J, Verspoor E, editors. Reconciling Fisheries with Conservation: Proceedings of the Fourth World Fisheries Congress. American Fisheries Society. Vancouver, pp. 575–584.
40. Welcomme RL (1999) A review of a model for qualitative evaluation of exploitation levels in multi-species fisheries. *Fish Manage Ecol* 6: 1–19.
41. Lorenzen K, Almeida O, Arthur R, Garaway C, Khoa S (2006) Aggregated yield and fishing effort in multispecies fisheries: an empirical analysis. *Can J Fish Aquat Sci* 63: 1334–1343.
42. Castello L, McGrath DG, Pieter S, Becka A (2011) Resource sustainability in small-scale fisheries in the Lower Amazon floodplains. *Fisheries Res* 110: 356–364. doi:10.1016/j.fishres.2011.05.002
43. Isaac VJ, Da Silva CO, Ruffino ML (2008) The artisanal fishery fleet of the Lower Amazon. *Fish Manage Ecol* 15: 179–187.
44. Alonso JC, Pirker LEM (2005) Dinâmica populacional e estado atual de exploração de piramutaba e dourada. In: Fabr e NN, Barthem RB, editors. O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba and dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/Pr -Várzea. pp. 19–26
45. Isaac VJ, Ruffino ML (1999) Dinâmica populacional do surubim tigre, *Pseudoplatystoma tigrinum* (Valenciennes, 1840) no Médio Amazonas (Siluriformes, Pimelodidade). *Acta Amazonica* 29: 463–476.
46. Isaac VJ, Fabr e NN, da Silva CO, Ruffino ML, Saint-Paul U (2012) Ecologia da Fauna Ict ica. Cap. 6, pp 201-246. In: Batista VS, Isaac, VJ, editors. Peixes e pesca no Amazonas: uma avalia o integrada. Brasília: Ibama/ProVárzea, 276 p. ISBN 978-85-7300-310-9

47. Isaac VJ, Ruffino ML, McGrath D (1998) The experience of community-based management of Middle Amazonian fisheries. In: *Crossing Boundaries: The Seventh Common Property Conference of the International Association for the Study of Common Property*. Vancouver: British Columbia University. Available: <<http://dlc.dlib.indiana.edu/archive/00000065/00/isaac.pdf>>
48. Araújo-Lima CARM, Oliveira EC (1998) Transport of larval fish in the Amazon. *J Fish Biology* 53 (Supl. A): 297-306.
49. Araújo-Lima CARM (1990) Larval development and reproductive strategies of Amazonian fishes. [PhD Thesis] University of Stirling, Escócia. 173 p.
50. Junk WJ (1984) Ecology of the várzea, floodplain of Amazon white water rivers. In: Sioli H, editor. *The Amazon – limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Monographiae Biologicae. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers. pp 215-243.
51. Petreire Jr M (1992) Pesca na Amazônia. Pará–Secretaria do Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Belém: Simdamazônia, Prodepa 72-78.
52. Gafny, S, Gasith, A (1999) Spatially and temporally sporadic appearance of macrophytes in the littoral zone of Lake Kinneret, Israel: taking advantage of a window of opportunity. *Aquatic Botany* 62: 249–267.
53. Junk WJ, Wantzen KM (2004) The flood pulse concept: new aspects approaches and applications – an update. pp 117-140. In: Welcomme RL, Petr T, editors: *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries: vol. 2*. Food and Agriculture Organization & Mekong River Commission. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok. RAP Publication 2004/16.
54. Sanchez-Botero JIS, Araujo-Lima CARM (2001) As macrófitas aquáticas como berçário para a ictiofauna da várzea do rio Amazonas. *Acta Amazonica* 31(3):437-448

- 55.Vieira EF, Isaac VJ, Fabr e NN (1999) Biologia reprodutiva do tambaqui *Colossoma macropomum* (Teleostei, Serrasalminidae) no Baixo Amazonas. Acta Amazonica. 29(4): 1-14.
- 56.Junk WJ (1997) General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. In: Junk WJ, editor. The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsing system.. Ecological Studies 126:3-20.
- 57.Lowe-McConnell RH (1987) Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge: University Press. 382 p.
- 58.Isaac VJ, Milstein A, Ruffino ML (1996) A pesca artesanal no Baixo Amazonas: análise multivariada da captura por espécie. Acta Amazonica 26(3): 185-208.
- 59.Pinaya WHD, Souza RB, Isaac VJ (2013) Climate and river-ocean-atmosphere systems interactions in the Lower Amazon region. Neste volume.
- 60.Souza JRS, Rocha EJP, Cohen JCP (2004) Evaluation of the anthropogenic impacts on the water cycle in Amazonia. Cap. 3. 37-56p. In: Aragón LE, Godt MC, editors. Issues of Local and Global Use of water from the Amazon, 3756. Montevideo: UNESCO.
- 61.Wantzen KM, Rothhaupt K-O, Mortl M, Cantonati M, Toth LG, Fischer P (2008) Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue. Hydrobiologia (Water-Level-Fluctuations) 613:1–4. DOI 10.1007/s10750-008-9466-1
- 62.Welcomme RL, Cowx IG, Coates D, B n  C, Funge-Smith S, Halls A, Lorenzen K (2010) Inland capture fisheries. Phil Trans R Soc B 365. doi: 10.1098/rstb.2010.0168.
- 63.Ficke AD, Myrick CA, Hansen LJ (2007) Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. Rev Fish Biol 17: 581–613. doi:10.1007/s11160-007-9059-5

64. Marengo JA (2004) Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theor Appl Climatol* 78: 79–96.
65. Coe MT, Costa MH, Botta A, Birkett C (2002) Long-term simulations of discharge and floods in the Amazon basin. *J Geophys Res* 107: 8044. Available: <http://dx.doi.org/10.1029/2001JD000740>
66. Nunes de Mello JA, Barros WG (2001) Enchentes e vazantes do rio Negro medidas no porto de Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica* 31(2): 331-337.
67. Richey JE, Nobre C, Deser C (1989) Amazon River discharge and climate variability: 1903 to 1985. *Science* 246: 101-103.
68. Welcomme RL (1985) River fisheries. *FAO Fish. Tech. Pap.* 262: 330.
69. Bittencourt MM, Amadio SA (2007) Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. *Acta Amazonica* 37(2): 303–308.
70. Merona B, Gascuel D (1993) The effects of flood regime and fishing effort on the overall abundance of an exploited fish community in the Amazon floodplain. *Aquat Living Resour* 6: 97-108.
71. Cunico AM, Graça WJ, Veríssimo S, Bini LM (2002) Influência do nível hidrológico sobre a assembléia de peixes em lagoa sazonalmente isolada da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Scientiarum* 24 (2): 383-389.
72. Wootton RJ (1984) Introduction: tactics and strategies in fish reproduction. In: Potts GW, Wootton RJ, editors. *Fish reproduction: Strategies and Tactics*. Londres: Academic Press. p.1-12.
73. Pinaya WHD, Lobón-Cérvia FJ, Souza RB, Isaac VJ (2013) Effect of hydrological and meteorological factors on small-scale fishing assemblies in the Lower Amazon. Neste volume.

- 74.Espinoza JC, Ronchail J, Guyot JL, Junquas C, Vauchel P, Lavado W, Drapeau G, Pombosa R (2011) Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. *Geophys Res Lett* 38: L13406. doi:10.1029/2011GL047862.
- 75.Junk, WJ, Bayley, PB, Sparks, RE (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. pp 110-127. In: Dodge, DP, editor. Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106 p.
- 76.Claro-Jr L, Ferreira E, Zuanon J, Araujo-Lima C (2004) Effects of flooded forest in the diet of three fish species in floodplain lakes of the Central Amazonia, Brazil. *Acta Amazonica* 34: 133–137.
- 77.Araujo-Lima CARM, Goulding M (1998) Os frutos do Tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá/ CNPq/ Rainforest Alliance. 186p.
- 78.Waldhoff D, Sant-Paul U, Furch B (1996) Value of fruits and seeds from the floodplain forests of central Amazonia as food resource for fish. *Ecotropica* 2: 143-156.
- 79.Goulding M (1980) The fishes and the forest. Explorations in amazonian natural history. Berkeley: University of California Press. 280p.
- 80.Roubach R, Saint-Paul U (1994) Use of fruits and seeds from Amazonian inundated forest in feeding trial with *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Pisces, Characidae). *J Appl Ichthyol* 10: 134-140.
- 81.Martelo J, Lorenzen K, Crossa M, McGrath DG (2008) Habitat associations of exploited fish species in the Lower Amazon river–floodplain system. *Freshwater Biology* 53: 2455–2464. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.02065.x

82. Raffles H, Wiklerprins MGA (2003) Further reflections on Amazonian environmental history: transformations of rivers and streams. *Latin American Research Review* 38(3): 165-187.
83. Saint-Paul U, Zuanon J, Villacorta MA, Garcia M, Fabre NN et al. (2000) Fish communities in central Amazonian white and blackwater floodplains. *Environmental Biology of Fishes* 57: 235–250.
84. Angelini R, Fabré NM, Silva-Junior UL (2006) Trophic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. *African J Agricultural Res* 1(5): 151-158.

CAPÍTULO 4

A PESCA DO MAPARÁ (*Hypophthalmus marginatus* and *H. edentatus*) NO BAIXO AMAZONAS E SUA RELAÇÃO COM A VARIABILIDADE CLIMÁTICA.

Artigo sendo elaborado para ser submetido para publicação no periódico ***JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY*** (*British Ecological Society, John Wiley & Sons*) (ISSN: 0021-8901 impresso; 1345-2664 online). Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista excetuando-se a fonte para fins de padronização do *layout* de apresentação desta tese.

THE FISHERY OF MAPARA CATFISH (*Hypophthalmus marginatus* - Valenciennes, 1840 and *H. edentates* - Spix & Agassiz, 1829) AND ITS RELATIONSHIP WITH CLIMATE VARIABILITY IN THE LOWER AMAZON

PINAYA, W.H.D.^{1*}; LOBÓN-CÉRVIA, F.J.²; PITA, P.³; FREIRE, J.³; SOUZA, R.B.⁴; ISAAC, V.J.¹

¹ Laboratório de Biologia Pesqueira e Manejo de Recursos Aquaticos – Universidade Federal do Pará – Av. Perimetral, 2685 –Terra Firme – Belém – PA – Brasil

² Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC – Madrid – Espanha

³ Centro Regional Sul – Instituto de Pesquisas Espaciais – Santa Maria – RS – Brasil

⁴ Facultad de Ciencias, Universidad A Coruña – A Coruña - Espanha

* Corresponding author:

Walter Hugo Diaz Pinaya

Laboratory of Fisheries Biology and Management of Aquatic Resources

Federal University of Pará (UFPA)

Av. Perimetral, 2651

Terra Firme, 66077-530, Belém, PA, Brazil

Phone: +55 91 32740599

Fax: +55 91 32740599

Email: wpinaya@ig.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é estudar a variabilidade espaço-temporal da captura de duas espécies do gênero *Hypophthalmus* (*Hypophthalmus marginatus* e *H. edentates*) em lagos de várzea do Baixo Amazonas e as relações da CPUE (Captura por Unidade de Esforço) com anomalias das variáveis do sistema rio-atmosfera-oceano, determinando a influência do ambiente sobre a pesca ou a capturabilidade desse recurso. Foram analisados dados de desembarque na região do Baixo Amazonas de janeiro de 1993 à dezembro de 2004. Foram empregadas técnicas de ondeleta, ondeleta cruzada e modelo aditivo generalizado (GAM) para análise das séries temporais. A produção pesqueira no Baixo Amazonas apresenta diferenças

de acordo com o local de pesca considerado (Óbidos, Santarém ou Monte Alegre). Cada local possui um conjunto de variáveis do sistema rio-atmosfera-oceano que contribui para sua variabilidade, dentre elas se destacam a vazão do rio Amazonas e eventos do ENOS. Somados a isso, em Óbidos a produtividade desse gênero está relacionada com a umidade do ambiente; em Santarém com o escoamento superficial e eventos de grande escala e em Monte Alegre com as temperaturas do ar e da superfície do mar.

Palavras-chave: pesca, várzea, lago, Baixo Amazonas, mudanças climáticas, *Hypophthalmus*.

Introdução

A bacia amazônica apresenta um complexo sistema de drenagens que contém rios, igarapés, lagos, canais e furos, os quais abrigam cerca de 20% de toda água doce da terra (Santos & Santos 2012). A região central dessa bacia, incluindo apenas o sistema Solimões/Amazonas e seus principais tributários, possui aproximadamente 8.500 lagos, correspondendo a 11% dos 62 mil km² de suas planícies inundáveis (Melack 1984). Apesar de sua importância, as zonas de várzea, são consideradas ainda subestimadas. Lagos são sistemas fechados, que consistem de um corpo de água definido. Os lagos são ecologicamente mais estáveis em relação aos rios.

A planície de inundação corresponde aproximadamente 2 % (100 mil Km²) do território da Amazônia brasileira (Vieira 1992) formando um mosaico paisagístico de ecossistemas diferenciados. O ciclo hidrológico é considerado um fator ecológico determinante para a vida na região de várzea, com alternância de fases terrestre e aquática, expansão e retração dos ambientes aquáticos e disponibilidade de alimentos. De 4 a 5 meses no ano, a maior porção dessa planície fica submersa, fazendo parte do ambiente aquático; em outro período, compõe o ambiente terrestre. Estas oscilações provocam constantemente forte estresse na biota e no homem amazônico, que desenvolveram os mais variados comportamentos adaptativos. Entretanto, a variabilidade meteo-oceanográfica também deve ser considerada, pois afeta a ictiofauna de maneiras distintas para cada espécie (Pinaya *et al.* 2013a, b, c). No Baixo Amazonas, na extensão do rio que vai dos municípios de Óbidos à Monte

Alegre estende-se uma planície aluvial afundada, caracterizada por lagos de várias dimensões, que cobrem parcial ou totalmente extensas áreas inundadas no período de cheia.

Na dinâmica do ciclo hidrológico, a enchente é mais lenta que a vazante; as águas demoram cerca de oito meses para atingir o seu nível máximo e vazam em apenas quatro (Stenberg 1998). A estação seca, que se estende de agosto a outubro, se caracteriza por um menor nível das águas, mínimas mensais de precipitação e máximas de insolação. Em anos de seca prolongada, a vegetação sofre com o stress hídrico, devido à intensa evapotranspiração do solo. Com o fim da estação seca (novembro a janeiro), em anos normais, ocorre a normalização da precipitação e a recuperação da umidade do solo. No trimestre fevereiro/março/abril ocorre a enchente e o período chuvoso, que é denominado localmente de “inverno”, no qual se registram menores temperaturas, precipitações superiores a 250 mm/mês, baixa insolação e baixa evapotranspiração (Pereira 2007).

Os pescadores ribeirinhos têm na pesca uma das suas principais atividades. Os moradores mudam os tipos de utensílios de pesca e o ambiente aquático a ser explorado, de acordo com a fase do ciclo hidrológico, para manter a eficiência da pesca (Batista *et al.* 1998). A técnica de pesca utilizada varia de uma estação para outra, em acordo com as espécies temporariamente mais abundantes (Pereira 1999).

Os produtos provenientes da pesca, na região amazônica, funcionam como fonte de recursos financeiros para a população das comunidades ribeirinhas, além de contribuírem da sua dieta alimentar (Isaac & Almeida 2011). No Baixo Amazonas, a pesca se diferencia de outras regiões do Brasil pela grande quantidade de espécies exploradas, e pela sua relação com a manutenção das comunidades ribeirinhas existentes na área, sendo principalmente de caráter artesanal e usando diferentes artes de pesca com diversos graus de especialização. Empregam ainda distintas estratégias quanto aos recursos e ao ambiente de pesca (Freitas & Rivas 2006).

Apesar da grande riqueza na composição da ictiofauna amazônica, 80 % dos volumes dos desembarques comerciais tem como base apenas de seis (6) a doze (12) espécies (Barthem & Fabre 2004). Essas espécies possuem estratégias para se adaptarem às mudanças sazonais nos ambientes que ocupam como rios e lagos

(Barthem & Fabre 2004). Isaac e colaboradores (2004) verificaram a existência de uma forte relação entre o ciclo hidrológico e a variabilidade de capturas durante o ano.

Os maparás *Hypophthalmus marginatus* e *H. edentatus* são Siluriformes de porte médio da família Pimelodidae. São considerados peixes reoflicos, pois dependem da correnteza do ambiente natural para realizar sua reprodução. A desova ocorre quando as águas no rio Amazonas atingem seu nível mais elevado (Carvalho 1980b). Espécie *r estrategista*, apresenta um ciclo de vida curto, com ritmo de crescimento rápido, alta mortalidade natural ($M = 0,55$) e expectativa de vida de 5,4 anos (Cutrim & Batista 2005). Possuem hábito alimentar e localização na coluna d'água peculiares, sendo planctófagos especialistas e pelágicos, diferente da maioria de outros Siluriformes que são carnívoros e demersais. Crustáceos planctônicos são um dos principais itens alimentares dessa espécie (Alcântara Neto 1994). Apresentam ampla distribuição na América do Sul, podendo ser encontrados na bacia amazônica (Araújo-Lima & Ruffino 2003), bacia do rio da Prata, Orinoco e em regiões costeiras da foz do rio Amazonas até o Suriname (Cutrim & Batista 2005). A pesca desse recurso corresponde a mais de 50 % do volume das capturas em lagos nos desembarques do Baixo Amazonas (Pinaya *et al.* 2013b, c), estando entre os mais importantes economicamente para a região. Além disso, por ser um recurso planctônico as espécies do gênero *Hypophthalmus* tem importante função ecossistêmica, representando os primeiros elos da cadeia trófica e servindo como alimento a vários peixes de topo de cadeia.

A várzea na Amazônia constituem um ambiente extremamente favorável para a atividade pesqueira, mas e está sujeito alternadamente à períodos chuvosos e secos. Padrões migratórios e o modo de vida em busca de um ambiente favorável para alimentação e reprodução determina a sazonalidade das capturas nesse reigão (Bittencourt & Cox-Fernendes 1990), contribuindo para a manutenção da sustentabilidade da pesca artesanal (Fischer, Chagas & Dornelles 1992). *Hypophthalmus* spp é capturado praticamente todo o ano em ambiente de lagos, mas com intensidade maior no início dos períodos enchente e vazante (Cerdeira *et al.* 2000).

Diferentemente de outros Siluriformes que são demersais e carnívoros, os peixes do gênero *Hypophthalmus* são estritamente pelágicos e planctófagos (Cutrim & Batista, 2005). Podem ocorrer em floresta inundada da várzea e em lagos de

águas abertas, onde floresta é escassa e habitam preferencialmente profundidade menor de 6,5 m (Martelo *et al.* 2008). Mas no período de migração desse gênero para a desova, quando formam cardumes e facilitam sua captura, eles migram na meia água ou mais próximo ao fundo, dificultando a determinação precisa de quando começa período (Araujo-Lima & Ruffino 2003).

Devido a esta importância, o presente trabalho tem como objetivo estudar o sistema de produção pesqueira que tem como alvo a captura dessas duas espécies de *Hypophthalmus*, em ambiente de lagos no Baixo Amazonas, relacionando o sucesso das pescarias com variáveis hidro-meteo-oceanográficas e determinando possível influência da variabilidade climática sobre a atividade pesqueira nessa região.

Material e Métodos

A área de estudo compreende os lagos de várzea da região do Baixo Amazonas, estado do Pará, Brasil, entre as latitudes 1°43'S – 2°37'S e longitudes 55°55'W – 53°46'W (Figura 1), numa extensão aproximada de 250 km de rio. Esta região foi subdividida em três porções, de acordo com os municípios de pesca: Óbidos, Santarém e Monte Alegre. Esta região é rica em lagos, dentre os quais se destacam: os lagos Grande do Curuaí e Grande de Maicurú (próximo de Monte Alegre).

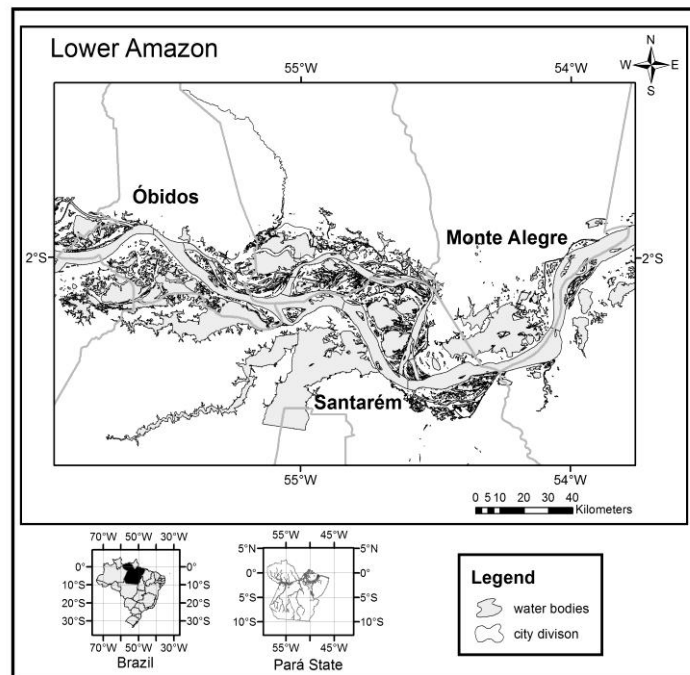


Figura 1: A área de estudo incluiu a região do Baixo Amazonas e a subdivisão em três municípios de pesca: Óbidos, Santarém e Monte Alegre (M). Limites dos municípios de pesca estão em cinza claro (linhas); o rio Amazonas e lagos de várzea em cinza escuro (polígonos).

Materiais

Dados de pesca

O conjunto de dados sobre a atividade de pesca utilizado neste trabalho foi obtido pelos projetos IARA e ProVarzea/IBAMA. Informações sobre a captura por espécie e esforço de pesca foram coletadas diariamente para cada viagem de pesca, por meio de entrevistas com os mestres ou responsáveis das embarcações que aportavam nos portos de desembarque pesqueiro na região estudada (Isaac *et al.* 2004). A série de dados de pesca compreende o período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004. Para este trabalho, foram selecionados do conjunto de dados todos os desembarques nos quais houve captura das espécies *Hypophthalmus marginatus* e *H. edentatus* e agrupados como gênero *Hypophthalmus*, por barcos motorizados que tem sua tripulação de pescadores própria (“barco pescador”) e que atuam com rede de emalhe. Com esta seleção, a série foi formada por 7.645 registros, para capturas em ambiente de lago, nos municípios de pesca de Óbidos,

Santarém e Monte Alegre. Esta seleção se justifica, pois sabe-se que a rede de emalhe é a principal arte de pesca do Baixo Amazonas para estas espécies e os barcos pescadores são as unidades mais representativas desta frota artesanal, responsáveis por mais 80 % de toda a produção pesqueira da região (Batista *et al.* 2012). Foi adotado município de pesca como unidade espacial, para reduzir o efeito da mobilidade da frota pesqueira na região de estudo.

Dados Hidrológicos

Os dados hidrológicos como vazão (ARD), cota (WL) dos rios e chuva (RF) na área de estudo foram obtidos através da ANA (Agência Nacional de Águas – www.ana.gov.br). As séries temporais mensais contemplaram o mesmo período dos dados de pesca, ou seja de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.

Dados meteorológicos e temperatura da superfície do mar

Os dados meteorológicos foram extraídos do banco NCEP/NCAR Reanalysis Project (*National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) *N/N Reanalysis* (Ebisuzaki *et al.* 1998) e *Reanalysis 2* (Kanamitsu *et al.* 2002). Foram usadas médias mensais distribuídas numa grade gaussiana, com resolução espacial de $1,8758^\circ \times 1,9058^\circ$. Para esse estudo incluímos dados de anomalias do vento a 10m da superfície (u e v), TMP2m (temperatura do ar a 2m), TMPsfc (temperatura superficial), PEVPR (taxa de evaporação potencial), RUNOF (escoamento superficial), TMAX2m (temperatura máxima do ar a 2m), TMIN2m (temperatura mínima do ar a 2m), SPFH2m (umidade específica do ar), SWSoilM (umidade do solo).

Para a temperatura da superfície do mar (TSM) a Plataforma Continental Norte do Brasil (PCN) foi dividida em 3 regiões: Plataforma Continental ao largo do estado do Pará (PA), em frente a foz do rio Amazonas (AZ) e ao largo do estado do Amapá (AP) e foi obtido através do conjunto de dados "*Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST Field*" processado processado com o algoritmo NLSST (*Non Linear Sea Surface Temperature*) disponível no banco de dados do projeto Pathfinder v.5. (PV5) desenvolvido pelo NODC (National Oceanographic Data Center) e RSMAS (Rosenstiel School of Marine and

Atmospheric Science – University of Miami). Esses dados possuem resolução especial de 4 km x 4 km, em uma grade regular e resolução temporal mensal.

Índices Climatológicos

Para correlacionar as possíveis variabilidades encontradas na pesca dessa região com eventos climatológicos e outras forçantes externas de grande escala foram utilizadas séries temporais de índices, a saber: Índice Multivariado do ENOS (*Multivariate ENSO Index - MEI*), Índice Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e Índice Gradiente Inter-Hemisférico de TSM no Atlântico (GITA).

As séries de dados meteo-oceanográficos, hidrológicos, índices climatológicos são formadas por anomalias mensais compreendidas entre janeiro de 1993 e dezembro de 2004. O lapso temporal utilizado para determinação dos dados hidrológicos foi de janeiro de 1975 a dezembro de 2005.

Métodos

CPUE (Captura por Unidade de Esforço)

A CPUE (mensal para cada município de pesca), definida como a quantidade de recurso pesqueiro capturado por uma unidade de esforço empregado na pesca, foi estimada utilizando a captura em toneladas e o esforço em número de pescadores x dias de pesca. A estimativa de CPUE se deu através da metodologia sugerida por Petrere & colaboradores (2010):

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i E_i}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

onde, C_i é a captura por viagem em um mês e área de pesca; E_i é o esforço para a mesma viagem, mesmo mês e município i é cada viagem de pesca. Optou-se pelo uso do método Jackknife, pois é recomendado para situações no qual há pouco conhecimento sobre o comportamento das variáveis, como na maioria dos estudos de pesca, bem como evitar o efeito que uma pesca anormal possa levar a uma estimativa errada da variância num mês (Petrere *et al.* 2010).

A CPUE por outro lado será considerada como relacionada não somente à captura do recurso, mas também a sua disponibilidade do ambiente de pesca, ou seja, tanto a sua capturabilidade (Q) como a sua abundância (A):

$$CPUE \equiv f(A, Q) \therefore$$

$$CPUE \propto Q \rightarrow Q \equiv f(\text{ambiente})$$

Análise Estatística

Coefficientes de correlações cruzadas foram estimados entre a produtividade da captura das duas espécies de *Hypophthalmus* por município de pesca na área de estudo e variáveis meteo-hidro-oceanográficas.

Por sua aplicabilidade aos dados não-estacionários, a análise de ondeleta está se tornando uma ferramenta popular para a análise de séries temporais ecológicas (Grenfell *et al.* 2001; . Keitt & Fisher 2006; Ménard *et al.* 2007; Keitt 2008). Análise de ondeleta cruzada é uma extensão da análise de ondeleta. Ela compara os espectros de ondeleta das duas séries temporais (Grinsted *et al.* 2004), permitindo a detecção das semelhanças nas flutuações locais das duas séries e a estimativa dos ângulos de fase entre estas flutuações. Para identificar os resultados significativos é usado um cone de influência ($p > 0,05$) a partir do ruído vermelho (Grinsted *et al.* 2004). O cone de influência sobre o periodograma indica a região não é influenciada pelos efeitos de borda. Ondeleta de coerência mede a coerência das flutuações em duas séries temporais, normalizando o espectro da ondeleta cruzada pelo produto dos dois espectros de ondeleta individual. Enquanto a análise de ondeleta cruzada enfatiza o espectro de potência comum de duas séries temporais, a ondeleta de coerência enfatiza as correlações entre as variações de duas séries, ou seja, a coerência das flutuações. Essa análise busca conhecer a correlação local das oscilações significativas observadas entre a CPUE e as variáveis ambientais.

O entendimento de como as espécies respondem a um futuro projetado de mudanças climáticas é de suma importância para seu manejo e conservação (Hannah *et al.* 2002). Verifica-se um aumento no uso de modelos aditivos generalizados (GAM) em estudos de impactos de mudanças climáticas (por exemplo, Thuiller 2004; Araújo *et al.* 2004; Leathwick *et al.* 1996). Modelos

estatísticos constituem ferramentas extremamente úteis para resumir e interpretar dados. GAM é uma extensão não paramétrica do modelo GLM (Heikkinen *et al.*, 2006). O ajuste, a seleção e a validação dos modelos GAM foram feitos com o pacote estatístico R, versão 2.9.2 (R Development Core Team, 2008), ajustado pelo pacote de rotinas *mgcv* (Wood, 2000). A CPUE foi a variável dependente e as variáveis hidro-meteo-oceanográficas foram as independentes. A seleção do modelo mais adequado foi feita primeiro de acordo com o AIC - critério de informação de Akaike (Akaike, 1973) e depois pela porcentagem de desvio explicado. O controle de resíduos foi através do uso da ferramenta *gam.check* e se empregou a ferramenta *predict* para obter inferências a partir do modelo definitivo.

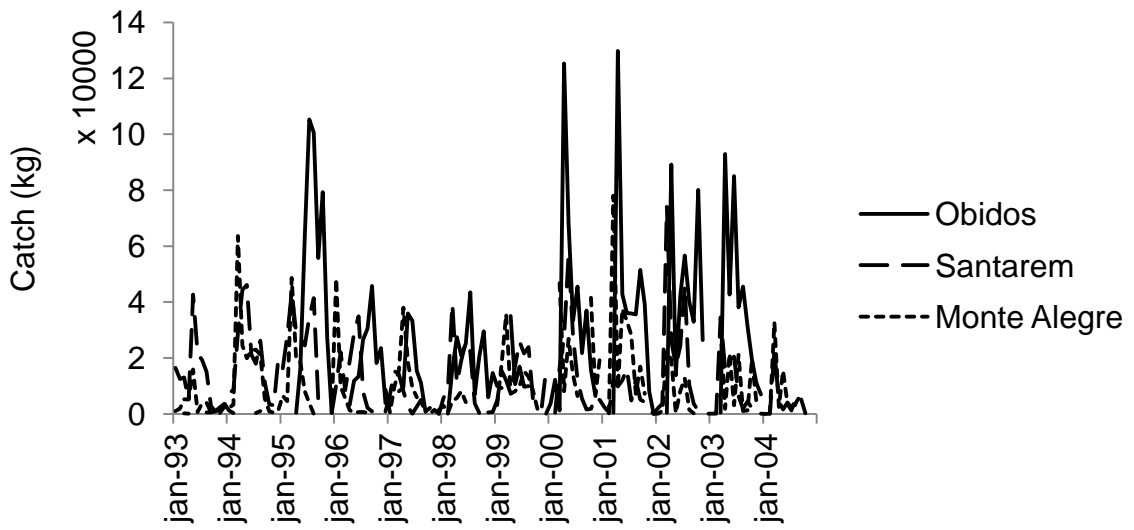
As correlações cruzadas foram feitas no *software* STATISTICA7.0[®], as ondeletas e ondeletas cruzadas com o Matlab7.0[®].

Resultados

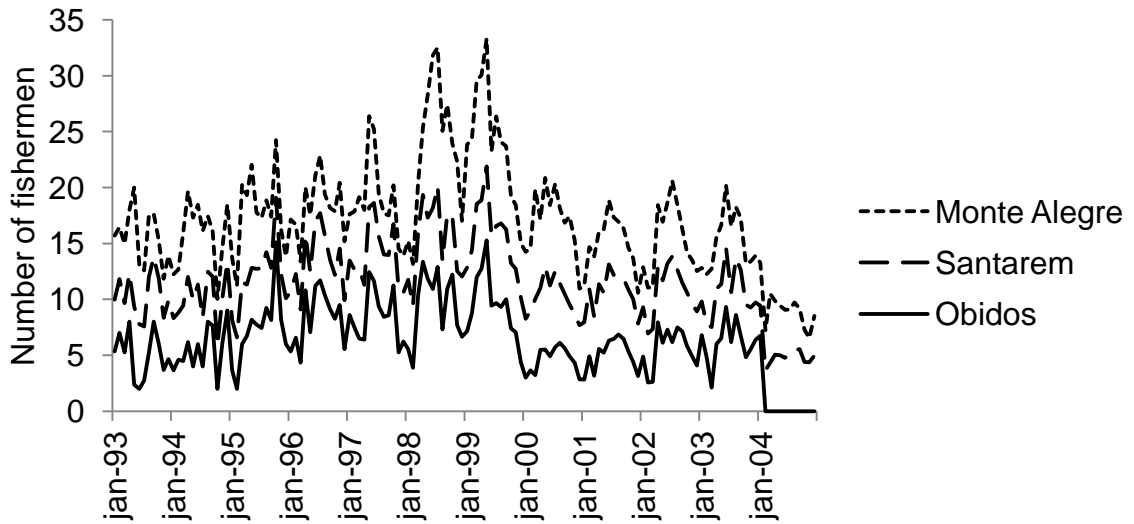
Produção Pesqueira

A produção pesqueira do gênero *Hypophthalmus* no Baixo Amazonas possui uma média de 43,2 toneladas/mês sendo 95 % realizada em lagos. As séries temporais de (a) produção pesqueira e esforço de pesca do gênero *Hypophthalmus*, como (b) número de pescadores e (c) dias de pesca estão apresentados na Figura 2. Os pesqueiros localizados no município de Obidos são os que mais contribuem na pesca em ambiente lacustre, com 18,2 toneladas/mês e CPUE média de 16,4 kg/pescador.dia. O esforço de pesca em lagos variou de 5 a 7 número de pescadores e de 4 a 7 dias de pesca. A média para a região do Baixo Amazonas durante o período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 foi 6 pescadores e 5 dias de pesca, para esse ambiente de pesca.

(a)



(b)



(c)

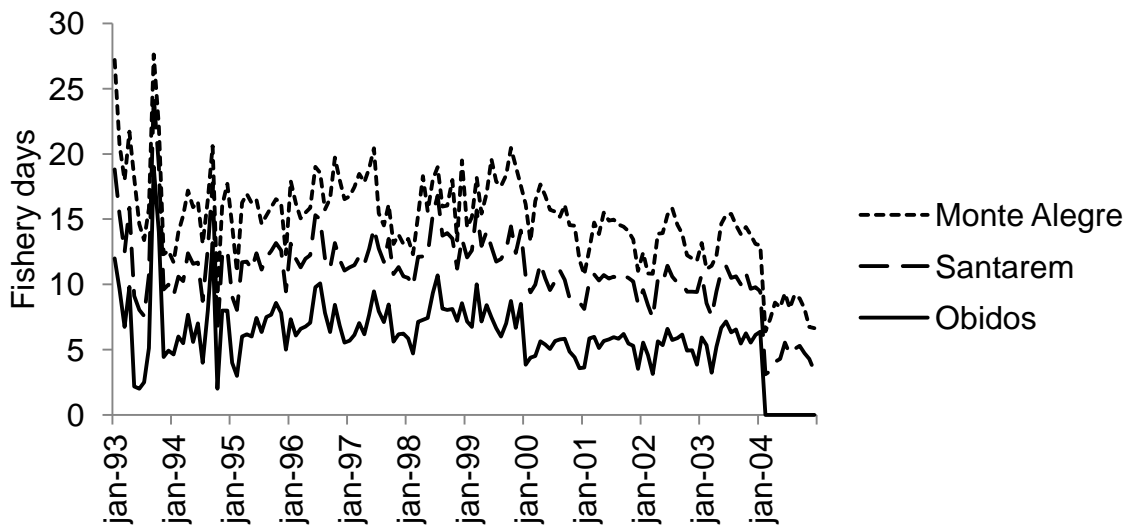


Figura 2: Série temporal da (a) produção pesqueira (kg.mês^{-1}) e do esforço de pesca como (b) número de pescadores e (c) dias de pesca de gênero *Hypophthalmus* para os municípios de pesca de Óbidos, Santarém e Monte Alegre da região do Baixo Amazonas. Período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.

Correlação Cruzada

A CPUE do gênero *Hypophthalmus* se correlacionou principalmente com 7 (sete) variáveis meteo-hidro-oceanográficas 7 (sete). Em todas as áreas de pesca analisadas, a produtividade de *Hypophthalmus* mostrou uma alta correlação com a variância dos eventos ENOS (El Niño e La Niña), com uma defasagem média de 34 meses. Para os pesqueiros de Obidos, a CPUE também se correlacionou significativamente com outras variáveis, i.e.: a vazão do rio Amazonas e o escoamento superficial; em Santarém foram o nível do rio Amazonas e a componente zonal do vento e em Monte Alegre se correlacionou significativamente com a temperatura do solo. A análise de correlação cruzada indica que a CPUE do gênero *Hypophthalmus* no município de Obidos está inversamente relacionada com a vazão do rio (ARD).

Tabela 5: Correlação cruzada entre CPUE do gênero *Hypophthalmus* em lagos por municípios de pesca de Óbidos, Santarém e Monte Alegre e variáveis ambientais como descarga do rio Amazonas (ARD), nível do rio Amazonas (WL), componente zonal do vento (u), temperatura do solo (TMPsfc), escoamento superficial (RUNOF), e índice multivariado dos eventos ENOS (MEI).

		ARD	WL	u	TMPsfc	RUNOF	MEI	
LAKE	OBIDOS	COR	-0.5			0.4	0.5	
		LAG	10			31	34	
	SANTAREM	COR		-0.5	0.5			0.7
		LAG		17	4			23
	MONTE ALEGRE	COR				0.4		0.6
		LAG				12		35

Ondeleta e Ondeleta Cruzada

O espectro de potência (TO) da CPUE de *Hypophthalmus* mostra dois principais núcleos de energia: anual e interanual (3 anos) (Fig. 2). O sinal anual é

principalmente significativo para os municípios de pesca de Óbidos e Santarém e especialmente para o período de 1995 a 1998. Enquanto que o sinal interanual (34-36 meses) é mais forte para Santarém e Monte Alegre.

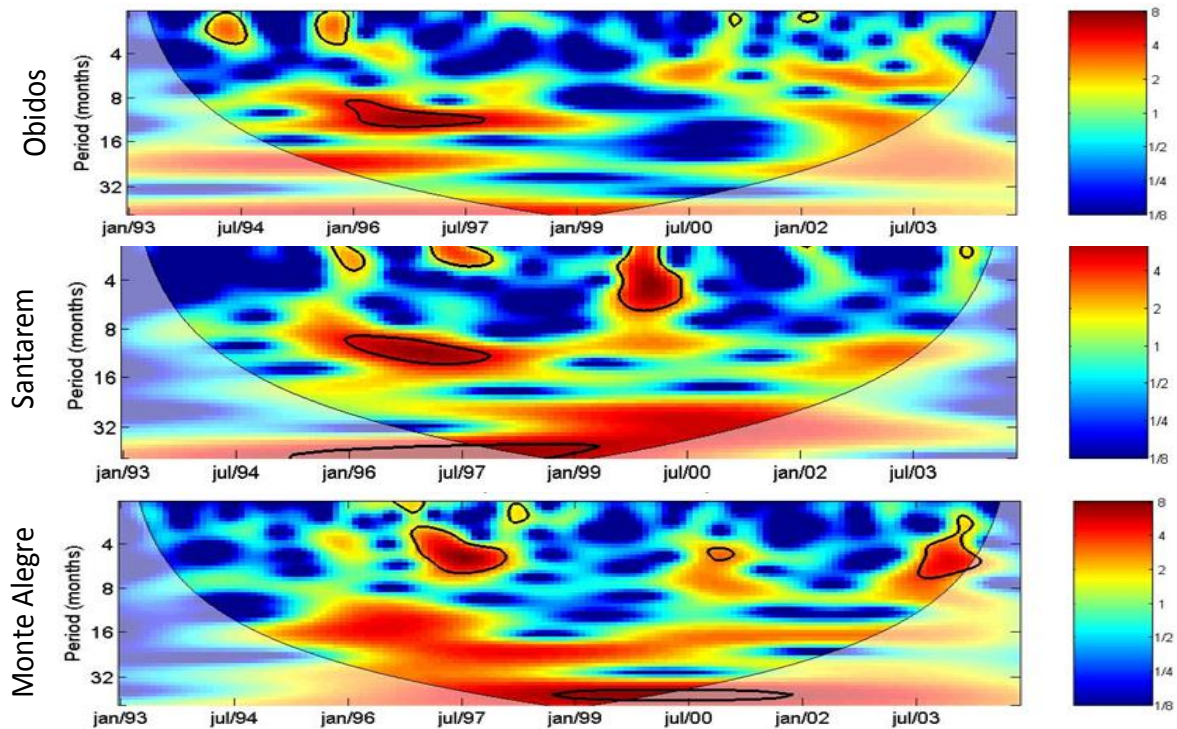


Figura 17: Série temporal da anomalia normalizada e espectro de potência da TO (direita) da CPUE de *Hypophthalmus* nos locais de pesca de Obidos, Santarem e Monte Alegre. Período de 1993 a 2004. O contorno preto e grosso designa o nível de confiança de 95% contra o ruído vermelho e do cone de influência (COI), onde os efeitos de borda podem distorcer, a imagem é mostrada como uma tonalidade mais clara.

A variabilidade comum entre a CPUE de *Hypophthalmus* em Obidos e eventos ENSO (MEI) indicada na ondeleta cruzada mostra um pico de energia predominantemente anual e em fase oposta (Fig. 3). Em Santarém e Monte Alegre o principal núcleo de energia é interanual (34-36 meses). O sinal da CPUE está avançado 135° em relação aos eventos ENOS, em Santarém, ou a CPUE de *Hypophthalmus* responde em aproximadamente 12 meses ($3/8$ do período) aos eventos do ENOS. Em Monte Alegre, fase da CPUE está avançada de 45° em relação à variabilidade dos eventos ENOS, ou seja, a CPUE responde em 9 meses

(1/4 do período) à variabilidade ENSO. O espectro de coerência mostra as mesmas fases que as observadas nas ondeletas cruzadas.

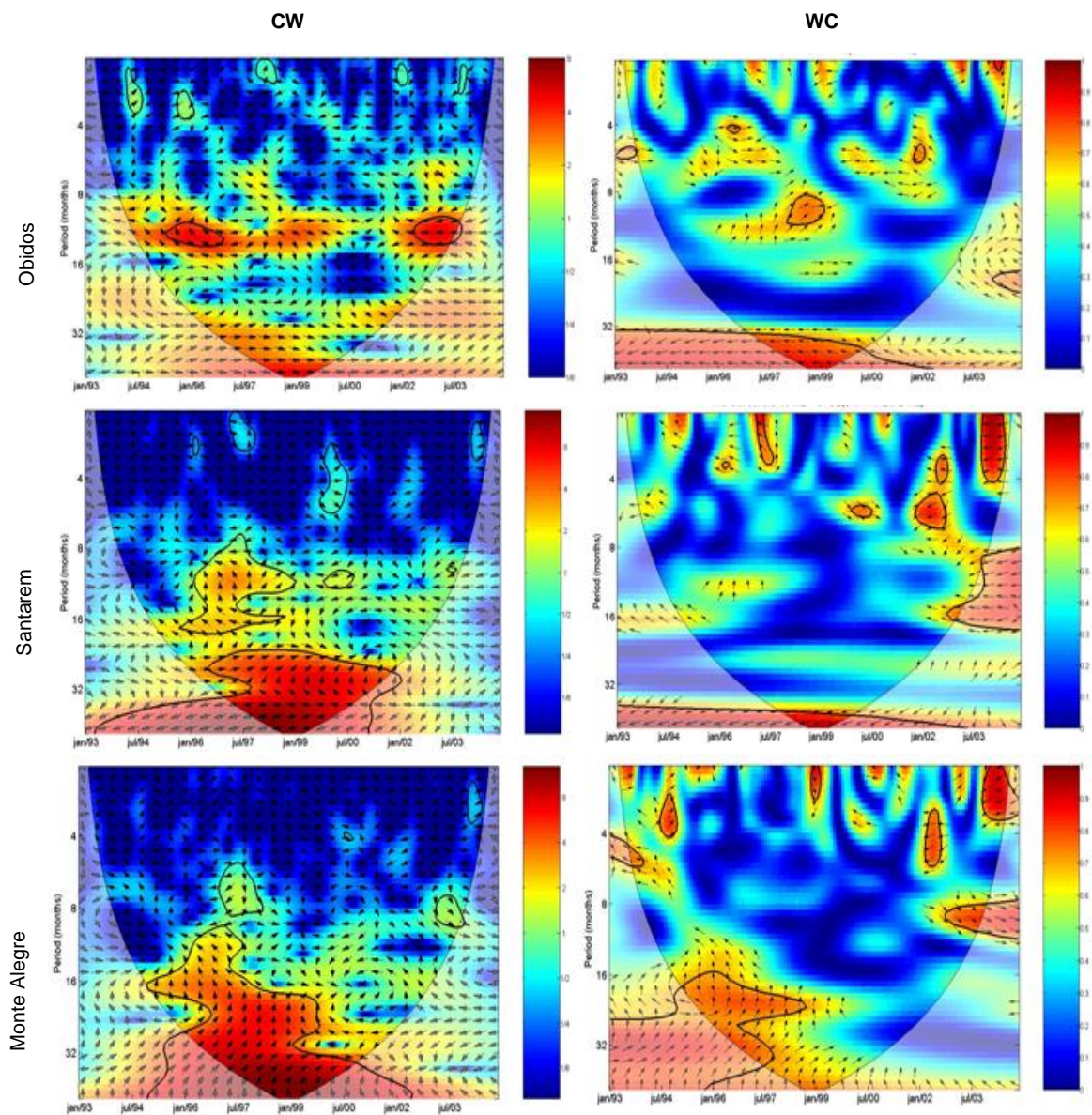


Figura 4: Ondeleta cruzada entre a CPUE de *Hypophthalmus* nos pesqueiros de Óbidos, Santarém e Monte Alegre para ambientes de lagos e eventos ENSO (MEI). O lado esquerdo representa a energia da ondeleta cruzada (cw) e o lado direito a ondeleta coerência (wc). Os contornos são para unidades da variância. Os 5% de significância contra o ruído vermelho é mostrado como um contorno espesso (cone de influência). A fase relativa é mostrada como vetores.

Modelo GAM

Obidos

O modelo GAM para lagos do município de Óbidos explica 35,2% da variância total da produtividade da pesca de *Hypophthalmus*. O modelo que mais se ajusta, considera o tempo (Time), as umidades do ar (SPFH2m) e do solo (SWSoilM) como as variáveis mais explicativas (Figura 4), sendo:

Response	Explanatory	Error distribution	Link	N	Deviance	df
Obidos	Time, SPFH2m, SWSoilM	Gaussian	Identity	108	35.2	8.77

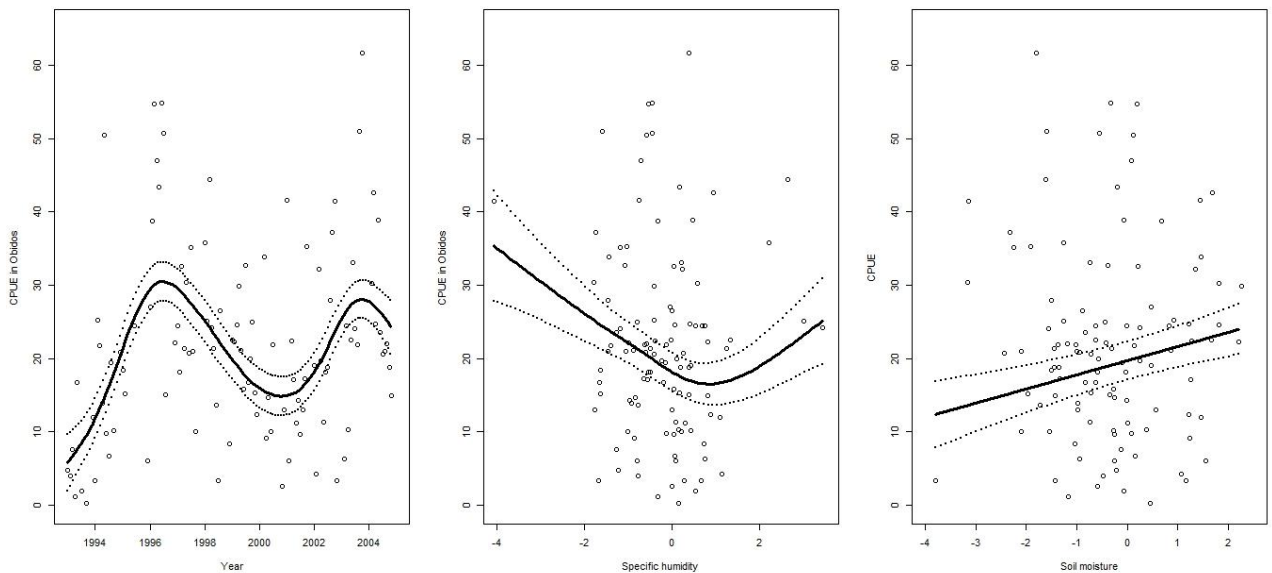


Figura 5: Representação gráfica do modelo GAM para CPUE de *Hypophthalmus* em ambiente lacustre nos pesqueiros do município de Óbidos. Considerando a variabilidade interanual (YEAR), a umidade do ar e do solo como o conjunto de variáveis mais explicativas do modelo. Linha contínua é a previsão da CPUE e linha pontilhada é o intervalo de confiança.

Santarém

Nos lagos de várzea de Santarém, o modelo GAM explica 33,7 % da variabilidade da CPUE de *Hypophthalmus*. A melhor opção desse modelo utiliza o tempo (Time), o escoamento superficial (RUNOF), o Gradiente Inter-hemisférico de Temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico (GITA) e a Oscilação do

Atlântico Norte (NAO) como o conjunto de variáveis que melhor constroem a série de CPUE (Figura 5), sendo:

Response	Explanatory	Error distribution	Link	N	Deviance	df
Santarém	Time, Runoff, GITA, NAO	Gaussian	Identity	136	33.7	8.92

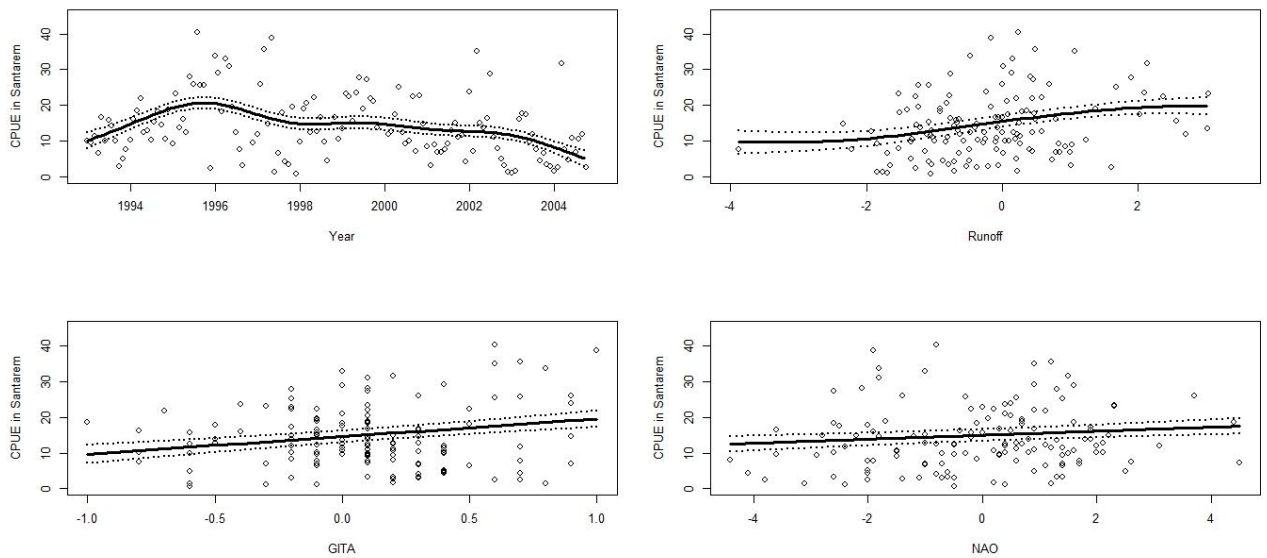


Figura 6: Representação gráfica do modelo GAM para CPUE de *Hypophthalmus* em ambiente lacustre nos pesqueiros do município de Santarém. Considerando a variabilidade interanual (YEAR), o escoamento superficial (RUNOFF), o Gradiente Inter-hemisférico de Temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico (GITA) e a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) como as variáveis mais explicativas. Linha contínua é a previsão da CPUE e linha pontilhada é o intervalo de confiança.

Monte Alegre

Nos lagos de várzea de Monte Alegre, o modelo GAM explica 36,5% da variância total da produtividade de *Hypophthalmus*. O modelo para esse município de pesca que melhor explica a variância da CPUE é alimentado com as variáveis tempo (Time), as temperaturas máxima (TMAX2m) e mínima (TMIN2m) do ar e as temperaturas da temperatura da superfície do mar na plataforma continental do rio Amazonas (SSTA_AZ) e do Pará (SSTA_PA) (Figura 6), sendo:

Response	Explanatory	Error distribution	Link	N	Deviance	df
Monte Alegre	Time, TMAX2m, TMIN2m, SSTA_AZ, SSTA_PA	Gaussian	Identity	112	36.5	9.9

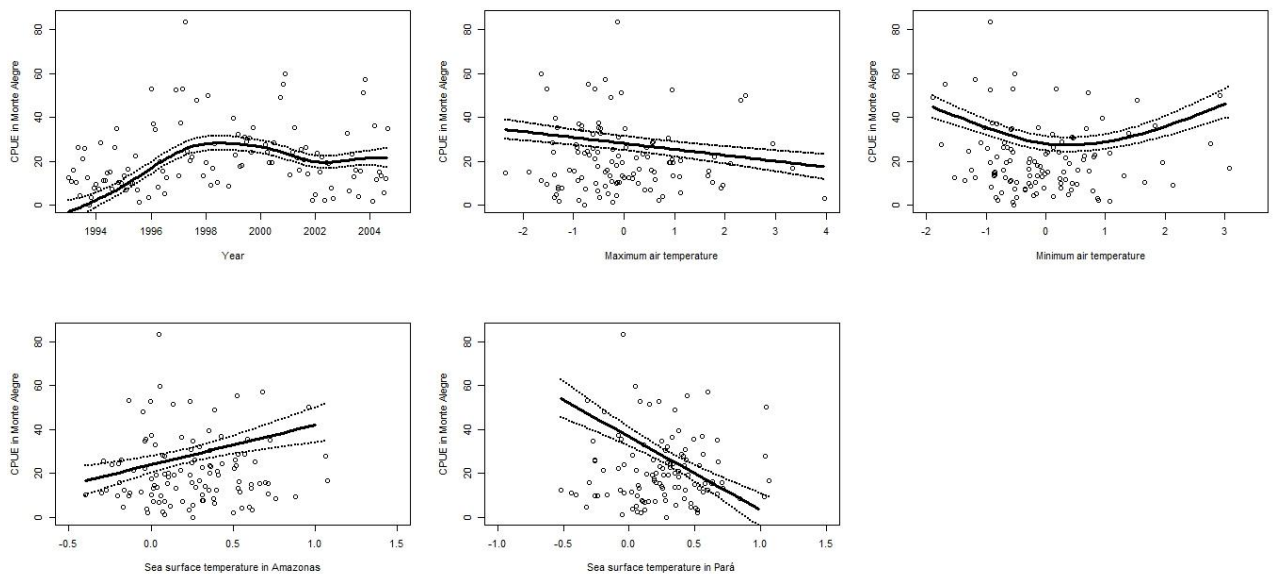


Figura 7: Representação gráfica do modelo GAM para CPUE de *Hypophthalmus* em ambiente de lagos na várzea do município de pesca de Monte Alegre. Os extremos de temperatura do ar (TMAX2m, TMIN2m) e a temperatura da superfície do mar na plataforma continental do Amazonas (SSTA_AZ) e do Pará (SSTA_PA) junto com a variabilidade interanual (YEAR) como as variáveis mais explicativas. Linha contínua é a previsão da CPUE e linha pontilhada é o intervalo de confiança.

Discussão

No sistema amazônico existe uma série de fatores e variáveis que influenciam a atividade pesqueira, dentre eles destacam-se os períodos de seca e enchente (Soares *et al.* 2008). A pesca comercial que incide principalmente sobre a captura de espécies migratórias no rio canais é principalmente realizada na época da seca (Cerdeira, Ruffino & Isaac 2000). Na cheia, quando a pesca no canal do rio é pobre e tecnicamente difícil, a frota da pesca comercial explora os lagos se concentrando sua produtividade em espécies como *Hypophthalmus* (Ruffino *et al.* 1999). A captura de peixes na várzeas ou lagos é feita durante o ano inteiro, oferecendo às famílias ribeirinhas a possibilidade de gerar receitas quase diária. Desempenha um papel

crítico como para as populações locais, que em grande parte dependem dessa atividade para acessar o dinheiro rapidamente (Béné *et al.* 2009).

A maior parte da pesca em águas interiores é de multiespecífica, apresentando relações múltiplas com os fatores naturais. Com isso, muitos modelos de avaliação pesqueira, que usam somente o esforço para explicar a sobrepesca são, de forma geral, inadequados (Welcomme *et al.* 2010) podendo ser aplicados apenas para pescarias de uma única espécie e em ambientes relativamente homogêneos e estáveis.

A importância da chuva e do escoamento superficial nos lagos de várzea cada ano dependerá da variabilidade do nível do rio Amazonas. Anos em que o nível do rio for menor que a média, a mistura da água nos lagos ocorrerá predominantemente pelas águas das chuvas locais e pelo escoamento; em outros anos o aporte fluvial será o maior contribuinte para essa mistura. Em 1997-1998, a água dos lagos em Óbidos era composta por uma mistura em relação ao ano anterior e as principais fontes de água foram precipitação e o escoamento superficial de bacias hidrográficas (Bonnet *et al.* 2008). Já o bienio 1999-2000, foi o período mais chuvoso e a água nos lagos era formada sucessivamente pela mistura de água do ano anterior até o final de dezembro, a mistura de água do lago foi composta principalmente de água do rio, com cerca de 81%, enquanto as chuva direta e escoamento superficial representaram 8 % e 9%, respectivamente. A contribuição anual águas subterrâneas para a água dos lagos é inferior a 5% d volume total (Bonnet *et al.* 2008). A drenagem da várzea na Amazônia vai de julho à novembro e o maior volume exportado ocorre de agosto à outubro. Assim o armazenamento de água na várzea começa entre novembro e janeiro e vai até maio-junho. O escoamento superficial (*runoff*) normalmente representa 20% da entrada total de água no Lago Grande de Curuai em Óbidos, onde a relação entre a captação local do lago e da superfície inundada máxima é de 1,6 para a várzea desse lago (Bonnet *et al.* 2008).

Durante a residência da água sobre as planícies de inundação na várzea amazônica, influenciada por padrões espaço-temporais do ciclo hidrológico, ocorrem diversas modificações biogeoquímicas, por exemplo: reações de adsorção e redox e processos bióticos (Melack *et al.* 2004; Richey *et al.* 1988 1989 1990; Seyler & Boaventura 2001 2003).

A ecologia de lagos de várzea na Amazonia está relacionada ainda com alterações na qualidade da água, mudanças na transparência da água, quantidade de oxigênio dissolvido e organismos residentes, o que pode favorecer o enriquecimento de nutrientes – eutrofização (Welcome *et al.* 2010). A poluição e a sedimentação são pressões adicionais para o desenvolvimento desses sistemas. Na várzea, alguns lagos reduzem muito sua área ou até mesmo secam quando os fluxos são reduzidos. No Baixo Amazonas lagos de pouca profundidade são totalmente influenciados pelo pulso de alagação do rio Amazonas e da várzea (Wantzen, Junk & Rothhaupt 2008). A intensidade do pulso de inundação interfere nos processos dos ecossistemas aquático e terrestre dependendo muito da morfologia da paisagem (Junk & Wantzen 2004; Wantzen, Junk & Rothhaupt 2008).

Em Ódibos as áreas alagadas são menos degradadas conservando a paisagem original e a produtividade de *Hypophthalmus* está relacionada com a umidade do ambiente. Em Santarém, essa produtividade é governada pelo escoamento superficial e eventos de grande escala. Já a região de Monte Alegre que é caracterizada por possuir lagos de água aberta, a produtividade pesqueira é mais susceptível as temperaturas do ar e da superfície do mar (Pinaya *et al.* 2013b, c).

A complexidade na dinâmica da ictiofauna dos lagos de várzea remete à intensidade do pulso de alagação, que caracteriza seu comportamento (Isaac *et al.* 2011). As larvas e alevinos dos peixes são carregados pela correnteza dos rios para as áreas inundadas durante a enchente (Araújo-Lima 1990; Petry 1989). Lá elas se distribuem ocupando a água livre, as águas sob macrófitas aquáticas e os capins flutuantes, ou a floresta alagada, onde os jovens encontram alimentação e proteção contra vários tipos de predadores. Na estação seca, os peixes se deslocam para o canal do rio, ou seja, as áreas com água abundante. As técnicas de pesca e a produtividade por espécie são um reflexo dessa dinâmica. A frota do Baixo Amazonas que tem atuação local se dedica à pesca de bagres em ambiente lótico na época de seca, mas também explora ambientes lacustres o ano todo, capturando principalmente *Hypophthalmus* durante a cheia. As redes de malha e de cerco são utilizadas para capturar espécies como o mapará do gênero *Hypophthalmus*, que ocorrem nos lagos de várzea (Isaac *et al.* 2012).

Os peixes do gênero *Hypophthalmus* apresentam dois anéis de crescimento, sendo o primeiro provavelmente relacionado ao estresse devido à migração

reprodutiva (Fev e Mar) e desova (Abr), e o segundo (Jun-Jul), ocorre no pico de cheia quando a inundação da várzea na planície e nos lagos causa dispersão do zooplâncton, sua principal fonte de alimento (Cutrim & Batista 2005; Carvalho 1980a, b; Brandorff 1978). Isto corrobora para definir a importância da dinâmica do sistema hidro-meteorológico tem sobre o sucesso de vida desses peixes. Nos lagos de várzea, a produção de fito e zooplâncton são maiores quando a carga de sólidos suspensos na água decanta e a água fica transparente (Isaac *et al.* 2011). Na vazante em lagos de várzea do rio Amazonas ocorre deposição de sedimentos finos e argilas, enquanto sedimentos grosseiros e areias finas são depositados durante o período de enchente- cheia (Irion *et al.* 1997). A erosão e deposição de sedimentos tem um efeito diferencial em diversos processos físicos e biológicos, incluindo, transporte e transformação de matéria orgânica e produção primária (Galat *et al.* 1998, Tockner *et al.* 2000). A quantidade de fito e zooplâncton disponível no ecossistema aquático amazônico dependerá da variabilidade climática na Amazônia somado a conservação da cobertura vegetal da floresta.

O ciclo sazonal e a variação interanual na precipitação da Bacia Amazônica estão ligados a variabilidade da temperatura da superfície do mar no Atlântico (Nobre & Shukla 1996; Marengo *et al.* 200; Pinaya *et al.* 2013a). Assim como, períodos de seca prolongada em parte da Bacia Amazônica, como o ocorrido no ano de 2005, tem sido creditado a um aquecimento anômalo no Atlântico Norte tropical (Marengo 2006). A variabilidade interanual do ciclo hidrológico interfere nas adaptações específicas das espécies da ictiofauna levando a uma variação na dominância de uma espécie na produção pesqueira em diferentes anos (Wantzen, Junk & Rothhaupt 2008).

A precipitação é muito importante para a sobrevivência de espécies como as do gênero *Hypophthalmus*, em anos que as chuvas são baixas pode haver comprometimento carreamento total de nutrientes para os lagos na Amazônia, mas por outro lado, a capturabilidade dessa espécie deve aumentar, já que esse recurso pesqueiro não poderá ficar tão disperso na planície de inundação. Modelos de circulação acoplada atmosférica-oceano tem mostrado que com as mudanças climáticas haverá uma redução na taxa de precipitação na Amazonia (Harris *et al.* 2008). O desmatamento da floresta em escala continental pode causar redução de precipitação regional e uma tendência a diminuição na vazão do rio Amazonas e aumento na duração da estação de seca (Coe *et al.* 2009). Acredita-se que a vazão

dos rios deverá diminuir entre 10 e 30 % em baixas e médias latitudes (Kundzewicz *et al.* 2008). A preservação e gestão sustentável da floresta de várzea é o maior desafio na proteção de várzea pois o tempo necessário para a recuperação desse ambiente é na escala de séculos (Junk *et al.* 2010).

Há evidências de que águas interiores estão se aquecendo, com impactos no escoamento superficial do rios que devam reduzir a disponibilidade de nutrientes para a zona eufótica e provocar uma queda na produção de fito e zooplâncton (Barange & Perry 2009). Essa queda na produção primária e secundária será devido também a mudança da paisagem da várzea resultando numa maior intensidade de luz que entra nos ambientes aquáticos dessa área. Na várzea do Baixo Amazonas tem ocorrido grandes modificações de habitat (Junk, Soares & Bayley 2007) quanto sua geomorfologia, uso do solo, uso hidrológico e cobertura vegetal e devendo aumentar com o desenvolvimento urbano (Raffles & Winklerprins 2003; Martelo *et al.* 2008) se tornando uma grande ameaça para a ictiofauna, na diversidade de peixes e no rendimento da pesca no Baixo Amazonas (Roth *et al.* 1996; Batista *et al.* 2000; Saint-Paul *et al.* 2000; Angelini *et al.* 2006).

Deverá ocorrer ainda mudanças na história de vida principalmente em espécies de vida curta através de alterações na fisiologia, morfologia e comportamento em por exemplo, pequenos peixes pelágicos (Barange & Perry 2009), como *Hypophthalmus*. O sucesso da estratégia reprodutiva garantirá a sobrevivência dos descendentes e representa o produto de processos de seleção natural e adaptação às oscilações sazonais das variáveis ambientais (Wootton 1984).

Outro fator que pode comprometer a sobrevivência dos estoques pesqueiros na Amazônia é a possibilidade de haver mudanças no ciclo hidrológico como resultado das mudanças climáticas, alterando a intensidade e duração das inundações e da seca (Barange & Perry 2009). Apesar da ictiofauna mostrar adaptações bem sucedidas quanto essa dinâmica do meio ambiente aquático garantindo o sucesso da desova e a sobrevivência das populações, quando tais mudanças se tornam muito constantes e com grande intensidade, as espécies provavelmente não terão tempo para incorporar essas mudanças a seu modo de vida, por podem ter ainda uma forte impressão e condicionamento do significado de “casa” de períodos anteriores e assim podem comprometer sua sobrevivência (Welcome 2012). Ou seja, atual variabilidade climática na Amazônia ora com evento de seca extrema e prolongada, ora com grandes inundações, intercalado com anos

“normais”, devem comprometer o sucesso de vida das espécies da ictiofauna de lagos, como peixes do gênero *Hypophthalmus*.

Portanto, impactos climáticos podem ainda ocorrer ao nível da população por meio de mudanças nos processos de transporte que influenciam a dispersão e recrutamento da ictiofauna. As mudanças mais rápidas nas comunidades de peixes deverá ser com as espécies pelágicas incluindo movimentos verticais para combater o aquecimento da superfície.

Conclusão

Todas as análises indicam que mais de um parâmetro ambiental do sistema rio-atmosfera-oceano se correlaciona de forma distinta com a variabilidade espaço-temporal da atividade pesqueira no Baixo Amazonas.

Diversos eventos de pequena e meso escalas, como por exemplo, a temperatura do ar, a umidade, a duração e intensidade do ciclo hidrológico e o campo de ventos, bem como eventos de grande escala, medidos através dos índices climatológicos MEI, NAO e GITA interagem com a dinâmica da pesca na área de estudos.

Existe uma variação espaço-temporal do padrão da pesca comercial ao longo da região do Baixo Amazonas. Cada município de pesca possui um conjunto de variáveis do sistema rio-atmosfera-oceano que contribui para essa variabilidade.

Pode-se dizer, portanto que a interação entre a paisagem, os ambientes aquáticos, a variabilidade climática e ciclo hidrológico no Baixo Amazonas determinam o comportamento do pescador e da pesca do *Hypophthalmus* com mudanças na forma e intensidade de exploração desse recurso em lagos de várzea.

Agradecimentos

Agradeço a CAPES pelo suporte financeiro com bolsa de doutorado, a Universidade Federal do Pará e ao seu Programa de Pós Graduação em Ecologia Aquática e Pesca (PPGEAP) que deram a oportunidade de fazer essa pesquisa, ao Ministério de Pesca e Aquicultura do Brasil pela liberação dos dados de pesca, a Agência Nacional das Águas (ANA), ao NOAA/NCEP pela liberação de dados

orbitais e de reanálises meteorológicas e ao grupo de Ecologia Evolutiva do Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid pela oportunidade de realização do meu estágio sanduiche na Espanha.

Referências bibliográficas

Akaike, H. (1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. *In*: Petrov, B.N. & Csaki, F. (eds.), 2nd international symposium on information theory. Akademiai Kiado, Budapest.

Alonso, J.C. & Fabre, N. (2003) Spatial and temporal pattern of the population structure and current state of fishing exploitation of the dourada (*Brachyplatystoma flavicans*, Lichtenstein, 1819). *In*: LARS2 Large River Symposium (2^o 2003 Phnom Penh, Cambodia). Disponível em: www.lars2.org/unedited_papers/unedited_paper/Alonso.pdf. Acesso em 18 de novembro de 2010.

Alonso, J.C. (2002) Padrão espaço-temporal da estrutura populacional e estado atual da exploração pesqueira da dourada *Brachyplatystoma flavicans*, Castelnau, 1855 (Siluriformes:Pimelodidae), no sistema Estuário-Amazonas-Solimões. Tese de Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais. Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, Amazonas. 242 p.

Angelini, R., Fabr e, N.N. & Lopes, U. (2006) Trophic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. *African Journal Agr. Research* **5**: 151–158.

Araújo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. & Williams, P.H. (2004) Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, **10**: 1618–1626.

Araújo-Lima, C.A.R.M., Agostinho, A.A. & Fabr e, N.N. (1995) Trophic aspects of fish communities in Brazilian River and Reservoirs. *In*: Tundisi JG, Bicudo CEM, Matsumura-Tundisi, T, eds. Limnology in Brazil, 105-136 p.

Araujo-Lima, C.A.R.M., Forsberg, B.R., Victoria, R., Martinelli, L.A. (1986) Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science*, **234**: 1256-1258.

Ayres, J.M. (1995) As matas de várzea do Mamirauá. MCT-CNPq- Programa do Trópico Úmido- Brasília – DF. CNPq. Sociedade Civil Mamirauá, Rio de Janeiro, Brazil. 123 p.

Barange, M. & Perry, R.I. (2009) Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. *In*: Cochrane, K., De Young, C., Soto, D., Bahri, T. (eds). Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 530. Rome, FAO. pp. 7–106.

Barthem, R.B. & Goulding, M. (1997) The Catfish Connection: Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators. Columbia University Press New York, NY, 144 p.

Barthem, R.B. & Fabr e, N.N. (2004) Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. *In*: A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira (Ruffini, ML ed.). ProVárzea, Manaus, Brazil. 11-55 p.

Batista, V.S., Freitas, C.E.C., Inhamuns, A.J. & Freire-Brasil, D. (2000) The fishing activity of the river people in the floodplain of the Central Amazon. pp. 417–432. *In*: Junk, W.J., Ohly, J., Piedade, M.T.F. & Soares, M.G.M. (Eds) The central Amazon floodplain: actual use and options for a sustainable management. Backhuys Publishers b.V., Leiden, The Netherlands.

Bayley, P.B. (1988) Factors affecting growth rates of young tropical floodplain seasonality and density-dependence. *Environmental Biology of Fishes*, **21**: 127-142.

B n , C., Steel, E., Luadia, B.K. & Gordon, A. (2009) Fish as the bank in the water—evidence from chronic poor communities in Congo. *Food Policy*, **34**, 104–118.

Bonnet, M.P., Barroux, G., Martinez, J.M., Seyler, F. et al. (2008) Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuaí). *Journal of Hydrology*, **349**: 18– 30. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.10.055

Brandorff, G.O. & Andrade, E.R. (1978) The relationship between the water level of the Amazon River and fate of the zooplakton population in lago Jacaretinga, a várzea lake in Central Amazon. *Stud. Neotropical Fauna Environment*, **13**: 63-70.

Carvalho, F.M. (1980a) Alimentação de Mapará (*Hypophthalmus edentatus* Spix 1829) do Lago Castanho, Amazonas (Siluriformes, Hypophthalmidae). *Acta Amazonica*, **10**(3): 545-555.

Carvalho, F.M. (1980b) Composição química e reprodução (*Hypophthalmus edentatus*, Spix 1829) do Lago Castanho, Amazonas (Siluriformes, Hypophthalmidae). *Acta Amazonica*. **10**(2): 379-389.

Cerdeira, R.G.P., Ruffino, M.L. & Isaac, V.J. (2000) Fish catches among riverside communities around Lago Grande de Monte Alegre, Lower Amazon, Brasil. *Fisheries Management and Ecology*. **7**: 355-374.

Coe, M.T., Costa, M.H. & Soares-Filho, B.S. (2009) The Influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River—land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, **369**: 165–174.

Cutrim, L. & Batista, V.S. (2005) Determinação de idade e crescimento do mapará (*Hypophthalmus marginatus*) na Amazônia Central. *Acta Amazonica*. **35**(1): 85–92.

Dobson, A.J. (1990) *An introduction to generalized linear models*. 2.ed. Chapman & Hall, New York, NY.

Downing, J. & Duarte, C.M. (2009) Lakes (formation, diversity, distribution): abundance and size distribution of lakes, ponds and impoundments. *Encyclopedia of inland waters* (editor-in-chief: G.E. Likens), pp. 469–478. ISBN: 978-0-12-370626-3.

Fabré, N.N. & Saint-Paul, U. (1997) O ciclo hidrológico na Amazônia Central e sua relação com o ciclo sazonal de crescimento do jaraqui de escama fina, *Semaprochilodus taeniurus*. Congresso Brasileiro de Limnologia, UFSCar, São Carlos. 154 p.

Fabré, N.N. & Alonso, J.C. (1998) Recursos Ícticos no Alto Amazonas: Sua Importância para as populações ribeirinhas. *Boletim Museo Pará Emílio Goeldi, Série Zoologia*, Belém-PA. **14**(1): 19-55.

Fabré, N.N., Donato, J.C. & Alonso, J.C. (eds.) (2000) Bagres de la Amazonia Colombiana: Um Recurso sin Fronteiras. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá, Colombia. 253 p.

FAO-COPESCAL (2000) Informe del taller regional sobre el manejo de las pesquerías de bagres migratorios del Amazonas (Iquitos-Perú). Informe de campo F-5: Comisión de pesca continental para América Latina. FAO. Roma. 103 p.

Fischer, C.F.A., Chagas, A.L.G.A. & Dornelles, L.D.C. (1992) Pesca de águas interiores. Coleção Meio Ambiente, Série Estudos de Pesca 1. IBAMA, Brasília, Brazil. 29 p.

Forsberg, B.R., Araujo-Lima, C.A.R.M., Martinelli, L.A., Victoria, R.L. & Bonassi, J.A. (1993) Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. *Ecology*. **74**: 643-652.

Galat, D.L., Fredrikson, L.H., Humburg, D.D., Bataille, K.J., *et al.* (1998) Flooding to restore connectivity of regulated, large-river wetlands. *BioScience*, **48**: 721-733.

Gallo, R.G. (2000) *Situación del manejo de las pesquerías de grandes bagres migratorios amazónicos en el Perú*. Taller sobre manejo de las pesquerías de bagres migratorios del amazonas. COPESCAL. 4-9 de octubre, Iquitos, Peru.

Gauch, H.G. (1982) Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press, New York, NY. 298 p.

Cazelles, B., Chavez, M., Berteaux, D., Ménard, F., Vik, J.O., Jenouvrier, S. *et al.* (2008). Wavelet analysis of ecological time series. *Oecologia*, **156**: 287–304.

Gilmore, R.M. (1986) Fauna e Etnozoologia da América do Sul Tropical, p189-233. *In*: Ribeiro D (ed.). Suma Etnológica Brasileira. FINEP, Petrópolis, Brazil. **1**: 189-234.

Grenfell, B.T., Bjørnstad, O.N. & Kappey, J. (2001) Travelling waves and spatial hierarchies in measles epidemics. *Nature*, **414**: 716–723.

Grinsted, A., Moore, J.C. & Jevrejeva, S. (2004) Application of cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Process Geophys*, **11**: 561–566. Doi: 1607-7946/npg/2004-11-561.

Hannah, L., Midgley, G.F. & Millar, D. (2002) Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology & Biogeography*, **11**: 485-495.

Harris, P.P., Huntingford, C. & Cox, P.M. (2008) Amazon Basin climate under global warming: the role of the sea surface temperature. *Phil. Trans. Royal Society British* **363**: 1753-1759. doi: 10.1098/rstb.2007.0037

Hastie, T.J. & Tibshirani, R.J. (1990) *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall/CRC. ISBN 978-0-412-34390-2.

Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W. & Sykes, M.T. (2006) Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, **30**(6): 751–777. DOI: 10.1177/0309133306071957.

Junk, W.J. (1997) General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. *In*: The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsing system (Junk, WJ ed.). *Ecological studies*, **126**: 3-20.

Junk, W.J. & Wantzen, K.M. (2004) The Flood Pulse Concept: New Aspects, Approaches, and Applications—An Update. In Welcomme R, T. Petr (eds), Proceedings of the 2nd Large River Symposium (LARS), Phnom Penh, Cambodia [Food and Agriculture Organization & Mekong River Commission. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok. RAP Publication 2004/16: 117–149.

Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Wittmann, F. & Schöngart, J. (2010) The Role of Floodplain Forests in an Integrated Sustainable Management Concept of the Natural Resources of the Central Amazonian Várzea. *In*: Junk, W.J. et al. (eds.), Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management, *Ecological Studies*, 210, Springer Science+Business Media B.V. DOI 10.1007/978-90-481-8725-6_23.

Knoppel, H.A. (1970) Food of central Amazonian fishes. Contribution to the nutrientecology of Amazonian rain-forest-streams. *Amazoniana*. **2**: 257-352.

Kramer, D.L., Lindsey, C.C. & Moodie, G.E.E. (1978) The fishes and the aquatic environment of the central Amazon basin, with particular reference to respiratory patterns. *Canadian Journal of Zoology*, **56**: 717-729.

Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnel, N.W., Döll, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Şen, Z. & Shiklomanov, I. (2008) The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences I*, **53**: 3–10.

IBAMA (2007) Estatística da pesca 2007 - Grandes regiões e unidades da federação. IBAMA, Brasília, Brazil. 151 p.

Irion, G., Junk, W.J. & de Mello, J.A.S.N. (1997) The large central Amazonian river floodplains near Manaus: geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects. *In*: Junk, W.J. (eds) The Central Amazon Floodplain. Springer-Verlag, New York, NY; pp 23-46.

Isaac, V.J., Almeida, M.C. (2011) El consumo de pescado en la amazonía brasileña. FAO COPESCAL Documento Ocasional, **13**:,1-43.

Isaac, V.J., Milstein, A. & Ruffino, M.L. (1996) A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazônica*. **26**(2): 185-208.

Isaac, V.J., Ruffino, M.L. & Milstein, A. (1998) Fisheries ecology in the Lower Amazon: A typical artisanal practice in the tropics. *Ecotropica*. **4**: 99-114, 1998.

Isaac, V.J., Fabre, N.N., da Silva, C.O., Ruffino, M.L. & Saint-Paul, U. (2012) Ecologia da Fauna Ictíca. Cap. 6, p 201-246. *In*: Batista, V.S. & Isaac, V.J. (Org.) Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada. Ibama/ProVárzea, Brasília, Brazil. 276 p. ISBN 978-85-7300-310-0

Leathwick, J.R., Whitehead, D. & McLeod, M. (1996) Predicting changes in the composition of New Zealand's indigenous forests in response to global warming: a modelling approach. *Environmental Software*, **11**: 81–90.

Loubens, G. & Panfili, J. (1997) Biologie de *Colossoma macropomum* (Teleostei: Serrasalminidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyology Explor. Freshwaters*, **8** (1): 1-22.

Martelo, J., Lorenzen, K., Crossa, M. & McGrath, D.G. (2008) Habitat associations of exploited fish species in the Lower Amazon river–floodplain system. *Freshwater Biology*. **53**: 2455–2464.

McCune, B. & Mefford, M.J. (1999) Multivariate analysis of ecological data. MjM Software, Gleneden Beach, USA.

Meggers, B. (1977) Amazônia: a ilusão de um paraíso. Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, Brazil. 207 p.

Melack, J.M. (1984) Amazon Floodplain Lakes: Shape, Fetch and Stratification. *Verh. International Verein. Limnology*, **22**: 1278-1282.

Ménard, F., Marsac, F., Bellier, E. & Cazelles, B. (2007) Climatic oscillations and tuna catch rates in the Indian Ocean: a wavelet approach to time series analysis. *Fishery Oceanography*, **16**: 95–104.

Nelder, J.A. & Wedderburn, R.W.M. (1972) Generalized linear models. *Journal R Stat Society American*, **135**: 370-384.

Nikolsky, G.V. (1969) Theory of fish population dynamics as the biological background for rational exploitation and management of fishery resources. Oliver & Boyd, Edinburgh. 323 p.

Pinaya, W.H.D., Souza, R.B. & Isaac, V.J. (2013a) Climate and river-ocean-atmosphere systems interactions in the Lower Amazon region. Neste volume.

Pinaya, W.H.D., Lobón-Cérvia, F.J., Souza, R.B. & Isaac, V.J. (2013b) Effect of hydrological and meteorological factors on fish assemblies caught by small-scale fishery in the Lower Amazon Neste volume.

Pinaya, W.H.D., Lobón-Cérvia, F.J., Souza, R.B., Freire, J., Pitta, J. & Isaac, V.J. (2013b) Multispecies fishery in the Lower Amazon and its relations with regional and global climate variability. Neste volume.

Ribeiro, M.C.L.B. & Petrere Jr, M. (1990) Fisheries ecology and management of the jaraqui (*Semaprochilodus taeniurus*, *S. insignis*) in central Amazônia. *Regulated Rivers: Research and Management*, **5**: 195-215.

Richey, J.E., Devol, A.H., Wofsy, S.C., Victoria, R., Ribeiro, M.N.G. (1988) Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters. *Limnology Oceanography*, **33** (4): 551–561.

- Richey, J.E., Mertes, L.A.K., Dunne, T., Victoria, R., Forsberg, B.R., Tancredi, A.C.F.N.S. & Oliveira, E. (1989) Source and routing of the Amazon River flood wave. *Global Biogeochemistry Cycles*, **3**(3): 191–204.
- Richey, J.E., Hedges, J.I., Devol, A.H., Quay, P.D., Victoria, R., Martinelli, L. & Forsberg, B.R. (1990) Biochemistry of carbon in the Amazon river. *Limnology Oceanography*, **35**(2): 352–371.
- Roth, N.E., Allan, J.D. & Erickson, D.L. (1996) Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. *Landscape Ecology*, **11**: 141–156.
- Ruffino, M.L., Isaac, V.J. (1995) Life cycle and biological parameters of several brazilian amazon fish species. *The ICLARM Quartely, Fishbyte Section*. **8**(4):40-45p.
- Saint-Paul, U., Zuanon, J., Villacorta, M.A., Garcia, M., Fabré, N.N., Berger, U. & Junk, W.J. (2000) Fish communities in central Amazonian white- and blackwater floodplains. *Environmental Biology of Fishes*. **57**: 235–250.
- Santos, G.M. & Santos, A.C.M. (2005) Sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos Avançados*. **19**(54): 165-182.
- Seyler P, Boaventura GR (2001) Trace elements in the mainstream Amazon River. In: McClain ME (Ed.) *The Biochemistry of the Amazon Basin*. Oxford University Press, Oxford, UK, p. 534.
- Seyler, P., Boaventura, G.R. (2003) Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. *Hydrology Process*, **17**: 1345–1361.
- Soares, E.C., Teixeira, C.V., Oliveira, A.C., Parise, M. & Pinto, W.H.A. (2008) Avaliação da pesca através do banco de estatística e SIG na região de Santarém, estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira Engenharia Pesca*, **3**(1)
- Tockner, K., Malard, F. & Ward, J.V. (2000) An extension of the flood pulse concept. *Hydrology Process*, **14**: 2861-2883.

Thuiller, W. (2004) Patterns and uncertainties of species range shifts under climate change. *Global Change Biology*. **10**: 2020–2027.

Vari RP, Malabarba LR (1998) Neotropical Ichthyology: An Overview. *In*: Malabarba, L.R., Reis, R.E., Vari, R.P., Lucena, Z.M.S. & Lucena, C.A.S. (Eds.) *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil. pp 1-11.

Wantzen, K.M., Junk, W.L. & Rothhaupt, K.-O. (2008) An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia*. **613**(1): 151-170

Welcomme, R.L., Cowx, I.G., Coates, D., Béné, C., Funge-Smith, S., Halls, A. & Lorenzen, K. (2010) Inland capture fisheries *Phil. Trans. R. Society*. **365**: 2881–2896. doi:10.1098/rstb.2010.0168

Wood, S.N. (2006) *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman & Hall/CRC. ISBN 978-1-58488-474-3.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O efeito de parâmetros meteo-oceanográficos e dos eventos climáticos sobre a Bacia Amazônica é pouco estudado. O presente estudo mostra que os fenômenos de pequena, meso e grande escala, como ENOS e GITA, são importantes na variabilidade do ciclo hidrológico da Bacia do Rio Amazonas. Além disso, percebeu-se que a região do Baixo Amazonas não possui um comportamento homogêneo desses parâmetros, o que nos leva a considerar os seus compartimentos locais para uma melhor compreensão da dinâmica da região e o sistema rio-atmosfera-oceano.

A variabilidade climática no sistema rio-atmosfera-oceano e na planície de inundação é um dos principais fatores modeladores das comunidades da biota aquática no Baixo Amazonas, determinando mudanças na extensão do habitat aquático e acarretando profundas modificações ambientais que também regulam a estrutura das comunidades de peixes da região.

Quer sejam considerados os grupos tróficos, as famílias ou certas espécies, como alvo das pescarias, todas essas ordenações apresentam diferenças na forma de variação da CPUE média mensal em relação às variáveis ambientais. Todas as análises indicam que a variabilidade espaço-temporal da produção pesqueira nas diversas áreas de pesca está associada com mais de um parâmetro ambiental do sistema rio-atmosfera-oceano, afetando diferentes períodos de cada ciclo de vida da ictiofauna.

A produtividade pesqueira indica padrões distintos entre os sistemas de lagos na várzea e do rio. Essa variância ocorre tanto ao longo da região do Baixo Amazonas (gradiente longitudinal) como lateralmente em cada área de pesca estudada (gradiente latitudinal), dependendo das características ecológicas e estratégias de vida de cada grupo trófico, família ou espécie-alvo considerada. Ou seja, a produtividade pesqueira na área de estudos indica uma diferença significativa e padrões distintos entre a pesca em lagos e rio, dependendo essencialmente da capturabilidade e comportamento das espécies.

A produção pesqueira do Baixo Amazonas, em todas as áreas e ambientes de pesca analisados, é governada, entre outros, pelo pulso de inundação, os eventos El Niño/La Niña, a temperatura do ar e do solo. Apesar de sua importância na produção pesqueira no rio Amazonas, os piscívoros apresentaram apenas correlações de pouco a moderadamente significativas em relação às variáveis ambientais analisadas. Em ambiente de lagos e de várzea, a variabilidade da CPUE estimada a partir de famílias taxonômicas está principalmente relacionada com o

pulso de alagação, a temperatura do ar e eventos ENSO. Enquanto que no rio Amazonas, apenas a temperatura do ar e eventos ENSO são as variáveis que covariam mais significativamente com a produtividade pesqueira.

A variabilidade CPUE na produção pesqueira em áreas de pesca perto de cidade de Monte Alegre está muito associada com as variáveis oceanográficas. Esse quadro foi exemplificado através da análise da produção pesqueira de *Hypophthalmus ssp* em lagos na várzea do Baixo Amazonas: a) em Ódibos, as áreas alagadas são menos degradadas, conservando a paisagem original e a produtividade pesqueira do gênero taxonômico *Hypophthalmus* está relacionada com a umidade do ambiente; b) em Santarém, essa produtividade é governada pelo escoamento superficial e eventos de grande escala; e c) na região pesqueira de Monte Alegre, que é caracterizado por possuir lagos de água aberta, a produtividade pesqueira é mais susceptível as temperaturas do ar e da superfície do mar. Ou seja, a dinâmica da produção pesqueira desse gênero taxonômico da ictiofauna se relaciona com diversos eventos de pequena e meso escalas, como a temperatura do ar, a umidade, a duração e intensidade do ciclo hidrológico e o campo de ventos, bem como eventos de grande escala, medidos através dos índices climatológicos MEI, NOA e GITA.

Pode-se dizer, portanto que a interação entre a paisagem, os ambientes aquáticos, a variabilidade climática e ciclo hidrológico no Baixo Amazonas determina o comportamento do pescador e da pesca do *Hypophthalmus* com mudanças na forma e intensidade de exploração desse recurso em lagos de várzea. Resultados similares foram encontrados nas ordenações que consideram famílias ou grupos tróficos.

A mudança constante na paisagem do Baixo Amazonas, transformando áreas de floresta em campos abertos para as atividades agrícolas, levando a um aumento na temperatura do ar e do solo pela diminuição da área de sombra, e uma diminuição na disponibilidade e qualidade de alimentos com o desmatamento e retirada da mata ciliar, isso pode alterar a importância relativa de cada variável ambiental na produção pesqueira local.

A interação entre a paisagem, ambientes aquáticos, a variabilidade climática e dinâmica do ciclo hidrológico no Baixo Amazonas determina a distribuição dos recursos de pesca, comportamento e estratégias do pescador e adaptações ecológicas das populações-alvo, determinando, alterações no perfil e na intensidade

de exploração destes recursos. A conservação das características da paisagem e a manutenção do balanço hídrico devem ser consideradas prioridades fundamentais nos planos de manejo da pesca.

Devido às atividades humanas, mudanças no uso e cobertura do solo têm contribuído para mudanças climáticas ao longo do século XX, a temperatura aumentou, mudaram também os padrões espaço-temporais das chuvas e aumento da frequência e intensidade dos fenômenos associados por exemplo ao El Niño (GITAY *et al.*, 2002). Tais mudanças afetam diretamente o sucesso reprodutivo, as taxas de crescimento e o comportamento migratório dos peixes, bem como a distribuição das espécies e o tamanho das populações. Acredita-se que as mudanças climáticas afetaram todos os aspectos da biodiversidade, diminuindo a capacidade dos organismos para responder à essas mudanças.

Climas regionais são o resultado de complexos processos locais físicos, e a resposta não local de fenômenos de grande escala como o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e outros modos dominantes de variabilidade climática (KIRTMAN e POWER, 2013). As mudanças no ciclo global da água, em resposta ao aquecimento ao longo do século 21, não serão uniformes (STOCKER *et al.*, 2013) .

Hoje considera-se, com mais de 90% de certeza, que a influência humana tem sido a causa principal do aquecimento observado desde meados do século 20 na temperatura do planeta e que a variabilidade natural teve contribuição praticamente nula nesse fenômeno, durante o mesmo período. Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) do ano de 2013, os últimos 30 anos foram, provavelmente, os mais quentes desde pelo menos os últimos 1400 anos. Cenários futuros simulados pelo IPCC, indicam que uma parte considerável do aquecimento será irreversível, ou seja, mesmo se as emissões de CO₂ caírem para zero, a temperatura global permanecerá praticamente constante ao longo dos séculos, ao nível elevado alcançado nesse período.

O nível do mar está subindo mais rápido agora do que nos dois milênios anteriores, estimado em 28-98 cm até 2100, ou mais de 3 m até o ano de 2300, e o aumento vai continuar a acelerar mesmo com forte mitigação das alterações climáticas (STOCKER *et al.*, 2013). Ao longo das últimas décadas, as camadas de gelo da Groenlândia e da Antártida vêm perdendo sua massa, as geleiras continuam a encolher em quase todo o mundo e o gelo do mar Ártico continuam diminuindo. A

camada atual de gelo da Groenlândia é menos estável do que seria esperado e uma perda total de gelo da Groenlândia corresponderia a um aumento de 7 metros no nível do mar. Isto deve acontecer com uma temperatura limite crítica estimada em 1 a 4 °C de aquecimento acima da temperatura pré-industrial. Como o IPCC observa, o nível médio do mar deve se elevar em várias dezenas de centímetros, se a base marinha da camada de gelo da Antártida se tornar instável.

O IPCC prevê que as áreas secas ficaram mais secas, devido ao aquecimento global, e áreas úmidas ainda mais úmidas. Chuvas extremas já tem aumentado em várias regiões do mundo. Eventos extremos provavelmente se tornaram mais intensos e mais freqüentes sobre a maioria das áreas tropicais e em latitudes médias da Terra (STOCKER *et al.*, 2013).

Todas essas mudanças climáticas devem ser consideradas no planejamento e construção de uma política de ações mitigatórias, para adaptação à nova realidade ambiental que está se construindo e que terá impactos não somente na Amazônia, como no mundo todo.

No que diz respeito à pesca na região, parece evidente que os governos devem estimular novas linhas de pesquisa e a contínua e sistemática coleta de dados, sem interrupções, para ter maior governança a capacidade de gestão da atividade pesqueira e dos ecossistemas aquáticos amazônicos, que contém uma enorme biodiversidade e podem sofrer danos muitas vezes irreparáveis.

Referências Bibliográficas

GITAY, H.; SUÁREZ, A.; WATSON, R.T.; DOKKEN, D.J. **Cambio climático y biodiversidad**. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 93 p, 2002. ISBN: 92-9169-104-7

KIRTMAN, B.; POWER, S. (2013) Near-term Climate Change: Projections and Predictability - Final Draft Underlying Scientific -Technical Assessment. Chap. 11. 123 p., 2006. *In*: STOCKER, T.; DAHE, Q.; PLATTNER, G.K. (Coord.) **IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change - Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Stockholm. 226 p, 2006.

STOCKER, T.; DAHE, Q.; PLATTNER, G.K. (Coord.) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Working Group I Contribution to the IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - 5th Assessment Report - Changes to the underlying Scientific/Technical Assessment, Stockholm. 226 p, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1: Lista de espécies

Nome_Especie	Nome_Científico	Família	Grupo Trófico
Acará-Rosado	Caquetaia spectabilis	Cichlidae	Onívoro
Acará-Roxo	Heros sp.	Cichlidae	Onívoro
Acaratinga	Geophagus proximus	Cichlidae	Onívoro
Acará-Açú	Astronotus crassipinnis	Cichlidae	Onívoro
Acarí-Bodo	Liposarcus pardalis	Loricariidae	Detritívoro
Apapá-Amarelo	Pellona castelnaeana	Clupeidae	Piscívoro
Apapá-Branco	Pellona flavipinnis	Clupeidae	Piscívoro
Aracú-Amarelo		Anostomidae	Onívoro
Aracú-Cabeça gorda	Leporinus trifasciatus	Anostomidae	Onívoro
Aracú-Comum	Schizodon fascitum	Anostomidae	Onívoro
Aruana	Osteoglossum bicirrhosum	Osteoglossidae	Onívoro
Bacú-Liso	Lithodoras sp.	Doradidae	Herbívoro
Bacú-Pedra	Lithodoras dorsalis	Doradidae	Herbívoro
Branquinha-Cascuda	Psectrogaster amazonica	Curimatidae	Ilíofago
Branquinha-Comum	Potamorhina latior	Curimatidae	Ilíofago
Branquinha-Cabeça-Lisa	Potamorhina altamazonica	Curimatidae	Ilíofago
Curimatã	Prochilodus nigricans	Prochilodontidae	Detritívoro
Dourada	Brachyplatystoma flavicans	Pimelodidae	Piscívoro
Filhote	Brachyplatystoma filamentosum	Pimelodidae	Piscívoro
Fura-calça	Pimelodina flavipinnis	Pimelodidae	Carnívoro
Jandiã	Leiariuns marmoratus	Pimelodidae	Piscívoro
Jaraquí-Fina	Semaprochiloduns taeniurus	Prochilodontidae	Detritívoro
Jaraquí-Grossa	Semaprochiloduns insignis	Prochilodontidae	Detritívoro
Jaú	Paulicea luetkeni	Pimelodidae	Piscívoro
Mandí	Platysilurus aff. Barbatus	Pimelodidae	Onívoro
Mandubé	Ageneiosus brevifilis	Ageneiosidae	Piscívoro
Mapará	Hypophthalmus marginatus e edentatus	Hypophthalmidae	Planctofago
Pacú-Comum	Mylossoma duriventre	Serrasalmidae	Herbívoro
Pacú-Jumento	Myleus schomburgki	Serrasalmidae	Herbívoro
Pacú-Marreca	Metynnis argenteus	Serrasalmidae	Herbívoro
Peixe-Cachorro	Hydrolycus scomberoides	Cynodontidae	Piscívoro
Pescada	Pachypops sp.	Sciaenidae	Piscívoro
Pescada-Preta	Plagioscion auratus	Sciaenidae	Piscívoro
Piracatinga	Calophysus macropterus	Pimelodidae	Piscívoro
Piramutaba	Brachyplatystoma vaillanti	Pimelodidae	Piscívoro
Piranha-Cajú	Pygocentrus nattereri	Serrasalmidae	Carnívoro
Piranha-Mafurá	Serrasalmus spilopleura	Serrasalmidae	Carnívoro
Piranha-Preta	Serrasalmus rhombeus	Serrasalmidae	Carnívoro
Pirapitinga	Piaractus brachypomus	Serrasalmidae	Herbívoro
Pirarara	Phractocephalus hemiliopterus	Pimelodidae	Piscívoro
Pirarucu	Arapaima gigas	Arapaimidae	Piscívoro
Sardinha-Comprida	Triportheus elongatus	Characidae	Carnívoro
Sardinha-Papuda	Triportheus flavus	Characidae	Carnívoro
Surubim-Lenha/Canela	Pseudoplatystoma fasciatum	Pimelodidae	Piscívoro
Surubim-Pintado/Tigre	Pseudoplatystoma tigrinum	Pimelodidae	Piscívoro
Tambaqui-Amarelo/Preto	Colossoma macropomum	Serrasalmidae	Herbívoro
Traíra	Hoplias gr. Malabaricus	Erythrinidae	Piscívoro
Tucunaré-Açú	Cichla monoculus	Cichlidae	Piscívoro
Tucunaré-Pinima	Cicha sp.	Cichlidae	Piscívoro
Tucunaré-Tatú	Cicha sp.	Cichlidae	Piscívoro

Nome_Especie	Nome_Científico	Família	Grupo Trófico
Acará-Rosado	Caquetaia spectabilis	Cichlidae	Onívoro
Acará-Roxo	Heros sp.	Cichlidae	Onívoro
Acaratinga	Geophagus proximus	Cichlidae	Onívoro
Acará-Açú	Astronotus crassipinnis	Cichlidae	Onívoro
Acarí-Bodo	Liposarcus pardalis	Loricariidae	Detritívoro
Apapá-Amarelo	Pellona castelnaeana	Clupeidae	Piscívoro
Apapá-Branco	Pellona flavipinnis	Clupeidae	Piscívoro
Aracú-Amarelo		Anostomidae	Onívoro
Aracú-Cabeça gorda	Leporinus trifasciatus	Anostomidae	Onívoro
Aracú-Comum	Schizodon fascitum	Anostomidae	Onívoro
Aruana	Osteoglossum bicirrhosum	Osteoglossidae	Onívoro
Bacú-Liso	Lithodoras sp.	Doradidae	Herbívoro
Bacú-Pedra	Lithodoras dorsalis	Doradidae	Herbívoro
Branquinha-Cascuda	Psectrogaster amazonica	Curimatidae	Ilofago
Branquinha-Comum	Potamorhina latior	Curimatidae	Ilofago
Branquinha-Cabeça-Lisa	Potamorhina altamazonica	Curimatidae	Ilofago
Curimatã	Prochilodus nigricans	Prochilodontidae	Detritívoro
Dourada	Brachyplatystoma flavicans	Pimelodidae	Piscívoro
Filhote	Brachyplatystoma filamentosum	Pimelodidae	Piscívoro
Fura-calça	Pimelodina flavipinnis	Pimelodidae	Carnívoro
Jandiá	Leiariuns marmoratus	Pimelodidae	Piscívoro
Jaraquí-Fina	Semaprochiloduns taeniurus	Prochilodontidae	Detritívoro
Jaraquí-Grossa	Semaprochiloduns insignis	Prochilodontidae	Detritívoro
Jaú	Paulicea luetkeni	Pimelodidae	Piscívoro
Mandí	Platysilurus aff. Barbatus	Pimelodidae	Onívoro
Mandubé	Ageneiosus brevifilis	Ageneiosidae	Piscívoro
Mapará	Hypophthalmus marginatus e edentatus	Hypophthalmidae	Planctofago
Pacú-Comum	Mylossoma duriventre	Serrasalmidae	Herbívoro
Pacú-Jumento	Myleus schomburgki	Serrasalmidae	Herbívoro
Pacú-Marreca	Metynnis argenteus	Serrasalmidae	Herbívoro
Peixe-Cachorro	Hydrolycus scomberoides	Cynodontidae	Piscívoro
Pescada	Pachypops sp.	Sciaenidae	Piscívoro
Pescada-Preta	Plagioscion auratus	Sciaenidae	Piscívoro
Piracatinga	Calophysus macropterus	Pimelodidae	Piscívoro
Piramutaba	Brachyplatystoma vaillanti	Pimelodidae	Piscívoro
Piranha-Cajú	Pygocentrus nattereri	Serrasalmidae	Carnívoro
Piranha-Mafurá	Serrasalmus spilopleura	Serrasalmidae	Carnívoro
Piranha-Preta	Serrasalmus rhombeus	Serrasalmidae	Carnívoro
Pirapitinga	Piaractus brachypomus	Serrasalmidae	Herbívoro
Pirarara	Phractocephalus hemiolipterus	Pimelodidae	Piscívoro
Pirarucu	Arapaima gigas	Arapaimidae	Piscívoro
Sardinha-Comprida	Triporthus elongatus	Characidae	Carnívoro
Sardinha-Papuda	Triporthus flavus	Characidae	Carnívoro
Surubim-Lenha/Canela	Pseudoplatystoma fasciatum	Pimelodidae	Piscívoro
Surubim-Pintado/Tigre	Pseudoplatystoma tigrinum	Pimelodidae	Piscívoro
Tambaqui-Amarelo/Preto	Colossoma macropomum	Serrasalmidae	Herbívoro
Traíra	Hoplias gr. Malabaricus	Erythrinidae	Piscívoro
Tucunaré-Açú	Cichla monoculus	Cichlidae	Piscívoro
Tucunaré-Pinima	Cicha sp.	Cichlidae	Piscívoro
Tucunaré-Tatú	Cicha sp.	Cichlidae	Piscívoro