



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS PESQUEIRAS NOS TRÓPICOS – PPG-CIPET

TESE DE DOUTORADO

EFEITOS DOS EVENTOS CLIMÁTICOS LOCAIS NO RECURSO
PESQUEIRO DO TAMBAQUI DA AMAZÔNIA CENTRAL

KARLA CHRISTINA TRIBUZY BANDEIRA

MANAUS

2017

**EFEITOS DOS EVENTOS CLIMÁTICOS LOCAIS NO RECURSO
PESQUEIRO DO TAMBAQUI DA AMAZÔNIA CENTRAL**

KARLA CHRISTINA TRIBUZY BANDEIRA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas

Co-orientador: Sandro Dimy Barbosa Bitar

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial à obtenção do Título de Doutora, Área de Concentração: Uso sustentável de recursos pesqueiros tropicais.

MANAUS

2017

Ficha Catalográfica

(Catalogação pela Biblioteca Central da UFAM)

B214e Bandeira, Karla Christina Tribuzy
Efeitos dos Eventos Climáticos Locais no Recurso Pesqueiro do
Tambaqui da Amazônia Central / Karla Christina Tribuzy Bandeira.
2017
116 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Carlos Edwar de Carvalho Freitas
Coorientador: Sandro Dimy Barbosa Bitar
Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) -
Universidade Federal do Amazonas.

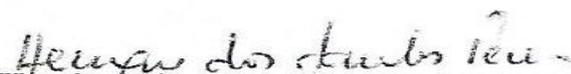
1. Eventos climáticos. 2. Matemática fuzzy. 3. Percepção de
Pescadores . 4. Colossoma macropomum. I. Freitas, Carlos Edwar
de Carvalho II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

KARLA CHRISTINA TRIBUZY BANDEIRA

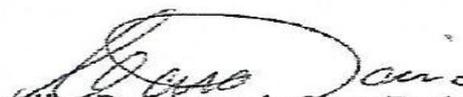
**EFEITOS DOS EVENTOS CLIMÁTICOS LOCAIS NO RECURSO
PESQUEIRO DO TAMBAQUI DA AMAZÔNIA CENTRAL**

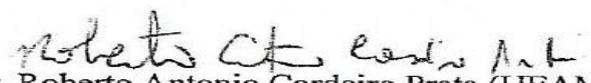
Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do Título de Doutora na área de concentração em Uso sustentável de recursos pesqueiros tropicais em
28 / 11 / 2017.

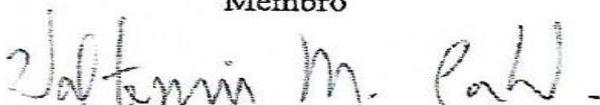
BANCA EXAMINADORA


Dr. Henrique dos Santos Pereira (UFAM)
Presidente


Dr. Rodney Carlos Bassanezi (UNICAMP)
Membro


Dra. Carolina Rodrigues da Costa Doria (UNIR)
Membro


Dr. Roberto Antonio Cordeiro Prata (UFAM)
Membro


Dr. Valtemir Martins Cabral (UFAM)
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista ao professor, primo e amigo Ivan de Azevedo Tribuzy (*in memoriam*) por todos os anos dedicados ao Ensino da Matemática e por todo o apoio e incentivo a conclusão desta etapa na minha formação. *"Ivan a promessa está cumprida. Que esta vitória possa de fato alegrar seu coração e sua alma onde quer que esteja. Por acreditar sempre, mesmo quando eu não enxergava e nem acreditava que poderia ir tão longe, meu muito obrigada!"*.

AGRADECIMENTOS

Ao Espírito maior que me guia e dá as forças para as batalhas da vida e de toda essa trajetória.

Ao meu orientador Prof. Carlos Edwar pela oportunidade em me permitir trilhar a fronteira entre duas ciências (Matemática e Engenharia de Pesca), pela sua orientação, paciência, coragem e visão ampla. Além de todo apoio logístico durante o período de estudo.

Ao meu co-orientador Sandro Bitar pela força, orientação nos árduos caminhos para novos aprendizados na Matemática e pela fé sempre atuante na minha capacidade de gerir problemas em fronteiras de conhecimentos.

Ao meu grande amigo e incentivador professor Rodney Bassanezi, que mesmo de longe me deu sempre o total apoio na execução deste trabalho e foi o responsável em me apresentar o conhecimento dessa nova ciência a Biomatemática. Profunda gratidão!

Agradeço de coração e com todo o carinho aos ribeirinhos, pescadores de Manacapuru que compartilharam seus conhecimentos, alegrias e dificuldades. Ao presidente e secretariado da Colônia de Pescadores Z09, sempre muito prestativos. Muito obrigada!

A minha família que suportou minha ausência por longos períodos, enquanto me dedicava aos estudos. Com especial afeto as minhas sobrinhas que nos momentos de estresse, me davam alegrias, sorrisos e carinho.

Agradeço aos professores do programa PPG-CIPET que contribuíram e transmitiram sem preconceitos, seus vastos conhecimentos. Em particular a professora Maria Gercília Soares pelo apoio, carinho, troca de experiência e pela acolhida no seu laboratório no Inpa.

Aos meus colegas de trabalho que me deram força e incentivo. E também aos meus colegas das turmas de Mestrado e Doutorado (2013-2016) da PPG-CIPET e do Laboratório PIATAM que me receberam com carinho e compartilharam seus conhecimentos. Muito obrigada: Lorenzo, Carol, Sandrelly (a Inomata), Diogo, Joaquim, Marcela Juliana e Wendell.

Agradeço muito a coordenação e a secretaria da PPG-CIPET que me acolheram e ao desafio da interdisciplinaridade. Meu carinho especial a Hostilia Campos uma mulher de fina sensibilidade e gentileza, que me recebeu de braços abertos.

Agradeço aos meus fieis e seletos amigos de alma, coração e batalhas pela presença efetiva nas horas difíceis. Pelo imenso carinho dedicado a mim, isso é impagável. O preço de uma amizade sincera, não cabe em poucas palavras.

Agradeço a Deus pelas novas amizades, pelo apoio irrestrito e carinho da amiga Isabel Galdames, Fabiana Calacina (a Fabí), Gisele Correia (a Gi) e Liane Galvão (a Lia). Mulheres admiráveis pela força, inteligência, sensibilidade e generosidade.

Enfim, agradeço a todos que colaboraram de todas as formas para este trabalho, espero poder contribuir e retribuir a todos.

EPÍGRAFE

Á grande mãe natureza

Que eu tenha hoje,

e a cada dia:

A força dos céus,

A Luz do sol,

o brilho da Lua,

O resplender do fogo,

A agilidade do vento,

A profundidade do mar,

A estabilidade da terra,

E a firmeza da rocha.

(Oração Celta).

RESUMO

A mudança climática é a maior ameaça à biodiversidade e seus efeitos já ameaçam os ecossistemas de água doce. Há abundante evidência de que o clima da Terra está mudando mais rapidamente agora do que em períodos anteriores com efeitos potenciais sobre a bacia amazônica e seus organismos. Este tese avaliou os impactos climáticos sobre os estoques de peixe do tambaqui (*Colossoma macropomum*), quanto a sua sustentabilidade e criou um modelo que descreve os níveis destes impactos assim como um sistema de inferência que agrega as informações subjetivas de experts da pesca e variáveis ambientais aos parâmetros que são determinados para o recrutamento na atividade de pesca sobre estes estoques. Para este fim, foi realizado um levantamento de informações sobre o status da produção do tambaqui e de alterações na dinâmica da pesca desta espécie a partir do porto principal de Manacapuru no período de 2014 a 2016, incluindo entrevistas com pescadores da Colônia Z-9. A percepção dos pescadores sobre os eventos de cheias e secas extremas foram estudadas na cidade de Manacapuru e, por fim, foi utilizada uma nova abordagem metodológica que se utiliza da matemática fuzzy e de decisores de métodos multicritérios para criar os cenários e os sistemas de inferência. Caracterizamos as variáveis ambientais e definimos as variáveis linguísticas incorporando as informações subjetivas dos experts e criamos os critérios dando pesos conforme seu grau de influência sobre o impacto, adicionando ainda os efeitos da pesca. Definimos funções de pertinência que indicaram os graus de impactos esperados conforme a variação encontrada ou estimada no ambiente. Os resultados mostram os cenários e o status do estoque e de sua sustentabilidade de acordo com as variações climáticas e de pressão por pesca. Foi desenvolvido modelo conceitual para avaliações de impacto na Bacia Amazônica que pode ser aplicado para as demais espécies da bacia, auxiliando estudos futuros que tenham por objetivo comparar os impactos locais de eventos extremos.

Palavras-chave: 1. Eventos climáticos; 2. Matemática fuzzy; 3. Modelagem; 4. *Colossoma macropomum*; 5. Dinâmica de populações.

Abstract

Climate change is the greatest threat to biodiversity and its effects already threaten freshwater ecosystems. There is abundant evidence that the Earth's climate is changing more rapidly now than in earlier periods with potential effects on the Amazon basin and its organisms. This study evaluated the climatic impacts on tambaqui fish stocks (*Colossoma macropomum*), their sustainability and created a model that describes the levels of these impacts as well as an inference system that aggregates the subjective information of fishing experts and environmental variables to the parameters that are determined for the recruitment in the fishing activity on these stocks. A survey of information on the status of tambaqui production and changes in fishing dynamics of this species was carried out from the main port of Manacapuru in the period from 2014 to 2016, including interviews with fishermen from Manacapuru. Fishermen's perception of extreme flood and drought events was studied in the city of Manacapuru and, finally, a new methodological approach was used that uses fuzzy mathematics and multi-criteria decision makers to create scenarios and inference systems. We characterize the environmental variables and define the linguistic variables incorporating the subjective information of the experts and create the criteria giving weights according to their degree of influence on the impact, adding also the effects of the fishing. We defined pertinence functions that indicated the degrees of expected impacts according to the variation found or estimated in the environment. The results show the scenarios and stock status and their sustainability according to climatic variations and fishing pressure. A conceptual model has been developed for impact assessments in the Amazon Basin that can be applied to other species of the basin, helping future studies that aim to compare the local impacts of extreme events.

Keywords: 1. Climatic events; 2. Fuzzy mathematics; 3. Modeling; 4. *Colossoma macropomum*;

Lista de figuras

Figura 1: Mapa das regiões da Amazônia Sustentável-PAS	7
Figura 2: Mapa da área de estudo.....	9
Figura 3: <i>Colossoma macropomum</i>	10
Figura 4: Produção nacional de tambaqui	12
Figura 5: Exemplo pictórico de pertinência dos conjuntos fuzzy	17
Figura 6: Base de regras	26
Figura 7: Saídas parciais do método de Mamdani	27
Figura 8: Saída final do controlador fuzzy de Mamdani.....	27
Figura 9: Centro de gravidade	28
Figura 10: Mapa da área de estudo.....	32
Figura 11: Faixa etária dos pescadores (%).....	35
Figura 12: Atividades e benefícios econômicos na composição da renda de pescadores.....	36
Figura 13: Composição da renda dos pescadores (%).....	36
Figura 14: Meses de desova do tambaqui citados pelos pescadores da Z-9 de Manacapuru, AM.	37
Figura 15: Biotópos e habitats de desova do tambaqui citados pelos pescadores da Z-9 de Manacapuru , AM.....	38
Figura 16: Biotópos registrados dos dados de desembarque no período de 2014 a 2016, segundo pescadores entrevistados no Porto de Manacapuru.	39
Figura 17: Biotópos preferenciais de pesca segundo entrevistas com pescadores da Colônia Z-9.....	39
Figura 18: Biotópos utilizados na pescaria do tambaqui por períodos sazonais citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru	39
Figura 19: Principais locais de pesca do Tambaqui por período sazonal registrados no desembarque de 2014 a 2016 no Porto principal de Manacapuru.....	40

Figura 20: Produção e renda mensal de tabaqui no período de 2014 a 2016.	45
Figura 21: Variação do tamanho médio de captura do tabaqui em 2014-2015 comparados com o tamanho mínimo definido pela portaria do IBAMA n.8/1996	45
Figura 22: Produção anual de tabaqui nos períodos de 2000 a 2004 e 2014 a 2016.....	46
Figura 23: Produção total (t) mensal em Manacapuru nos anos de 2002 a 2004 e 2014 a 2016.	47
Figura 24: Figura adaptada de (RAPOZZO, 2011) sobre o fluxograma da comercialização do tabaqui em Manacapuru com a adaptação de urnas de refrigeração em pequenos barcos.....	48
Figura 25: Mapa de abrangência do estudo.....	59
Figura 26: Distribuição de frequência de citações identificando os meses para cada período do ciclo hidrológico e o padrão médio das cotas do rio Solimões ao longo de 20 anos. Fonte: Dados de campo e Agência Nacional de Águas-ANA (www.ana.gov.br/) cotas do rio Solimões- Amazonas.	68
Figura 27: Citação dos entrevistados sobre os anos de ocorrência das cheias extremas e secas extremas em Manacapuru, AM.....	69
Figura 28: Descrição da frequência de citações de pescadores quanto a intensidade dos efeitos na pesca do tabaqui após eventos extremos	70
Figura 29: Exemplo de variável linguística.....	89
Figura 30: Estrutura do sistema de inferência fuzzy	91
Figura 31: Etapa 1 do modelo fuzzy de sustentabilidade do estoque.....	92
Figura 32: Etapa 2 do modelo fuzzy de sustentabilidade do estoque.....	93
Figura 33: Sistema de inferência Mamdani.....	94
Figura 34: Funções de pertinência dos indicadores do bloco AMBIENTE	95
Figura 35: Funções de pertinência dos indicadores do bloco BIOLÓGICO.....	96
Figura 36: Funções de pertinência dos indicadores do bloco PESCA	97
Figura 37: Funções de pertinência dos índices dos componentes de ambiente, biológico e pesca.....	97

Figura 38: Função de pertinência do índice de sustentabilidade do estoque.....	98
Figura 39: Variação interanual das cotas de Manacapuru de 1972-2015.....	99

Lista de tabelas

Tabela 1: Localidades de moradias dos pescadores na sede municipal e nos distritos rurais.	34
Tabela 2: Grau de escolaridade dos pescadores entrevistados	35
Tabela 3: Descrição das embarcações utilizadas pelos pescadores da Colônia Z-9	41
Tabela 4: Apetrechos de pesca citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de acordo com a sazonalidade	41
Tabela 5: Produção total desembarcada (2014-2016)	42
Tabela 6: Locais de pesca, dias de pescaria, número de pescadores e captura de tambaqui citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru no período de cheia.	43
Tabela 7: Locais de pesca, dias de pescaria, número de pescadores e captura de tambaqui citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru no período de seca.	43
Tabela 8: Frequência de registros de Characiformes migradores quanto a forma de obtenção do pescado comercializado no porto de Manacapuru.	44
Tabela 9: Preço médio da primeira comercialização do tambaqui no período de 2014 a 2016.	44
Tabela 10: Escala de níveis de intensidade de respostas das questões positivas e negativas.	59
Tabela 11: Definição dos Números fuzzy e Função de pertinência	61
Tabela 12: Descrição das alternativas ou fatores	62
Tabela 13 : Ponderações dadas pelos pescadores às alternativas para cheia extrema.	63
Tabela 14: Ponderações dadas pelos pescadores às alternativas para seca extrema	63
Tabela 15: Matriz de agregação coletiva dos fatores/alternativas para as fases de cheia e seca do ciclo hidrológico.	64
Tabela 16: Perfil socioeconômico dos pescadores entrevistados (N=57)	66
Tabela 17: Descrição da intensidade dos efeitos dos eventos extremos locais	67
Tabela 18: Descrição dos eventos detectados pelos pescadores como mudanças no clima local	67

Tabela 19:Modificações no ambiente aquático regional, citadas pelos pescadores	69
Tabela 20:Descrição de intensidade dos efeitos dos eventos extremos na pescaria	70
Tabela 21:Descrição dos indicadores de mudanças climáticas locais (N=148).....	71
Tabela 22:Quadro de números de citações dos efeitos dos eventos extremos locais no ambiente e nas atividades sócio produtivas (N=109).....	72
Tabela 23:Quadro de números de citações das causas relatadas pelos pescadores aos eventos extremos locais (N=78).....	73
Tabela 24: Exemplo do ranking de alternativas e critério de desempate	74
Tabela 25:Ranking das alternativas com diferentes valores de w (pesos fuzzy).	74
Tabela 26: Indicadores e referências que justificam os valores do domínio dos conjuntos fuzzy e das variáveis linguísticas	95
Tabela 27: Indicadores e índice de risco de Ambiente.....	100
Tabela 28: Indicadores e índices da vulnerabilidade do tambaqui.....	101
Tabela 29: Indicadores e índices da pressão de pesca.....	101
Tabela 30: Índice de sustentabilidade do tambaqui (ISE).....	102

SUMÁRIO

Introdução geral.....	1
Referências	4
Área de estudo	7
O Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.	10
Referências	14
a metodologia - Lógica Fuzzy	16
I – Lógica convencional e Lógica Fuzzy.....	16
II – Algumas definições de Lógica Fuzzy.....	17
III – Números Fuzzy.....	21
III – Conectivos básicos de Lógica Fuzzy e Variáveis Linguísticas	23
IV – Sistemas baseados em Regras Fuzzy	24
Referências	28
ARTIGO I – Caracterização e status atual da pesca do tambaqui (<i>colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.....	29
I. Introdução	30
II. Material e método	32
2.1 - Área de Abrangência do Estudo.....	32
2.2 - Comitê de Ética.....	33
2.3. Entrevistas	33
2.4 - Dados de Desembarque pesqueiro	33

2.5 - Análise dos Dados.....	33
III. Resultados	34
3.1 - Perfil socioeconômico dos entrevistados	34
3.2.b – Período de defeso	37
3.2.c – Local de desova	38
3.2.d - Locais de Pesca	38
3.2.e - Embarcações da pesca do Tambaqui.....	40
3.2.f - Apetrechos da pesca do Tambaqui	41
3.2.g - Produção da pesca do tambaqui no Porto de Manacapuru.....	42
IV. Discussão.....	46
V. Considerações finais.....	50
Agradecimentos.....	51
Referências	52
ARTIGO II – A percepção dos pescadores sobre os efeitos da seca e cheia extremas no ambiente e pesca do tambaqui da Amazônia Central	56
I. Introdução	57
II. Material e método	58
2.1 - Área de Abrangência do Estudo.....	58
2.2. Formulário de entrevistas	59
2.3 - Análise dos Dados.....	59
III. Resultados	65
3.1 - Perfil socioeconômico.....	65

3.2 - A Percepção dos pescadores sobre eventos extremos no ambiente e pesca do Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>).....	66
3.3 – Identificação de indicadores locais, causas e efeitos de mudanças climáticas locais a partir do conhecimento dos pescadores.....	71
3.4 – Avaliação dos pescadores da dinâmica da pesca e estoque do tambaqui em eventos extremos.	73
IV. Discussão.....	75
V. Considerações finais.....	77
Agradecimentos.....	77
Referências	78
ARTIGO III - Sistema fuzzy para estimar a sustentabilidade do estoque de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) sob o impacto de eventos de cheia e seca extremos.....	84
I. Introdução	85
II. Material e método	87
2.1 - Método da Pesquisa	87
2.2 – Fundamentos da lógica fuzzy e operadores fuzzy.....	88
2.3 – A arquitetura do sistema de inferência fuzzy	90
2.4 – O modelo proposto	91
2.5 – Base de Dados e operadores do modelo.....	93
III. Resultados	94
3.1 – Indicadores e Índices de risco	94
3.2. Respostas geradas para o índice AMB	98

3.3. Respostas geradas para o índice VE.....	100
3.5. Índice de Sustentabilidade do estoque de tabaqui	102
IV. Discussão.....	103
V. Considerações finais.....	105
Agradecimentos.....	105
Referências	106
Apêndice.....	113

Introdução geral

As mudanças no clima são a maior ameaça à biodiversidade global e funcionamento de ecossistemas (THOMAS et al., 2004; IPCC, 2007; 2014) e seus efeitos já são evidentes em uma variedade de ambientes e biotas (PARMESAN; YOHE, 2003). Ecossistemas de água doce estão entre os mais ameaçados pelas mudanças climáticas, em grande parte por causa das mudanças esperadas na oferta e qualidade de água (POFF et al., 2002; PITTOCK et al., 2008). Ambientes de água doce e os organismos que nestes habitam, são particularmente vulneráveis porque são isolados e fragmentados dentro de uma paisagem terrestre (FAUSCH et al., 2002). Além disso, a água de superfície que determina a qualidade e disponibilidade de habitat aquáticos depende muito das chuvas e de regimes de temperatura que serão drasticamente afetados pela mudança climática (CARPENTER et al., 1992; HOBDDAY; LOUGH, 2011). A constatação de que o clima da Terra está mudando rapidamente é frequentemente enfatizada entre as pesquisas sobre o clima (IPCC, 2007, 2014), com efeitos potenciais sobre a bacia amazônica (SHUKLA et al., 1990; MALHI et al., 2008). Os efeitos causados pelos eventos climáticos podem incluir alterações físicas e mudanças no fluxo de nutrientes, o que ocasionaria um risco a produção biológica nas várzeas dos grandes rios da Amazônia Central, que tem como fator de grande importância o pulso de inundação, isto é, as grandes variações do nível das águas (JUNK et al., 1989).

Modelos que associam a intensidade de enchentes e sincronismo com o sucesso da pesca, a estratégia de vida e os efeitos climáticos sobre os ambientes em que o *Colossoma macropomum* (Curvier, 1816) desenvolve sua migração reprodutiva no início da estação das chuvas (VIEIRA et al., 1999; ARAÚJO-LIMA et al., 1998, 2003) são ainda inexistentes. O elevado valor comercial e a exploração contínua há várias décadas por uma pesca excessiva e pouco seletiva, caracterizada pela inclusão de uma grande proporção de indivíduos jovens, resultou em um decréscimo acentuado nas capturas desta espécie e no tamanho mínimo desembarcado (FREITAS et al., 2007). O primeiro estudo acerca da sustentabilidade da pesca do tambaqui observou início de estado de sobrepesca (PETRERE JR., 1983) e um valor muito baixo do tamanho de primeira captura (ISAAC; RUFFINO, 1996; SOUSA; FREITAS, 2011).

Atualmente, além da contínua pressão de pesca, existem as ameaças relacionadas com alterações ambientais decorrentes de mudanças climáticas globais e de obras de grande porte, em especial hidrelétricas (FREITAS et al., 2013) que podem afetar o ecossistema amazônico (FORSBERG et al., 2017) e, via de consequência, o setor pesqueiro na Amazônia Central. A

pesca é considerada uma importante atividade para a produção de alimento e geração de renda. Apesar de sua importância, a quantidade de informações sobre a atividade e, principalmente, sobre o recurso explorado ainda é limitada, dificultando a avaliação dos possíveis impactos das mudanças climáticas no recurso pesqueiro e na pesca. Contudo, o Conhecimento Ecológico Local-CEL tem sido uma importante alternativa para casos de ausência de séries históricas de dados, permitindo inferências sobre o status atual do estoque, nos estudos recentes sobre pesca e mudanças climáticas (FERNANDEZ-LLAMAZARES et al., 2017; HARTTER et al., 2012; LLORET et al., 2015; BLOODHART et al., 2015). O saber local dos pescadores é reconhecido não apenas pelo refinado conhecimento sobre as espécies de peixes que capturam mas também sobre o ambiente no qual desenvolvem a sua atividade, permitindo aos pescadores detectarem alterações decorrente de eventos atípicos, por exemplo, cheias e secas extremas (COSTA-NETO; MARQUES, 2000; DIEGUES, 2000; HUNTINGTON, 2017; BEGOSSI, 2008; RAMIRES et al., 2007; GUERREIRO et al., 2016; JAHAN et al., 2017). O CEL tem destaque em estudos sobre mudanças climáticas porque, em muitos casos, pode ser a única fonte de informação disponível sobre às condições passadas ou sobre as atuais mudanças locais percebidas no recurso pesqueiro e/ ou no ambiente (JOHANNES et al., 2000; PEARCE et al., 2015).

As relações entre dinâmica populacional e o ambiente são de fato, complexas e difíceis de separar. Desde o século XIX, este tema vem sendo abordado com dificuldades através de equações relacionais ou diferenciais. A complexidade do fenômeno e a tentativa de fazer previsões precisas têm esbarrado nos parâmetros envolvidos que são obtidos de observações e experimentos sujeitos a imprecisões (EDELSTEIN-KESHET, 1988). Com o advento da lógica fuzzy, introduzida por Zadeh (ZADEH, 1965), há uma grande quebra de paradigma, quanto ao pensar em termos absolutos e a substituição para o pensar relativo. O processo de modelagem fuzzy permite expressar incertezas e subjetividades já que podem ser usadas informações qualitativas (linguísticas) e quantitativas. E é caracterizado como um procedimento de fácil compreensão, apropriado para descrever sistemas com razoáveis quantidades de conhecimento, além de ser baseado em linguagem natural, o que permite maior facilidade na comunicação dos modelos (GOMIDE; GUDWIN, 1994; PEDRYCZ; GOMIDE, 1988).

Na Amazônia, os fatores externos estão diretamente relacionados com as condições ambientais representadas por fenômenos como temperatura, pluviometria, poluição e podem incluir a ação direta do homem, na forma de processos como a pesca. Os ambientes são extremamente variáveis sazonalmente e os pescadores aproveitam desta variabilidade em sua prática pesqueira. Os ciclos biológicos dos peixes são estreitamente dependentes dos eventos

hidrológicos. A reprodução da maioria das espécies ocorre na época da subida das águas. Qualquer evento climático que afete de alguma forma essa dinâmica pode vir a comprometer os estoques pesqueiros. Qual fator ou que peso este terá sobre essa dinâmica não se tem informações. Não estão disponíveis também, projeções ou cenários locais dos eventos sobre os estoques pesqueiros, em particular do tambaqui que é um peixe de estratégia sazonal que realiza migração e encontra-se em estado de conservação vulnerável (ROSA; MENEZES, 1996), em estado de sobrepesca (CAMPOS, et al., 2015).

Neste contexto, a tese visa preencher uma lacuna no conhecimento científico sobre as questões locais dos efeitos climáticos no estoque pesqueiro do *Colossoma macropomum* (Curvier,1816) na Amazônia Central, desenvolver e aplicar novas abordagens metodológicas que evidenciem o efeito da pesca e de fatores ambientais sobre a sustentabilidade dos estoques naturais.

O manuscrito 1 caracteriza e analisa o status atual da pesca do tambaqui (*Colossoma macropomum*) utilizando informações da produção do tambaqui a partir do porto principal de Manacapuru (2014 a 2016) e entrevistas com pescadores da Colônia Z-9 para verificar possíveis alterações na dinâmica da pesca desta espécie.

O manuscrito 2 aborda a percepção dos pescadores sobre os eventos extremos e seus impactos sobre o ambiente, a atividade pesqueira e estoque do tambaqui. Para avaliar os fatores que são observados pelos pescadores no ambiente e na pesca do tambaqui utilizamos os Métodos de Decisão Multicritérios Fuzzy que tem dado excelentes resultados para avaliações e ordenações de importância nas tomadas de decisão (KAYA; KAHRAMAN,2014; PETERSON et al.,2013).

E, por fim, no manuscrito 3 analisaremos a sustentabilidade do tambaqui sob eventos extremos considerando riscos no ambiente, análise da vulnerabilidade da espécie e sob pressão da pesca. Propomos para isto um modelo de inferência Fuzzy ou modelo especialista Fuzzy e criamos índices para estas avaliações.

Referências

- ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. **Os frutos do tabaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá/CNPq, 1998. 186 p.
- ARAÚJO-LIMA, C.M.; RUFFINO, M. **Brazilian Amazon**. South America of, p. 233, 2003.
- BEGOSSI, A. **Local knowledge and training towards management**. Environment, Development and Sustainability, v. 10, n. 5, p. 591, 2008.
- BLOODHART, B. et al. **Local climate experts: The influence of local TV weather information on climate change perceptions**. PloS one, v. 10, n. 11, p. e0141526, 2015.
- CAMPOS, C. P. et al. **Population dynamics and stock assessment of Colossoma macropomum caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil)**. Fisheries management and ecology, v. 22, n. 5, p. 400-406, 2015.
- CARPENTER, S. R., FISHER, S. G., GRIMM, N. B., AND KITCHEL, J. F. **Global change and freshwater ecosystems**. *Annual Review of Ecology and Systematics* **23**, 119–139, 1992.
- COSTA-NETO, E.M.; MARQUES, J.G.W. **Etnoictiologia dos pescadores artesanais de Siribinha, município de Conde (Bahia): aspectos relacionados com a etologia dos peixes**. Acta Scientiarum, v. 22, n. 2, p. 553-560, 2000.
- DIEGUES, A.C. **Os saberes tradicionais e a biodiversidade no Brasil**. 2000.
- DIAS-NETO, J.; DIAS, J. de F.O. **O uso da biodiversidade aquática no Brasil: uma avaliação com foco na pesca**. Brasília: Ibama, 2015. 288 p.
- EDELSTEIN-KESHET, L. **Introduction to mathematical biology**. Random, 1988
- FAUSCH, K. D., TORGERSEN, C. E., BAXTER, C. V., AND LI, H. W. **Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes**. *Bioscience* **52**, 483–498, 2002.
- FERNÁNDEZ-LLAMAZARES, A. et al. **Rapid ecosystem change challenges the adaptive capacity of local environmental knowledge**. Global Environmental Change, v. 31, p. 272-284, 2015.
- FREITAS, C.E.C et al. **Levantamento do estado de exploração dos estoques de curimatã, jaraqui, surubim e tambaqui**. in: O setor pesqueiro na Amazônia: Situação atual e perspectivas. ProVárzea – Manaus: Ibama. 122 p. 2007.
- FREITAS CE et al. **An initial assessment of drought sensitivity in Amazonian fish communities**. Hydrobiologia. 2013;705(1):159-71.
- FORSBERG, Bruce R. et al. **The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems**. PloS one, v. 12, n. 8, p. e0182254, 2017.

GOMIDE, F.A.C.; GUDWIN, R. R.. **Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy**. SBA Controle & Automação, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994.

GUERREIRO, A.I.C. et al. **Riverine fishers' knowledge of extreme climatic events in the Brazilian Amazonia**. Journal of ethnobiology and ethnomedicine, Londres, v. 12, n. 1, p. 50, 2016.

HARTTER, Joel et al. **Patterns and perceptions of climate change in a biodiversity conservation hotspot**. PloS one, v. 7, n. 2, p. e32408, 2012.

HOBDAY, A. J., AND LOUGH, J. M. **Projected climate change in Australian marine and freshwater environments**. *Marine and Freshwater Research* **62**, 1000–1014, 2011.

HUNTINGTON, H. et al. **How small communities respond to environmental change: patterns from tropical to polar ecosystems**. Ecology and Society, v. 22, n. 3, 2017.

IPCC. SUMMARY FOR POLICYMAKERS. **CLIMATE CHANGE: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Avryt KB, Tignor M, Miller HL (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 2007, 113p.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

ISAAC, V.J.; RUFFINO, ML. **Population dynamics of tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil**. Fisheries Management and Ecology, 3; 1996. 315-333.

JAHAN, I. et al. **Fishers' local knowledge on impact of climate change and anthropogenic interferences on Hilsa fishery in South Asia: evidence from Bangladesh**. Environment, Development and Sustainability, v. 19, n. 2, p. 461-478, 2017.

JOHANNES, R.E. et al. **Ignore fishers' knowledge and miss the boat**. Fish and Fisheries, v. 1, n. 3, p. 257-271, 2000.

JUNK, W., BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. **The flood pulse concept in river-floodplain systems**. Pages 110-127 in D.P. Dodge, ed. Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106. 1989.

KAYA, İ.; KAHRAMAN, C. **A comparison of fuzzy multicriteria decision making methods for intelligent building assessment**. Journal of Civil Engineering and Management, v. 20, n. 1, p. 59-69, 2014.

LLORET, J. et al. **How a multidisciplinary approach involving ethnoecology, biology and fisheries can help explain the spatio-temporal changes in marine fish abundance resulting from climate change**. Global Ecology and Biogeography, v. 24, n. 4, p. 448-461, 2015.

- MALHI Y, et al. **Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon**. Science 2008; 319:169-172.
- PARMESAN, C., AND YOHE, G. **A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems**. *Nature* 421, 37–42, 2003.
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Mit Press, 1998.
- PETERSON, D.P. et al. **Linking climate change and fish conservation efforts using spatially explicit decision support tools**. *Fisheries*. 38(3): 112-127, 2013
- PETRERE, M. **Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil**. *Journal of Fish Biology*, v. 22, n. 2, p. 133-144, 1983.
- PITTOCK, J., HANSEN, L. J., AND ABELL, R. **Running dry: freshwater biodiversity, protected areas and climate change**. *Biodiversity* 9(3–4), 30–38, 2008.
- POFF, N. L., BRINSON, M. M., AND DAY, J. W. **Aquatic ecosystems and global climate change. Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States**. Report for Pew Center on Global Climate Change. 2002
- RAMIRES, M. et al. **Etnoecologia caiçara: o conhecimento dos pescadores artesanais sobre aspectos ecológicos da pesca**. *Biotemas*, v. 20, n. 1, p. 101-113, 2007.
- ROSA, Ricardo S.; MENEZES, Naércio A. **Relação preliminar das espécies de peixes (Pisces, Elasmobranchii, Actinopterygii) ameaçadas no Brasil**. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 13, n. 3, p. 647-667, 1996.
- THOMAS, C. D., et al. **Extinction risk from climate change**. *Nature* 427, 145–148, 2004.
- SHUKLA J, NOBRE CA, SELLERS P. **Amazon deforestation and climate change**. *Science* 1990; 247:1322-1325
- SOUSA, RGC; FREITAS C. **Seasonal catch distribution of tambaqui (*Colossoma macropomum*), Characidae in a central Amazon floodplain lake: implications for sustainable fisheries management**. *Journal of Applied Ichthyology*. 2011;27(1):118-21.
- SOARES, MGM et al., **Peixes de lagos do médio rio Solimões**. 2ed.rev. Raggio edições. Manaus, 2011.
- VIEIRA EF, ISAAC VJ, FABRÉ NN. **Biologia reprodutiva do tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 (Teleostei, Serrasalminae), no baixo Amazonas**. *Acta Amazônica* 1999;29(4):625-638.
- ZADEH, Lotfi A. **Fuzzy sets**. *Information and control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

Área de estudo

A Amazônia Central surge como uma macrorregião a partir da criação do Plano Amazônia Sustentável-PAS pelo Ministério do Meio Ambiente-MMA em 2003. Esta macrorregião abrange o oeste e norte do Pará, norte do Amapá e o vale do rio Madeira no Amazonas (Figura 1).

Figura 1: Mapa das regiões da Amazônia Sustentável-PAS



fonte: http://nonatobouth.blogspot.com.br/2010_12_01_archive.html

A região pesqueira da Amazônia Central se estende do rio Juruá, a oeste, à foz do rio Madeira, a leste, ao longo do rio Amazonas-Solimões concentrando parte de três sub-regiões hidrográficas dos rios Negro, Solimões e Purus dentre os principais rios da Bacia Amazônica. A área geográfica utilizada pelos pescadores da Amazônia Central é ampla e o recurso explorado em áreas de até 1000km de Manaus e de cidades vizinhas como Iranduba, Parintins e Manacapuru é responsável por mais de 50% das capturas comerciais. As mais importantes áreas pesqueiras da região até a década de 70 foi Solimões-Japurá, Amazonas, Purus, Juruá, Madeira e Negro. No entanto, a partir da década de 90 as duas áreas responsáveis por mais da metade da produção de pescado desembarcado no Mercado Público de Manaus são Solimões-Japurá e Purus (RUFFINO, 2004). Dentre as espécies de maior valor comercial e já em estado de sobre-exploração está o tambaqui (*Colossoma macropomum*) (PETRERE, 1983; RUFFINO; ISAAC, 1996; SANTOS, 2005; BATISTA et al., 2012; SOUSA; FREITAS, 2011; CAMPOS et al., 2015) que tem sua história de vida e ciclo biológico relacionado aos eventos hidrológicos, em especial a duração e a intensidade das águas nas estações de enchente/cheia e vazante/seca.

O efeito do aquecimento global pode variar por região, sendo acompanhado por mudanças na precipitação que podem incluir incrementos ou reduções em diferentes regiões, e também mudanças na variabilidade do clima e na frequência e intensidade de eventos extremos de clima (MARENGO, 2001). Exemplos desses impactos climáticos que afetam a Amazônia são o aumento na frequência de ondas de calor, incremento na frequência de chuvas que podem causar enchentes, secas de verão mais intensas e variações na frequência de eventos tipo El Niño e la Niña. A frequência de enchentes e secas extremas dentre outros efeitos na Amazônia, são efeitos locais das mudanças climáticas globais. Alterações frequentes e extremas no ciclo hidrológico por efeitos de mudanças climáticas globais podem resultar em quebras no recrutamento afetando o estoque pesqueiro do tambaqui. Secas extremas podem alterar suas condições biológicas devidas a forte dependência das áreas alagadas para alimentação, levando a um ponto limítrofe de estresse (TRIBUZY-NETO et al., 2017; FREITAS et al., 2013) e mudanças na sua distribuição na Amazônia (LOPES et al., 2017). Por consequência destes impactos na pesca, estes eventos locais nos principais rios da Amazônia Central podem conduzir a modificações de hábitos e cultura de pescarias dos ribeirinhos. A integridade destes tributários assim como os habitats neles encontrados é fundamental para o sucesso e a manutenção da pesca do tambaqui na Amazônia Central.

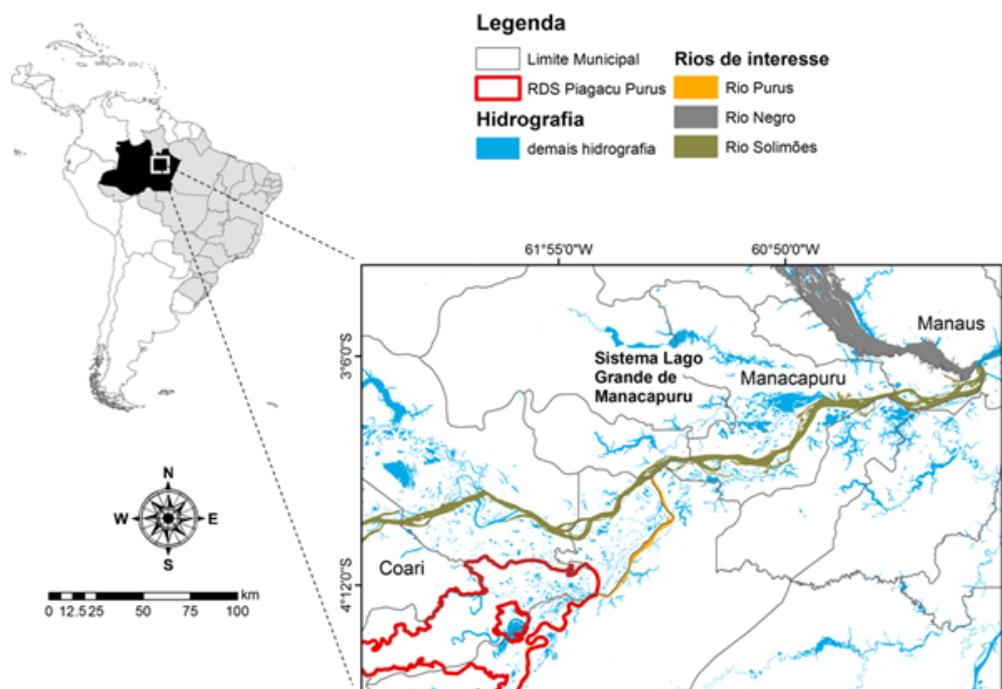
Na Amazônia Central grande parte da origem dos peixes desembarcados vem das várzeas e dos rios Solimões e Purus. Projeções e estudos realizados nestas bacias indicaram para a Bacia do Purus diminuição global de 27% em sua descarga e mudanças nas tendências sazonais com severos impactos sobre a manutenção dos ecossistemas naturais e subsistência humana (DALAGNOL et al., 2017). No entanto, já foi detectado a montante e a jusante diminuição do valor do pH, oxigênio dissolvido e diminuição de sua área florestal de 5,17% (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2017). No rio Solimões a descarga e o nível de precipitações de chuva já vem apresentando mudanças e os impactos tem causados as secas extremas com intensidades variadas de baixo a alto Solimões (ESPINOZA et al., 2011; SANTOS et al., 2017). A intensidade pluviométrica varia ao longo da calha do Rio Solimões, onde o médio e baixo Solimões foram as regiões mais afetadas durante as secas extremas (SERRÃO et al., 2017; LOPES et al., 2017).

Além disso, as projeções ao longo do rio Solimões são de aumento das extensões de inundação nas suas áreas húmidas e para os rios Purus e Negro alterações na duração e intensidade de secas e cheias respectivamente (SORRIBAS et al., 2016). Estas diferenças locais dos efeitos de mudanças climáticas globais são devidas as complexas e diferenciadas condições

climáticas da Amazônia e estudos estão sendo realizados para o entendimento de intensidade dos efeitos extremos em suas bacias (SANTOS et al., 2016; PANISSET et al., 2017; MARENGO et al., 2012).

Invocando a necessidade de informações nestes sistemas da Amazônia Central que está sob a pressão e projeção destas variações climáticas locais e globais. Delimitamos nossa área de pesquisa as populações de tabaqui da Amazônica Central que se concentram no trecho inferior do rio Solimões, compreendido entre a foz do rio Coari e a confluência dos rios Solimões e Negro. Abrangendo ainda o trecho inferior do rio Purus, compreendido entre o limite superior da RDS Piagaçu Purus e a confluência entre os rios Purus e Solimões (Figura 2).

Figura 2: Mapa da área de estudo



O Tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central.

Figura 3: *Colossoma macropomum*



Fonte: Fishbase (2017)

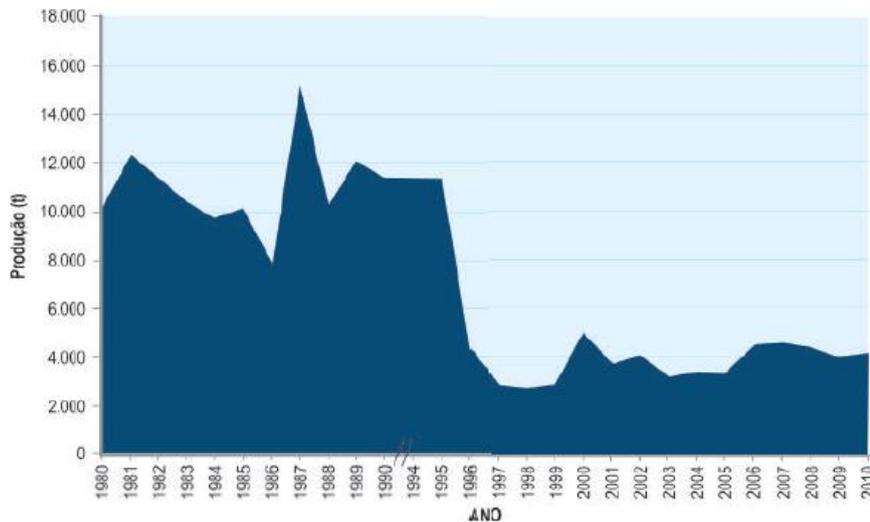
Colossoma macropomum (CUVIER, 1818), o tambaqui caracteriza-se por ter o corpo alto e levemente comprimido lateralmente. Sua coloração é escura, amarela no dorso, com o abdômen esbranquiçado. Os rastos branquiais são longos e numerosos. Possui dentes robustos, implantados fortemente na mandíbula. Apresenta de 13 a 14 raios peitorais, 30 a 31 raios caudais, nadadeira adiposa raiada e 67 a 76 escamas na linha lateral. Espécie de grande porte, alcança 90cm de comprimento total e 30kg de peso (SOARES, et al. (2011), p.53).

O Tambaqui (Figura 3) pertence à família dos caracídeos na subfamília Serrasalminae só encontrados e distribuídos na parte setentrional da América do Sul no Brasil, Peru, Venezuela, Bolívia e Colômbia. Evidências fósseis de *Colossoma* demonstram que o tambaqui permaneceu morfológica e ecologicamente conservativo por pelo menos 15 milhões de anos. Os fósseis descobertos no vale do alto rio Magdalena na Venezuela indicam que após eventos geológicos como a elevação dos Andes, houve redução ou o desaparecimento das florestas marginais ao longo do rio Magdalena, o que levou a extinção do *Colossoma* neste sistema fluvial. Atualmente, esta espécie está distribuída geograficamente em rios e afluentes no Brasil (Solimões/Amazonas, Madeira, Curuá una, Trombetas), Venezuela e Colômbia (Orinoco, Apure, Caroni, Guanare, Meta), Peru (Marañon e Ucayali) e Bolívia (Mamoré, Guaporé e Beni). Os nomes dados ao Tambaqui mudam conforme a área ou países onde é encontrado, na Bolívia e Peru é conhecido como pacu ou gamitana, na Colômbia, Venezuela e Equador como cachama e alguns outros países como Estados Unidos conhecidos por pacu. A água barrenta é o principal fator com o qual a distribuição do Tambaqui pode estar relacionada, mas também

por rios de grande extensão com grandes inundações sazonais (5 a 15 m) causando aos ambientes vastas extensões de áreas de várzea que representam o maior habitat de áreas ocupadas pelo Tambaqui uma vez que favorece seu ciclo de vida (hábitos alimentares, reprodução, migrações). Na Amazônia Central as várzeas ocupam mais que 75% do total da área fluvial, seguidas pelos lagos 9% e os canais dos rios com cerca de 16% (ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998).

O Tambaqui surge com maior ênfase no cenário da pesca e no comércio dos centros urbanos e principalmente em Manaus nas décadas de 60 e 70 quando se sobrepôs ao pirarucu (*Arapaima gigas*), então substituto do bacalhau, hábito alimentar da cozinha portuguesa (ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998). A época a espécie já era responsável por cerca de 40% ou 13 mil toneladas anuais de todo o pescado consumido em Manaus sendo a espécie mais explorada na Amazônia Central (PETRERE, 1978, 1983). A intensa exploração continuou nos anos 80, com a espécie ocupando a segunda posição nos desembarques de pescado em Manaus, e chegando a ser a espécie mais importante em 1995 e a sétima em 1994 (MERONA; BITTENCOURT, 1988; BATISTA, 1998). Ainda hoje, o tambaqui é um peixe considerado alvo na pesca comercial devido à preferência do mercado local (ISAAC; RUFFINO, 1996). Este fator tem contribuído para que sua abundância e tamanho de captura tenham ao longo dos anos decrescidos e passados para uma condição de sobrepesca de crescimento na Amazônia brasileira, como relatados em vários estudos sobre a espécie (ISAAC; RUFFINO, 1996; PETRERE, 1983; ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998; COSTA et al., 2001; CAMPOS et al., 2015). No período de 2001 a 2004, segundo o programa de monitoramento do ProVárzea, a captura média do tambaqui não superou 1000 toneladas. O que claramente indica situação de declínio nos desembarques (BATISTA et al., 2012). O comportamento da produção total nacional não é diferente e até 2010 observou-se uma tendência de estagnação das produções entre 2000 e 2010 em 4000 t. No período de 1980 a 2010 houve grandes oscilações com produção máxima de 15.264 t entre 1987 e 1988 chegando a 2.760 t em 1998 a menor do período (DIAS-NETO, 2015) (Figura 4).

Figura 4: Produção nacional de tabaqui



Fonte: (DIAS-NETO, 2015)

O ciclo de vida do tabaqui está integrado ao pulso de inundação (JUNK, et al., 1989) e a região hidrográfica caracterizada por grandes rios com extensas áreas de várzea e lagos (ARAÚJO-LIMA; GOULDING,1998). Onde o tabaqui adulto, na fase de enchente/cheia, se alimenta de frutos e sementes nas florestas inundadas, que servem também como áreas de berçário. Na fase de vazante/seca, ele migra para o rio saindo dos tributários onde passa o período de desova.

O tabaqui é tão integrado ao pulso de inundações das características hidrográficas locais, que mesmo em bacias hidrográficas distintas ele usa o mesmo impulso natural para a execução dos seus ciclos de vida. Na bacia Amazônica quanto na bacia do Orinoco, sua desova ocorre nos períodos de enchente. No rio Amazonas a enchente ocorre em novembro a fevereiro, no rio Mamoré de outubro a novembro e no rio Orinoco entre abril e julho. O pescador acompanha o movimento e ciclo de vida do tabaqui para realizar as capturas. As áreas de pesca no médio Solimões são caracterizadas por 8 ambientes segundo Costa (2001): "boca" (foz de pequenos rios, paraná ou lago), "enseada-pausada" (curvas de rio onde a correnteza desmoronou as margens formando enseadas com galhos e troncos de árvores), "igapó" (floresta alagada), lagos, paraná, praia, ressaca e rio. Para cada ambiente os pescadores usam diferentes estratégias de captura e de aparelhos de pesca.

Por outro lado, o sistema ecológico que sustenta as populações de tabaqui está atualmente em situação de alerta devido às mudanças climáticas em todo o norte do Brasil, e

especialmente na Amazônia, que incluem previsões de temperaturas mais altas, estações secas mais severas e, possivelmente, queda de precipitação anual (IPCC, 2014; WITTMANN et al, 2017; SORRIBAS et al, 2016). Estudos recentes comprovam que as respostas a estes impactos, como cheias ou secas prolongadas, são diferentes para cada espécie e variadas suas respostas à temperatura (FREITAS et al, 2013; ROJAS et al, 2013; CORREIA et al, 2015).

Os trabalhos de avaliação dos impactos de mudanças climáticas nas populações de peixes em geral ainda são escassos. Na Amazônia estudos que avaliam como estes impactos afetam as populações de peixes locais são raros e se concentram nos peixes alvos comerciais ou na análise da resiliência e impacto sobre os biomas. O conhecimento dos pescadores sobre os efeitos dos eventos extremos nas populações ou no habitat do tambaqui ainda não foram descritos. Estudos de como a população reage a cenários de temperaturas previstas para a Amazônia tem mostrado que de acordo com suas intensidades, os processos metabólicos vitais alteram a homeostase celular, ou seja, sua capacidade em manter o equilíbrio físico-químico característico e constante, colocando em risco a espécie (LIMA et al, 2016). O efeito combinado do aquecimento global e a importância relativa da pesca para a economia e dieta das populações, torna as espécies vulneráveis aos impactos climáticos (ALLISON et al., 2009). Nosso estudo se presta a buscar informações sobre o estado atual da pesca do tambaqui “Como está o estoque e a pesca do tambaqui?”, o conhecimento e percepção real do pescador sobre os eventos extremos de seca e cheia “Como são percebidos e o quanto estes eventos afetam o pescador e sua pescaria?” e como foram percebidos os impactos sobre a população de tambaqui e sua sustentabilidade na região pesqueira da Amazônia Central “Os estoques mostram-se sustentáveis sob os efeitos climáticos extremos?”.

Referências

- ALLISON, E. H., et al. **Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries**. *Fish and Fisheries* 10, 2009. 173–196p.
- ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. **Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá/CNPq, 1998. 186 p.
- BATISTA, V.S. **Distribuição, dinâmica da pesca e dos recursos pesqueiros na Amazônia Central**. Tese de doutorado, INPA/FUA; Manaus, 1998. 291 pp.
- BATISTA, V.S.; ISAAC, V.J. **Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada**. 1ª ed. Brasília: IBAMA. 2012 278p.
- CADDY, J.E.; SHARP, G.D. **Un marco ecológico para la investigación pesquera**. FAO, 1988.
- COSTA, L.D. et al. **Tambaqui, *Colossoma macropomum*, fisheries with focus on an area on middle Amazon River, Amazonas state, Brazil**. *Acta Amazonica*, v. 31, n. 3, p. 449-449, 2001.
- DIAS-NETO, J.; DIAS, J. de F.O. **O uso da biodiversidade aquática no Brasil: uma avaliação com foco na pesca**. Brasília: Ibama, 2015. 288 p.
- IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- ISAAC, V.J.; RUFFINO, ML. **Population dynamics of tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil**. *Fisheries Management and Ecology*, 3; 1996. 315-333.
- ROJAS LM et al. **Histology of gill, liver and kidney in juvenile fish *Colossoma macropomum* exposed to three temperatures**. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*. 2013;61(2).
- SORRIBAS MV et al. **Projections of climate change effects on discharge and inundation on Amazon Basin**. *Climatic Change*. 2016. 136:555-570.
- FREITAS CE et al. **An initial assessment of drought sensitivity in Amazonian fish communities**. *Hydrobiologia*. 2013;705(1):159-71.
- SOUSA, RGC; FREITAS C. **Seasonal catch distribution of tambaqui (*Colossoma macropomum*), Characidae in a central Amazon floodplain lake: implications for sustainable fisheries management**. *Journal of Applied Ichthyology*. 2011;27(1):118-21.
- MERONA, B.; BITTENCOURT, M. M. **A pesca na Amazônia através dos desembarques no mercado de Manaus: Resultados preliminares**. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*, v. 48, (Supl. 2), p. 433-453, 1988.

PETRERE, M. **Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. II. Locais e aparelhos de captura e estatística de desembarque.** Acta Amazonica, v. 8, (Supl. 2), p.1-54, 1978.

PETRERE, M. **Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil.** Journal of Fish Biology, v. 22, n. 2, p. 133-144, 1983.

LIMA, EG. et al. **Fishers' knowledge indicates short-term temporal changes in the amount and composition of catches in the southwestern Atlantic.** Marine Policy, v. 71, p. 111-120, 2016.

JUNK, W., BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. **The flood pulse concept in river-floodplain systems.** Pages 110-127 in D.P. Dodge, ed. Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106. 1989.

RUFFINO, ML (Coord.). **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira /** Coordenado por Mauro Luis Ruffino. – Manaus: Ibama/ProVárzea, 2004. 272p.

SANTOS, G.M; SANTOS, ACM. **Sustentabilidade da pesca na Amazônia.** Estudos avançados, v. 19, n. 54, p. 165-182, 2005.

JONES, R. **Ecosystems, food chains and fish yields.** In: Theory and management of tropical fisheries. ICLARM Conference Proceedings. 1982. p. 195-239.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts.** International Journal of Climatology, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016.

RÖPKE, CP. et al. **Simultaneous abrupt shifts in hydrology and fish assemblage structure in a floodplain lake in the central Amazon.** Scientific reports, v. 7, p. 40170, 2017.

SOARES, MGM et al., **Peixes de lagos do médio rio Solimões.** 2ed.rev. Raggio edições. Manaus, 2011. 160p

WITTMANN, F et al. **The Brazilian freshwater wetscape: Changes in tree community diversity and composition on climatic and geographic gradients.** PloS one, v. 12, n. 4, p. e0175003, 2017.

A metodologia - Lógica Fuzzy

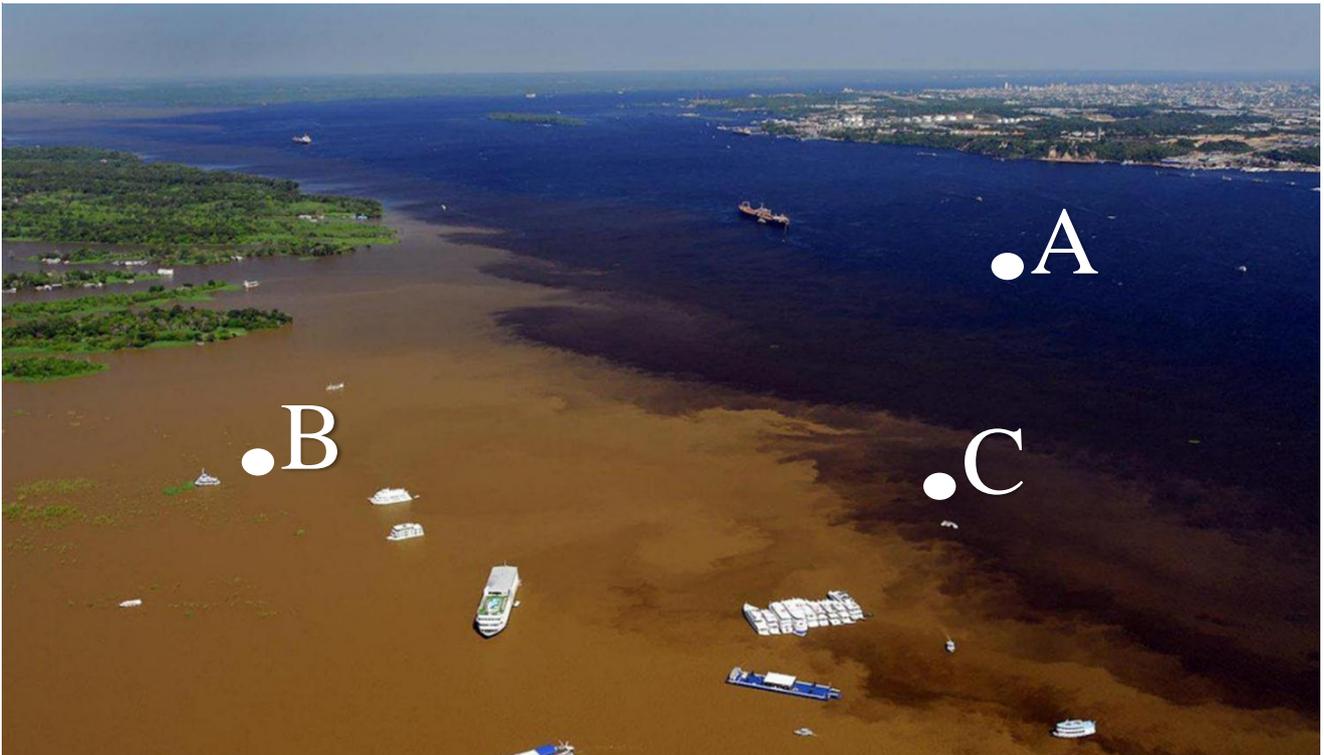
I – Lógica convencional e Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy foi divulgada e estruturada por Zadeh em 1965. No entanto, o primeiro a explorar a ideia de um intervalo de valores $[0,1]$ para o contradomínio da função característica foi o filósofo e lógico polonês Jan Lukasiewicz em 1930, em 1937 o filósofo Max Black definiu o conjunto fuzzy e algumas operações básicas. Mas quem estruturou e expandiu a ideia foi Zadeh (ZADEH, 1965) e continuou com publicações com a lógica fuzzy em sistemas e processos de decisão (ZADEH, 1973), para tratamento de incertezas em sistemas especialistas (ZADEH, 1983) e igualando a lógica fuzzy a computação com palavras (ZADEH, 1996). O que levou Zadeh a ser considerado o mestre da lógica fuzzy foi a ideia de fuzificação que ele redescobriu e explorou.

A lógica fuzzy possibilita um tratamento diferenciado e extensivo das relações de pertinência de um elemento a um conjunto clássico. Quando um elemento é observado em relação a um conjunto clássico podemos dizer que ele pertence ou não pertence a esse conjunto, ou seja, a lógica clássica do 0 (se ele não está no conjunto) e 1 (se ele está no conjunto). Nos conjuntos fuzzy podemos dizer que o elemento pertence ao conjunto ou não, mas também o quanto ele pertence aquele conjunto. Um exemplo de nossa região seria o encontro das águas com os tons de coloração do rio Negro e Solimões. Considere que o conjunto seja o encontro das águas (Figura 5). Nele tomemos alguns pontos nesse conjunto. Se o ponto A está totalmente situado do lado do rio Negro podemos afirmar que A está em Negro com pertinência total de grau 1. Se tomamos um ponto B podemos afirmar que B está no Solimões e este ponto tem pertinência total de grau 1. No entanto, se tomamos o ponto C como na (Figura 5) então o que podemos afirmar? Está no tom do Negro e do Solimões, mas não completamente, não com pertinência completa igual a 1 nas cores negra ou branca. Está no conjunto encontro das águas,

mas com pertinência para os tons de cores do rio Negro e do rio Solimões diferentes. Logo esse ponto é mais ou menos negro e mais ou menos branco, mas não totalmente negro ou totalmente branco.

Figura 5: Exemplo pictórico de pertinência dos conjuntos fuzzy



Essa ideia de imprecisão é tratada na lógica fuzzy com robustez. Passemos a uma introdução de tempos básicos deste tipo de abordagem.

II – Algumas definições de Lógica Fuzzy

Definição 2.1. Seja U um conjunto e A um subconjunto de U . A *função característica* de A é dada por

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Desta forma, χ_A é uma função cujo domínio é U e a imagem está contida no conjunto $\{0,1\}$ com $X_A(x) = 1$ indicando que o elemento x está em A , enquanto $X_A(x) = 0$ indica que

x não é elemento de A . Assim, a função característica descreve completamente o conjunto A , já que tal função indica quais elementos do conjunto universo U são elementos também de A .

Definição 2.2. Seja U um conjunto (clássico); um *subconjunto fuzzy* F de U é caracterizado por uma função

$$\varphi_F: U \rightarrow [0,1],$$

pré-fixada, chamada *função de pertinência* do subconjunto fuzzy F . O valor $\varphi_F(x) \in [0,1]$ indica o grau com que o elemento x de U está no conjunto fuzzy F ; $\varphi_F(x) = 0$ e $\varphi_F(x) = 1$ indicam, respectivamente, a não pertinência e a pertinência completa de x ao conjunto fuzzy F .

Um subconjunto fuzzy F é composto de elementos x de um conjunto clássico U , providos de um valor de pertinência a F , dado por $\varphi_F(x)$. Podemos dizer que um subconjunto fuzzy F de U é dado por um conjunto (clássico) de pares ordenados:

$$F = \{(x, \varphi_F(x)), \text{ com } x \in U\}$$

Um subconjunto clássico, na linguagem fuzzy, costuma ser denominado por *subconjunto crisp*.

Definição 2.4. (União). A *união* entre A e B é o subconjunto fuzzy de U cuja função de pertinência é dada por

$$\varphi_{(A \cup B)}(x) = \max\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}, x \in U.$$

Esta definição é uma extensão do caso clássico. De fato, quando A e B são subconjuntos clássicos de U temos:

$$\begin{aligned} \max\{x_A(x), x_B(x)\} &= \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \text{ ou } x \in B \\ 0 & \text{se } x \notin A \text{ e } x \notin B \end{cases} \\ &= \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \cup B \\ 0 & \text{se } x \notin A \cup B \end{cases} \\ &= x_{A \cup B}(x), x \in U \end{aligned}$$

Definição 2.5. (Intersecção). A *intersecção* entre A e B é o subconjunto fuzzy de U cuja função de pertinência é dada por

$$\varphi_{(A \cap B)}(x) = \min\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}, x \in U.$$

Definição 2.6. (Complementar de subconjuntos fuzzy). O *complementar* de A é o subconjunto fuzzy A' de U cuja função de pertinência é dada por:

$$\varphi_{A'}(x) = 1 - \varphi_A(x), x \in U$$

Definição 2.7. Os subconjuntos fuzzy A e B de U são *iguais* se suas funções de pertinência coincidem, isto é, se $\varphi_A(x) = \varphi_B(x)$ para todo $x \in U$.

Proposição 2.8. *As operações entre subconjuntos fuzzy satisfazem as seguintes propriedades:*

- $A \cup B = B \cup A$
- $A \cap B = B \cap A$
- $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
- $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
- $A \cup A = A$
- $A \cap A = A$
- $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
- $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
- $A \cap \emptyset = \emptyset$ e $A \cup \emptyset = A$
- $A \cap U = A$ e $A \cup U = U$
- $(A \cup B)' = A' \cap B'$ e $(A \cap B)' = A' \cup B'$ (*Leis de Morgan*).

Definição 2.9. (α -nível). Seja A um subconjunto fuzzy de U e $\alpha \in [0, 1]$. O α -nível de A é o subconjunto clássico de U definido por

$$[A]^\alpha = \{x \in U: \varphi_A(x) \geq \alpha\} \text{ para } 0 < \alpha \leq 1.$$

Este conjunto indica as classes que o elemento x de U está, se seu grau de pertinência é maior que um determinado valor limiar ou nível $\alpha \in [0, 1]$ que define aquela classe. O conjunto clássico de tais elementos é um α -nível de A , denotado por $[A]^\alpha$.

Definição 2.6. (Princípio de Extensão de Zadeh). Sejam f uma função tal que $f : X \rightarrow Z$ e A um subconjunto fuzzy de X . A *extensão de Zadeh* de f é a função \hat{f} que, aplicada a A , fornece o subconjunto fuzzy $\hat{f}(A)$ de Z , cuja função de pertinência é dada por

$$\varphi_{\hat{f}(A)}(z) = \begin{cases} \sup_{f^{-1}(z)} \varphi_A(x) & \text{se } f^{-1}(z) \neq \emptyset \\ 0 & \text{se } f^{-1}(z) = \emptyset \end{cases}$$

onde $f^{-1}(z) = \{x; f(x) = z\}$ denomina-se a *pré-imagem* de z .

Definição 2.7. Sejam $f : X \times Y \rightarrow Z$ e, A e B subconjuntos fuzzy de X e Y , respectivamente. A *extensão \hat{f}* de f , aplicada a A e B , é o subconjunto fuzzy $\hat{f}(A, B)$ de Z , cuja função de pertinência é dada por:

$$\varphi_{\hat{f}(A, B)}(z) = \begin{cases} \sup_{f^{-1}(z)} \min[\varphi_A(x), \varphi_B(y)] & \text{se } f^{-1}(z) \neq \emptyset \\ 0 & \text{se } f^{-1}(z) = \emptyset \end{cases}$$

onde $f^{-1}(z) = \{(x, y) : f(x, y) = z\}$.

Definição 2.8. (Número fuzzy). Um subconjunto fuzzy A é chamado de *número fuzzy* quando o conjunto universo no qual φ_A está definida, é o conjunto dos números reais R e satisfaz às condições:

- i. todos os α – níveis de A são não vazios, com $0 \leq \alpha \leq 1$;
- ii. todos os α – níveis de A são intervalos fechados de R ;
- iii. $\text{supp } A = \{x \in R : \varphi_A(x) > 0\}$ é limitado.

Vamos denotar os α – níveis do número fuzzy A por

$$[A]^\alpha = [a_1^\alpha, a_2^\alpha].$$

III – Números Fuzzy

Definição 3.1. Um número fuzzy A é dito *triangular* se sua função de pertinência é da forma

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{u-a} & \text{se } a < x < u \\ \frac{x-b}{u-b} & \text{se } u < x \leq b \\ 0 & \text{se } x \geq b \end{cases}$$

Definição 3.2. Um número fuzzy A é dito *trapezoidal* se sua função de pertinência tem a forma de um trapézio e é dada por:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a \leq x < b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Definição 3.3. (Operações Intervalares). As operações aritméticas entre intervalos podem ser definidas como:

(a) A *soma* entre A e B é o intervalo

$$A + B = [a_1 + b_1, a_2 + b_2].$$

(b) A *diferença* entre A e B é o intervalo

$$A - B = [a_1 - b_2, a_2 - b_1].$$

(c) A *multiplicação* de A por um escalar λ é o intervalo

$$\lambda A = \begin{cases} [\lambda a_1, \lambda a_2] & \text{se } \lambda \geq 0 \\ [\lambda a_2, \lambda a_1] & \text{se } \lambda < 0 \end{cases}$$

(d) A *multiplicação* de A por B é o intervalo

$$A \cdot B = [\min P, \max P],$$

onde $P = \{a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2\}$.

(e) A *divisão* de A por B , se $0 \notin B$, é o intervalo

$$\frac{A}{B} = [a_1, a_2] \cdot \left[\frac{1}{b_2}, \frac{1}{b_1} \right].$$

Definição 3.4. Sejam A e B dois números fuzzy e λ um número real.

(a) A soma dos números fuzzy A e B é o número fuzzy, $A + B$, cuja função de pertinência é

$$\varphi_{\hat{f}(A,B)}(z) = \begin{cases} \sup \min[\varphi_A(x), \varphi_B(y)] & \text{se } \phi(z) \neq \emptyset \\ \phi(z) & \\ 0 & \text{se } \phi(z) = 0 \end{cases}$$

onde $\phi(z) = \{(x, y) : x + y = z\}$.

b) A multiplicação de λ por A é o número fuzzy λA , cuja função de pertinência é

$$\varphi_{\lambda A}(z) = \begin{cases} \sup_{\{x: \lambda x = z\}} [\varphi_A(x)] & \text{se } \lambda \neq 0 \\ X_{\{0\}}(z) & \text{se } \lambda = 0 \end{cases} = \begin{cases} \varphi_A(\lambda^{-1}z) & \text{se } \lambda \neq 0 \\ X_{\{0\}}(z) & \text{se } \lambda = 0 \end{cases}$$

onde $X_{\{0\}}$ é a função característica de $\{0\}$.

(c) A diferença $A - B$ é o número fuzzy cuja função de pertinência é dada por:

$$\varphi_{\hat{f}(A-B)}(z) = \begin{cases} \sup \min [\varphi_A(x), \varphi_B(y)] & \text{se } \phi(z) \neq \emptyset \\ \phi(z) & \\ 0 & \text{se } \phi(z) = 0 \end{cases},$$

onde $\phi(z) = \{(x, y) : x - y = z\}$.

(d) A multiplicação de A por B é o número fuzzy $A.B$, cuja função de pertinência é dada por:

$$\varphi_{\hat{f}(A.B)}(z) = \begin{cases} \sup \min [\varphi_A(x), \varphi_B(y)] & \text{se } \phi(z) \neq \emptyset \\ \phi(z) & \\ 0 & \text{se } \phi(z) = 0 \end{cases},$$

onde $\phi(z) = \{(x, y) : x.y = z\}$.

(e) A divisão é o número fuzzy A/B cuja função de pertinência é

$$\varphi_{\hat{f}(A/B)}(z) = \begin{cases} \sup \min [\varphi_A(x), \varphi_B(y)] & \text{se } \phi(z) \neq \emptyset \\ \phi(z) & \\ 0 & \text{se } \phi(z) = 0 \end{cases},$$

onde $\phi(z) = \{(x, y) : x/y = z\}$.

III – Conectivos básicos de Lógica Fuzzy e Variáveis Linguísticas

Definição 3.1. (*t*-norma). O operador $\Delta: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, $\Delta(x, y) = x \Delta y$, é uma *t*-norma, se satisfizer as seguintes condições:

- t1) *elemento neutro*: $\Delta(1, x) = 1 \Delta x = x$;
- t2) *comutativa*: $\Delta(x, y) = x \Delta y = y \Delta x = \Delta(y, x)$;
- t3) *associativa*: $x \Delta (y \Delta z) = (x \Delta y) \Delta z$;
- t4) *monotonicidade*: se $x \leq u$ e $y \leq v$, então $x \Delta y \leq u \Delta v$.

A operação *t*-norma estende o operador \wedge que modela o conectivo “e”.

Definição 3.2. (*t*-conorma). O operador $\nabla(x, y) = x \nabla y$ é uma *t*-conorma se satisfizer as seguintes condições:

- c1) *elemento neutro*: $\nabla(0, x) = 0 \nabla x = x$;
- c2) *comutativa*: $\nabla(x, y) = x \nabla y = y \nabla x = \nabla(y, x)$;
- c3) *associativa*: $x \nabla (y \nabla z) = (x \nabla y) \nabla z$;
- c4) *monotonicidade*: se $x \leq u$ e $y \leq v$, então $x \nabla y \leq u \nabla v$.

O operador *t*-conorma $\nabla: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ estende o operador \vee do conectivo “ou”.

Definição 3.3. (negação). Uma aplicação $\eta: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ é uma negação se satisfizer as seguintes condições:

- n1) *fronteiras*: $\eta(0) = 1$ e $\eta(1) = 0$;
- n2) *involução*: $\eta(\eta(x)) = x$;
- n3) *monotonicidade*: η é decrescente.

Definição 3.4. (Implicação fuzzy). Um operador $\Rightarrow: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ é uma implicação fuzzy se satisfizer as seguintes condições:

1. reproduzir a tabela da implicação clássica;
2. for decrescente na primeira variável, ou seja, para cada $x \in [0, 1]$ tem-se

$$(a \Rightarrow x) \leq (b \Rightarrow x) \text{ se } a \geq b;$$

3. for crescente na segunda variável, ou seja, para cada $x \in [0, 1]$

tem-se

$$(x \Rightarrow a) \geq (x \Rightarrow b) \text{ se } a \geq b.$$

Definição 3.5. (Variável linguística). Uma *variável linguística* X no universo U é uma variável cujos valores assumidos são subconjuntos fuzzy de U .

Intuitivamente, uma variável linguística é um substantivo, enquanto seus valores são adjetivos, representados por conjuntos fuzzy.

IV – Sistemas baseados em Regras Fuzzy

4.1. Controlador fuzzy

Os controladores fuzzy tiveram sua origem em pesquisas de E. H. Mamdani (MAMDANI, 1976) e a partir deste ganharam espaço em várias áreas de pesquisa e ensino com vastas aplicações da teoria de controles fuzzy (SANDRI; CORREA, 1999). A ideia de controladores fuzzy é modelar as ações a partir do conhecimento especialista, por intermédio de regras linguísticas ao invés de modelar o processo em si.

4.2. Módulo de fuzificação

Este é o estágio onde as entradas do sistema são modeladas por conjuntos fuzzy com seus respectivos domínios. Juntamente com os especialistas, as funções de pertinência são formuladas para cada conjunto fuzzy envolvido no processo. Mesmo que a entrada seja crisp, essa será fuzzificada por meio de sua função característica (BARROS; BASSANEZI, 2010).

4.3. Módulo de base de regras

É composto pelas proposições fuzzy e cada uma destas proposições é descrita na forma linguística

$$\begin{array}{l} \text{Se } x_1 \text{ é } A_1 \text{ e } x_2 \text{ é } A_2 \text{ e } \dots \text{ e } x_n \text{ é } A_n \\ \text{Então } u_1 \text{ é } B_1 \text{ e } u_2 \text{ é } B_2 \text{ e } \dots \text{ e } u_m \text{ é } B_m \end{array}$$

de acordo com as informações de um especialista. Neste módulo as variáveis e suas classificações linguísticas são construídas e são modeladas por conjuntos fuzzy, isto é, funções de pertinência.

4.4. Módulo de inferência

O módulo que cada proposição fuzzy é “traduzida” matematicamente por meio das técnicas da lógica fuzzy. é onde se define quais t-normas, t-conormas e regras de inferência (que podem ser implicações fuzzy) serão utilizadas para se obter a relação fuzzy que modela a base de regras. Este módulo consistem em verificar o grau de compatibilidade entre fatos e cláusulas nas premissas das regras, determinar o grau de compatibilidade global da premissa de cada regra, determinar o valor da conclusão, em função do grau de compatibilidade da regra com os dados e a ação de controle constante na conclusão e agregar valores obtidos da conclusão global (SADRI; CORREA, 1999). Neste trabalho utilizamos o método de inferência de Mamdani.

O método de Mamdani é baseado na regra de composição de inferência max–min conforme o procedimento:

- Em cada regra R_j , da base de regras fuzzy, a condicional “se x é A_j então u é B_j ” é modelada pela aplicação \wedge (mínimo) que, erroneamente, costuma ser denominada por implicação de Mamdani (\wedge não é uma implicação fuzzy pois não preserva a tabela de uma implicação clássica);
- Adota-se a t-norma \wedge (mínimo) para o conectivo lógico “e”;
- Para o conectivo lógico “ou” adota-se a t-conorma \vee (máximo) que conecta as regras fuzzy da base de regras.

Formalmente, a relação fuzzy M é o subconjunto fuzzy de $X \times U$ cuja função de pertinência é dada por:

$$\varphi_M(x, u) = \max_{1 \leq j \leq r} (\varphi_{R_j}(x, u)) = \max_{1 \leq j \leq r} [\varphi_{A_j}(x) \wedge \varphi_{B_j}(u)],$$

onde r é o número de regras que compõem a base de regras e, A_j e B_j são os subconjuntos fuzzy da regra j . Cada um dos valores $\varphi_{A_j}(x)$ e $\varphi_{B_j}(u)$ são interpretados como os graus com que x e u estão nos subconjuntos fuzzy A_j e B_j , respectivamente, de maneira que M nada

mais é que a união dos produtos cartesianos fuzzy entre os antecedentes e os consequentes de cada regra.

Exemplo: Considere um controlador fuzzy com duas entradas e uma saída, cuja base de regras é dada conforme (Figura 6).

Figura 6: Base de regras

$$\begin{array}{l} R_1 : \text{Se } x_1 \text{ é } A_{11} \text{ e } x_2 \text{ é } A_{12} \text{ então } u \text{ é } B_1 \\ \text{ou} \\ R_2 : \text{Se } x_1 \text{ é } A_{21} \text{ e } x_2 \text{ é } A_{22} \text{ então } u \text{ é } B_2 \end{array}$$

Assim, para cada terna $t = (x_1, x_2, u)$ temos

$$\begin{aligned} \varphi_M(t) &= \{\varphi_{11}(x_1) \wedge \varphi_{12}(x_2) \wedge \varphi_{B_1}(u)\} \vee \{\varphi_{A_{21}}(x_1) \wedge \varphi_{A_{22}}(x_2) \wedge \varphi_{B_2}(u)\} \\ &= \max\{\varphi_{A_{11}}(x_1) \wedge \varphi_{A_{12}}(x_2) \wedge \varphi_{B_1}(u), \varphi_{A_{21}}(x_1) \wedge \varphi_{A_{22}}(x_2) \wedge \varphi_{B_2}(u)\} \end{aligned}$$

Representando a relação fuzzy obtida da base de regras pelo método de Mamdani.

Para um dado conjunto fuzzy de entrada $A = A_1 \times A_2$, com A_1 e A_2 dois números fuzzy, o conjunto fuzzy de saída, que representação o controle a ser adotado para A pelo método de Mamdani, é dado por $B = \mathcal{M} \circ A$, cuja função de pertinência é

$$\varphi_B(u) = (\varphi_M \circ A)(u) = \sup_x \{\varphi_M(x, u) \wedge \varphi_A(x)\}.$$

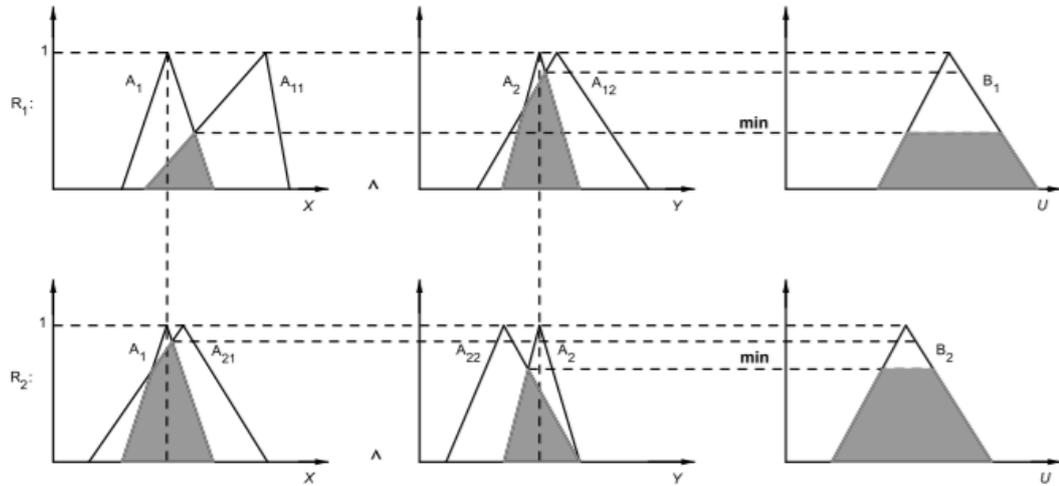
Como $A = A_1 \times A_2$, então $\varphi_A(x_1, x_2) = \varphi_{A_1}(x_1) \wedge \varphi_{A_2}(x_2)$.

Desta forma

$$\begin{aligned} \varphi_B(u) &= \sup_x \{\varphi_M(x, u) \wedge \varphi_A(x)\} \\ &= \sup(x_1, x_2) \{\varphi_M(x_1, x_2, u) \wedge [\varphi_{A_1}(x_1) \wedge \varphi_{A_2}(x_2)]\} \\ &= \sup(x_1, x_2) \{[(\varphi_{A_{11}}(x_1) \wedge \varphi_{A_{12}}(x_2) \wedge \varphi_{B_1}(u)) \vee \\ &\quad (\varphi_{A_{21}}(x_1) \wedge \varphi_{A_{22}}(x_2) \wedge \varphi_{B_2}(u))] \wedge [\varphi_{A_1}(x_1) \wedge \varphi_{A_2}(x_2)]\} \\ &= \sup(x_1, x_2) \{[\varphi_{A_1}(x_1) \wedge \varphi_{A_{11}}(x_1)] \wedge [\varphi_{A_2}(x_2) \wedge \varphi_{A_{12}}(x_2)] \wedge \varphi_{B_1}(u)\} \vee \\ &\quad \sup(x_1, x_2) \{[\varphi_{A_1}(x_1) \wedge \varphi_{A_{21}}(x_1)] \wedge [\varphi_{A_2}(x_2) \wedge \varphi_{A_{22}}(x_2)] \wedge \varphi_{B_2}(u)\} \\ &= \varphi_{B_{R_1}}(u) \vee \varphi_{B_{R_2}}(u). \end{aligned}$$

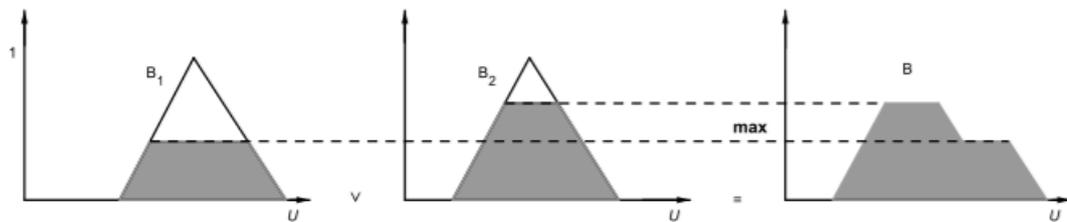
onde B_{R_1} e B_{R_2} são as saídas parciais devido às regras R_1 e R_2 , respectivamente. Da fórmula acima, podemos observar que a saída do método de Mamdani resulta da união entre as saídas parciais de cada regra (Figura 7)

Figura 7: Saídas parciais do método de Mamdani



A saída geral é dada pela união das saídas parciais, conforme (Figura 8).

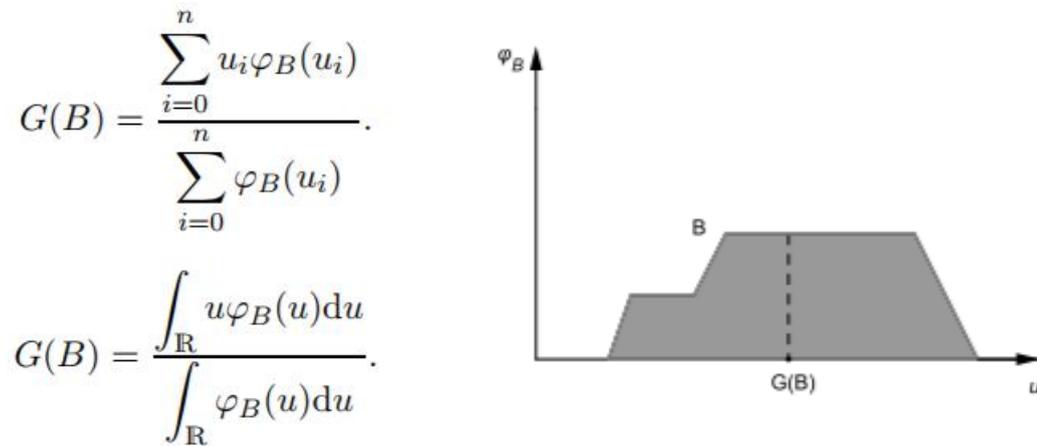
Figura 8: Saída final do controlador fuzzy de Mamdani



4.5. Módulo de defuzzificação

A defuzzificação é um processo que permite representar um conjunto fuzzy por um valor crisp (número real). Vários são os métodos de defuzzificação, o mais utilizado em geral é o do centro de gravidade. O centro de gravidade dá média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto fuzzy (Figura 6).

Figura 9: Centro de gravidade



Referências

GOMIDE, F.A.C.; GUDWIN, R.R. **Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy**. SBA Controle & Automação, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994.

MAMDANI, E. H. **Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers**. International Journal of Man-Machine Studies, v. 8, n. 6, p. 669-678, 1976.

MAMDANI, E.H. **Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis**. In: Proceedings of the sixth international symposium on Multiple-valued logic. IEEE Computer Society Press, 1976. p. 196-202.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Mit Press, 1998.

ZADEH, L.A. **Fuzzy sets**. Information and control, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L.A. **Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes**. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, n. 1, p. 28-44, 1973.

ZADEH, L.A. **The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems**. Fuzzy sets and systems, v. 11, n. 1-3, p. 199-227, 1983.

ZADEH, LA. **Fuzzy logic= computing with words**. IEEE transactions on fuzzy systems, v. 4, n. 2, p. 103-111, 1996.

SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica nebulosa**. Instituto Tecnológico da Aeronáutica-ITA, V Escola de Redes Neurais, pp. C073-c090, São José dos Campos, 1999.

ARTIGO I – Caracterização e status atual da pesca do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central

Caracterização e status atual da pesca do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central

Karla Tribuzy¹, Sandro Bitar² e Carlos Edwar de Carvalho Freitas³

Resumo – Na Amazônia Central os dados esparsos a pesca do tambaqui e a dificuldade em manter o monitoramento e uma estatística pesqueira são a realidade atual. Muitas informações que se tem sobre os estoques do tambaqui se reportam a análises e estudos feitos em Manaus e algumas de cidades do sistema Solimões-Amazonas. Há evidência de que o estoque do tambaqui desde a década de 80 está em sobreexploração em várias áreas. No entanto, há uma lacuna de dados de desembarque total a partir de 2004 com a finalização do projeto Provárzea e do monitoramento do desembarque em Manaus. O que torna necessárias e urgentes novas informações e atualização das características de pesca e status atual de desembarques do tambaqui na Amazônia Central. A proposta deste estudo foi levantar informações sobre o status da produção do tambaqui a partir do porto principal de Manacapuru no período de 2014 a 2016, incluindo entrevistas com pescadores da Colônia Z-9 e dados de desembarque no porto principal de Manacapuru, e verificar possíveis alterações na dinâmica da pesca desta espécie. O tambaqui desembarcado ao longo do período de 2014 a 2016 em Manacapuru aponta para tendência de queda na produção total em torno de 78% em relação aos últimos registros de 2002 a 2004. O tamanho de captura está abaixo do mínimo exigido (55cm) e o desembarque é mensal, o que vai contra as leis vigentes de defeso para esta espécie. Um total de 71% do tambaqui desembarcado no porto tem origem no rio Purus. As informações sobre a comercialização do tambaqui sugerem uma nova relação econômica entre pescadores, atravessadores e comunidades. Em torno de 83% do tambaqui desembarcado não foi pescado, mas comprado nas comunidades ribeirinhas. Suas embarcações estão sendo adaptadas para uma nova estrutura com urnas de refrigeração, o que possibilita maior deslocamento e permanência nos locais explorados.

Abstract- In the Central Amazon, the data scarcity of *Colossoma macropomum* fishing and the difficulty in maintaining the monitoring and a landing fish system are the current reality. The information we have about *Colossoma's* stocks relates to analyzes and studies done in Manaus and some cities of the Solimões-Amazonas system. There is evidence that the *Colossoma* stock since the 1980s is overexploited in several areas. However, there is a gap in total landing data from 2004 onwards with the completion of the Provárzea project and the monitoring of the f landing in Manaus. This makes it necessary and urgent new information and update of the fishing characteristics and current status of tambaqui landings in Central Amazonia. The objective of this study was to collect information on the status of tambaqui production from the main port of Manacapuru in the period from 2014 to 2016, including interviews with fishermen from Colony Z-9 and landing data at the main port of Manacapuru, and to verify possible changes in of this species. The tambaqui during the period from 2014 to 2016 in Manacapuru points to a trend of fall in total production around 78% in relation to the last records from 2002 to 2004. The catch size is below the minimum required (55cm) and the landing is monthly, which goes against the current closed season law for this species. A total of 71% of the tambaqui is from the Purus River. Information on the commercialization of tambaqui suggests a new economic relationship between fishermen, middleman and communities. About 83% of the tambaqui landed was not caught, but purchased in the riverine communities. The vessels are being adapted to a new structure with cooling urns, which allows greater displacement and permanence in the explored places.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas. ktribuzy@gmail.com

² Professor Doutor na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Matemática. sandrobitar@gmail.com

³ Professor Titular na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Ciências Pesqueiras. cefreitas@ufam.edu.br

I. Introdução

Os recursos pesqueiros de águas interiores tem recebido pouca atenção quanto ao desequilíbrio ou colapso dos seus estoques, se comparados aos estoques marinhos (ALLAN et al., 2005). Em 2005, foram encontrados no Brasil 217 trabalhos registrados e apenas 11% dos artigos publicados fazem referência a biodiversidade em ecossistemas aquáticos de águas interiores. Destes trabalhos ainda se tem pouca informação sobre o número de espécies em ecossistemas continentais brasileiros. Contudo, na Amazônia há registros de que várias espécies de peixes migradores ameaçadas devido à sobre-exploração tais como: tambaqui (*Colossoma macropomum*)(CAMPOS et al., 2015), os jaraquis (*Semaprochilodus spp.*)(FREITAS et al., 2007; VIANA, 2013), a piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*)(ALONSO; PICKER, 2005), a piraíba (*B. filamentosum*) e o jaú (*Zungaro zungaro*) (AGOSTINHO et al., 2005).

A dinâmica de pesca na Amazônia é intensa e se destaca pela riqueza de espécies exploradas e pela quantidade de pescado, uma vez que suas frotas pesqueiras exploram a sazonalidade da abundância de pescado nas águas interiores em diferentes períodos ao longo do ano, mantendo o fornecimento de pescado de forma bastante regular (ISAAC; BARTHEM, 1995).

Na Amazônia Central, as margens das várzeas dos rios Solimões/Amazonas são ambientes de alta densidade populacional, onde as oportunidades de trabalho são limitadas e a pesca é a principal atividade do cotidiano das populações ribeirinhas. A pesca realizada por estas populações é a principal base socioeconômica e o peixe sua fonte essencial de proteína animal (FREITAS et al., 1999; WELCOMME et al., 2010). No alto rio Solimões, por exemplo, a taxa de consumo pode superar 800g per capita/dia ou 182,5-292,0kg/ano⁻¹ (FABRÉ; ALONSO, 1998; BATISTA, 2004).

Os recursos pesqueiros da Amazônia Central são responsáveis, desde os anos 90, por mais de 50% do pescado comercial da bacia Amazônica (RUFFINO, 2004; BARTHEM; GOULDING, 2007). O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é uma das espécies de maior valor comercial e está em estado de sobre-exploração (MÉRONA; BITTENCOURT, 1988; ISAAC; RUFFINO, 1996; BATISTA, 1998; CAMPOS et al., 2015). O tambaqui vem, ao longo das últimas décadas, apresentando um contínuo declínio nos desembarques em Manaus, o mais importante centro consumidor do pescado de água doce da Amazônia. Este declínio foi vertiginoso e, no intervalo de 32 anos (1972-2004), a produção em Manaus caiu 98%. Em 1970 foi o ano de maior produção do tambaqui com 40% do desembarque total (20.000 toneladas anuais).

Mas, Manacapuru também movimenta grande volume de pescado (RUFFINO et al., 2006), por ser a terceira maior população do Estado, possuindo dois portos de desembarque (Porto Central e Panairzinho), e vários frigoríficos que compram a produção local para exportação. O consumo de 542.1 g/capita.dia, em Manacapuru está cerca de 20 vezes acima da média do restante do Brasil (GONÇALVES; BATISTA, 2008). O porto da cidade movimenta anualmente cerca de 2500 t de pescado gerando uma renda aproximada de R\$ 2,5 milhões de reais. (GONÇALVES; BATISTA, 2008).

Os desembarques em Manacapuru também vem registrando declínio nas capturas de tambaqui. Em 2000 foi registrada uma diminuição de 4%, em relação ao ano anterior, e a tendência continuou nos anos seguintes 3,4% em 2001 e 1,1% em 2002. Este declínio rápido vem sendo considerado como consequência de sobrepesca (MERONA, 1988; COSTA et al., 2001; PETRERE, 1983; IBAMA/PROVÁRZEA, 2006; CAMPOS et al., 2015). Somam-se a este cenário o sistemático desembarque de tambaquis jovens nas 17 cidades monitoradas, no período de 2000 a 2004, pelo projeto IBAMA/ProVárzea que registrou comprimento médio de captura do tambaqui abaixo de 55cm. A mesma situação de captura abaixo do comprimento foi registrada nos anos de 1993, 1997, 2003 a 2005 na cidade de Tefé (MOUNIC-SILVA, 2012).

Outro agravante é área geográfica de pesca utilizada pelos pescadores da Amazônia Central que é muito ampla. Os barcos procuram áreas de pesca cada vez mais distantes de Manaus. Em 1978, a maioria das viagens de pesca foram realizadas a uma distância de 500 km de Manaus (PETRERE, 1978a), mas nos últimos anos tem havido uma tendência para aumentar a distância das viagens de 1700 km (BAYLEY; PETRERE, 1989) e até 3700 km, pescando nos trechos superiores dos rios Juruá, Japurá e Javari (BARTHEM ET AL., 1997).

Os estudos sobre o desembarque total do tambaqui nas cidades vizinhas a Manaus são esparsos e uma visão geral sobre o tema é dificultada por abordagens isoladas e ausência de padronização das unidades de esforço de captura, devido à diversidade de aparelhagem e habitats explorados (MOUNIC-SILVA, 2012; LIMA et al., 2000).

Em Manacapuru séries históricas da produção pesqueira estão disponíveis em boletins estatísticos Amazonas/Pará do Pro Várzea/Ibama de 2001 a 2004 (RUFFINO et al., 2002, 2005, 2006; BATISTA, 2003; THOMÉ-SOUZA, 2007). Séries curtas de dados de desembarque foram geradas em projetos de pesquisa que estabeleceram um sistema de coleta de dados referentes aos anos de 2007 a 2011. A partir dessas informações foram publicados estudos focados no tambaqui direcionados para avaliação do estoque (CAMPOS et al., 2015), relações peso-comprimento (CORREIA; FREITAS 2013), avaliação de pesca (FREITAS et al., 2012),

distribuição de captura sazonal (SOUSA; FREITAS 2011) e mudanças sociais na pesca (SOUSA, 2008).

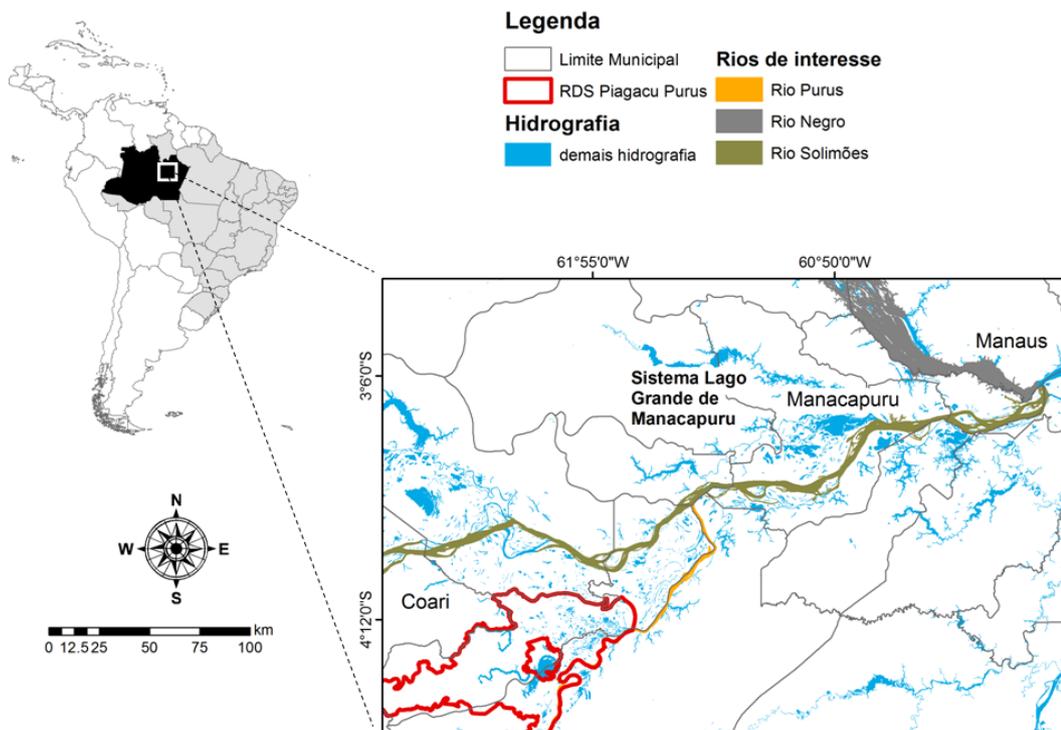
Neste contexto, devido à ausência de informações atuais, a proposta deste estudo foi levantar dados sobre o status da pesca e da produção pesqueira do tambaqui a partir do porto principal de Manacapuru no período de 2014 a 2016 incluindo entrevistas com pescadores da Colônia Z-9 com a finalidade de identificar alterações na dinâmica da pesca desta espécie.

II. Material e método

2.1 - Área de Abrangência do Estudo

A área de estudo foi definida a partir dos locais de pesca usados pelos pescadores que desembarcam no Porto de Manacapuru, localizada na margem esquerda do trecho inferior do rio Solimões. E abrange o trecho do rio Solimões, entre a foz do rio Coari à confluência com o rio Negro. Além do trecho inferior do rio Purus, entre o limite superior da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu Purus (RDS Piagaçu Purus) até a confluência com o rio Solimões (Figura 6).

Figura 10: Mapa da área de estudo



2.2 - Comitê de Ética

O estudo seguiu as diretrizes do Comitê de Ética e legislação disponíveis (CEP/UFAM www.ppgsca.ufam.edu.br/cep-ufam/221-cep) com número no CAEE: 56651616.8.0000.5020. Foram realizadas entrevistas com pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru. Os participantes forneceram consentimento verbal e por escrito para participar das entrevistas.

2.3. Entrevistas

Foram entrevistados 57 pescadores (50 homens e 7 mulheres) na Colônia de Pescadores Z-9 da cidade de Manacapuru, no período de agosto a setembro de 2016. As entrevistas foram baseadas em um questionário semiestruturado (ver Apêndice), abordando as características do pescador, as atividades pesqueiras e socioeconômicas, a dinâmica sazonal da pesca do Tambaqui e os efeitos dos eventos extremos e alterações climáticas sobre o ambiente da pesca e a atividade pesqueira. Os pescadores foram escolhidos de forma aleatória e as entrevistas realizadas de acordo com a disponibilidade e concordância livre e espontânea dos pescadores. Cada entrevista foi conduzida individualmente para evitar interferência nas respostas de outro pescador.

2.4 - Dados de Desembarque pesqueiro

Os dados de desembarque de peixes foram coletados no principal porto de desembarque pesqueiro do município de Manacapuru, no período de maio de 2014 a outubro de 2016, foram registrados dados de 919 desembarques, dentre os quais 197 foram referentes ao tambaqui (*Colossoma macropomum*). Este período contempla 3 períodos de cheia e 2 períodos de seca. Dentre as informações coletadas, foram utilizadas: produção (toneladas), tipos de embarcação, artes de pesca, local de pesca, tipo de comercialização, duração de pescaria (em dias de pesca) e número de pescadores. Alguns dos dados informados contêm apenas dados de capturas, sem informação sobre a pesca.

2.5 - Análise dos Dados

Inicialmente os dados foram tabulados em planilhas no Excel e organizados em categorias: características do pescador (idade, escolaridade, tempo de experiência na pesca, tempo de moradia, cidadão ou ribeirinho, sexo, número de pessoas na família, associado ou não na colônia Z-9), as atividades pesqueiras e socioeconômicas (aparelho de pesca, embarcação, tipo de pescaria, espécies capturadas, local de capturas, defeso, variação de quantidade e

tamanho das espécies pescadas, renda familiar), dinâmica sazonal da pesca do Tambaqui (aparelhos de pesca, tempo de pescaria, tempo gasto aos locais de captura, número de pescadores, questões sobre a dinâmica do tambaqui). Posteriormente, executamos a análise exploratória dos dados e foram avaliadas as frequências relativas e algumas variáveis submetidas à estatística descritiva. Comparamos os dados obtidos das entrevistas com as informações de desembarque quanto a espécies capturadas, artes de pesca e locais nos ciclos de seca e cheia.

III. Resultados

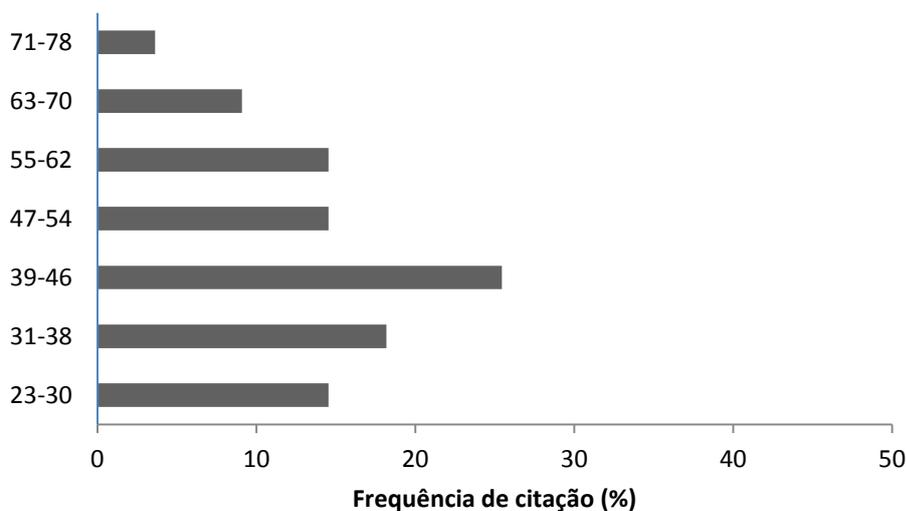
3.1 - Perfil socioeconômico dos entrevistados

A idade dos entrevistados variou de 23 a 78 anos (Figura 7), com média de idade de 46 anos e de experiência de pesca de 26 anos. Dos pescadores entrevistados, 91% são associados à Colônia Z-9 com tempo médio de 12 anos. Os pescadores tem residência na região em média de 28 anos em diferentes localidades, mas destaca-se a Sede Municipal de Manacapuru (49%) como local predominante de residência dos entrevistados (Tabela 1).

Tabela 1: Localidades de moradias dos pescadores na sede municipal e nos distritos rurais.

Tipos de Localidades			
Sede Municipal	%	Distritos	%
Aparecida	2	Comunidade Nossa Senhora do Perpetuo Socorro	4
Biribiri	2	Comunidade Santa Ana (Costa do laranjal)	2
Centro	12	Comunidade Santa Luzia (Lago bujari)	2
Correnteza	7	Comunidade São Sebastião Batista	2
Liberdade	12	Costa do Lago Cabaliana	2
Nova manacá	2	Costa do Marrecão	5
São Francisco	2	Lago do pesqueiro	2
São José	5	Parana do Irapajé III	2
Terra preta	5	Parana do Pajé II	2
		Vila de Sacambu	2
		Vila do lago do Jacaré	7

Figura 11: Faixa etária dos pescadores (%)



A classificação aqui utilizada para análise do grau de escolaridade dos pescadores está em acordo com a Lei nº. 9.394 de Diretrizes e Bases de Educação Nacional (LDB) de dezembro de 1996. Esta lei estabelece 3 níveis de educação: pré-escolar, ensino fundamental e ensino médio.

O perfil escolar dos pescadores entrevistados indicou que 46% do total da amostra têm Ensino Fundamental incompleto e 16% não frequentou a escola (Tabela 2). Foram registrados ainda 1% em nível de ensino técnico devido à escassez de oportunidades de trabalho, relataram voltar as atividades de pescarias familiares para obtenção de renda.

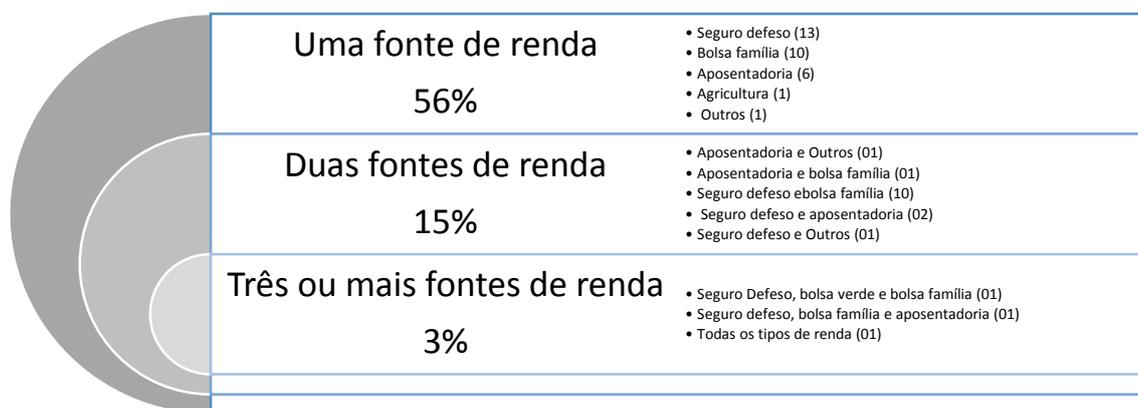
Tabela 2: Grau de escolaridade dos pescadores entrevistados

Grau de escolaridade	%
Ensino fundamental incompleto	46
Ensino médio incompleto	7
Ensino médio completo	16
Curso técnico	1
Não estudou	16
Não respondeu	14

A renda mensal total é constituída pela soma dos rendimentos dos familiares. Cada família possui em média 4 pessoas (mínimo= 1, máximo=9). A renda é composta por 6 tipos de atividades econômicas: agricultura, aposentadoria, bolsa família, bolsa verde, seguro defeso e foram relatados cargos públicos e criação de animais que, por serem mínimos, transcrevemos como "outros". Esta composição da renda é diferenciada para cada família de pescadores.

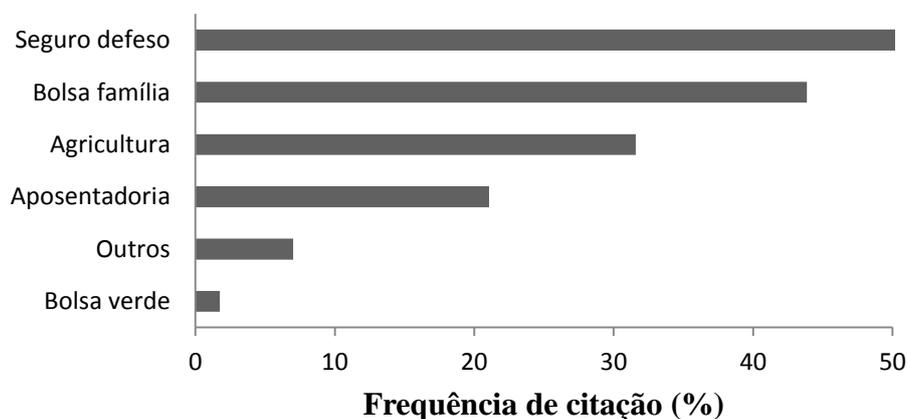
Dentre os entrevistados, 56% desenvolvem apenas um tipo de atividade econômica, 15% atuam em duas e 3% estão envolvidos em três ou mais (Figura 8).

Figura 12: Atividades e benefícios econômicos na composição da renda de pescadores



Os pescadores entrevistados relatam que a maior parte da composição de renda adquirida ao longo do ano é dada pelos benefícios: seguro defeso (53%) e bolsa família (44%). E complementada pela agricultura (32%), aposentadoria (21%) e Outros (7%) (Figura 9).

Figura 13: Composição da renda dos pescadores (%)



A agricultura entra como uma atividade complementar para subsistência e comercialização. Os itens relatados para o plantio foram abóbora, alface, banana, batata, cará, cebola, cebolinha, cheiro verde, coco, cupuaçu, farinha, feijão, juta, laranja, macaxeira, mamão, mandioca, mangarataia, maracujá, melancia, milho, tomate. A renda da pescaria foi declarada por 16% dos pescadores entrevistados e a média mensal equivale a aproximadamente um salário mínimo. Na seca, a renda foi de R\$872,00 e na cheia de R\$850,00 reais mensais. A média da

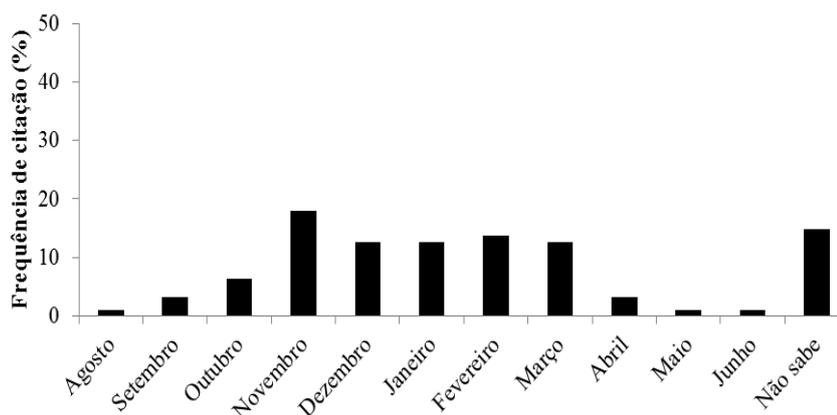
renda familiar anual já adicionada às atividades econômicas complementares ficou em torno de R\$ 8.876,00.

3.2 – Conhecimento ecológico dos pescadores sobre a biologia e dinâmica da pesca Tambaqui (*Colossoma macropomum*)

3.2.a – Época de desova

Os entrevistados identificaram diversos meses como correspondendo ao período de reprodução do tambaqui, com menos de 20% dos entrevistados demonstrando desconhecimento. Sendo que os meses com maior frequência de citação estão compreendidos entre novembro e março (Figura 10).

Figura 14: Meses de desova do tambaqui citados pelos pescadores da Z-9 de Manacapuru, AM.



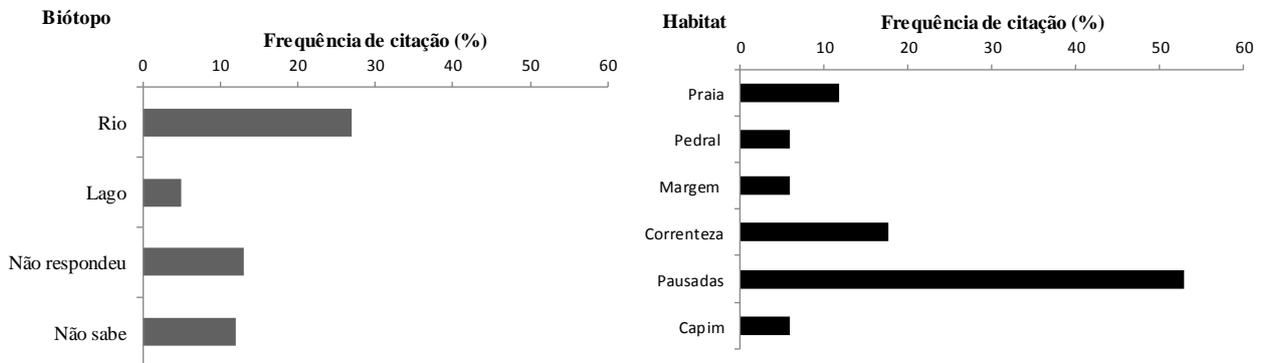
3.2.b – Período de defeso

A Instrução Normativa estabelece o defeso anual do tambaqui de 01 de outubro a 31 de março (Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente n.35 de 29 de setembro de 2005). E, para a maioria dos pescadores entrevistados, o período de defeso do tambaqui está correto (72%) e sabem a razão pelo qual foi definido, ou seja, "proteção durante o período de reprodução" (61%).

3.2.c – Local de desova

Os locais de desova do tambaqui citado pelos entrevistados são principalmente o rio e, em menor frequência, os lagos. Além disso, os pescadores também citaram seis habitats de desova, com destaque para as pausadas no rio, as áreas de correnteza e praias (Figura 11).

Figura 15: Biotópos e habitats de desova do tambaqui citados pelos pescadores da Z-9 de Manacapuru, AM.



3.2.d - Locais de Pesca

A pesca do tambaqui na área de estudo é relatada pelos pescadores entrevistados na Colônia Z-9 e no principal Porto de desembarque de Manacapuru é realizada em 4 biótopos: rio, lago, igapó e paraná. Os biótopos explorados diferenciam quanto a intensidade dos locais de exploração entre os dois grupos entrevistados. Os biótopos mais explorados pelos pescadores que desembarcam no Porto de Manacapuru são os rios (85%). E o rio mais explorado é o rio Purus (80%) (Figura 12).

Os pescadores entrevistados na Colônia Z-9 indicam uma exploração de área de pesca mais distribuída com rios (35%) e lagos (54%) (Figura 13 e 14).

Figura 16: Biótopos registrados dos dados de desembarque no período de 2014 a 2016, segundo pescadores entrevistados no Porto de Manacapuru.

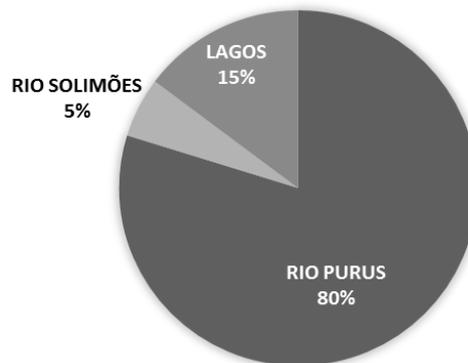
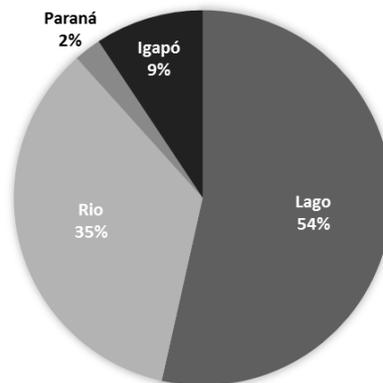
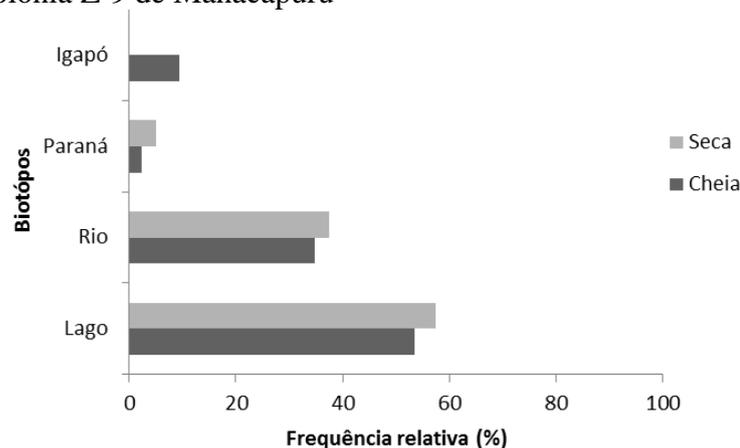


Figura 17: Biótopos preferenciais de pesca segundo entrevistas com pescadores da Colônia Z-9



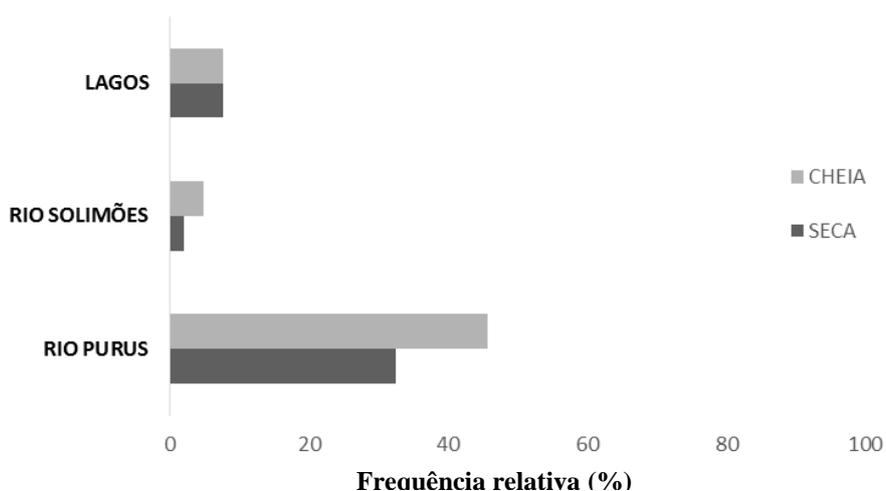
No entanto, tanto lagos quanto rios são explorados no período de seca e cheia. E quando comparados os períodos, observamos que na seca (Figura 14) há uma frequência maior de exploração dos lagos que de rios, de acordo com os pescadores entrevistados na Colônia Z-9.

Figura 18: Biótopos utilizados na pescaria do tambaqui por períodos sazonais citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru



Os dados relatados no desembarque pesqueiro indicaram que, durante a seca e cheia tanto lagos quanto rios são explorados. Os lagos da região são explorados tanto na cheia quanto na seca com muito menor intensidade que nos grandes rios. Foram observados que dos desembarques de tambaqui registrados nos rios, o rio Purus é o mais explorado nos dois períodos seca e cheia (Figura 15).

Figura 19: Principais locais de pesca do Tambaqui por período sazonal registrados no desembarque de 2014 a 2016 no Porto principal de Manacapuru



3.2.e - Embarcações da pesca do Tambaqui

A frota utilizada na pesca do tambaqui desembarcados no Porto principal de Manacapuru foi composta por três tipos de embarcações: a canoa motorizada (12%), os barcos de médio e grande porte chamados recreio (58%) e geleiro ou barco de pesca (28%).

Uma nova modalidade de embarcação foi registrada. Os barcos recreio adaptados para o formato geleiro com caixas fixas para gelo. Estes barcos adaptados exercem função de geleiro e segundo relatado tem sido motivo de conflitos entre os pescadores da região. O tambaqui foi mais desembarcado por barcos recreio (58%).

Os pescadores da Colônia Z-9 (n=54) relatam maior uso de canoas motorizadas (70%) do que de barcos (30%). A média de comprimento das canoas motorizada foi de 5,9m com amplitude de 2m a 10m. A potência dos motores das canoas variou de 1.4Hp a 15Hp. Os barcos pesqueiros apresentaram média de 13m com amplitude de 10m a 20m e potência de 12Hp a 85Hp (Tabela 3).

Tabela 3: Descrição das embarcações utilizadas pelos pescadores da Colônia Z-9

Embarcações						
	Comprimento (m)			Potencia (HP)		
	min	media	max	min	média	max.
canoa	2	5,9	10	1,4	6	15
barco	10	13	20	12	33	85

3.2.f - Apetrechos da pesca do Tambaqui

O apetrecho mais utilizado para a pescaria do tambaqui foi a malhadeira, relatada tanto pelos pescadores da Colônia Z-9 quanto por aqueles entrevistados no desembarque no porto de Manacapuru. No período de seca foi utilizada por 70% dos pescadores e no período de cheia por 59% dos pescadores. O tamanho da malha variou de 40 a 120mm. Como segundo apetrecho mais utilizado destacaram-se o espinhel e a redinha. O espinhel foi utilizado por 16% dos entrevistados na seca e por 15% na cheia. Enquanto que a redinha foi utilizada por 13% dos entrevistados, no período da cheia (Tabela 4).

Tabela 4: Apetrechos de pesca citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de acordo com a sazonalidade

Apetrechos de pesca			
	Descrição	SECA	CHEIA
Anzol	Linha comprida com um único anzol	2%	4%
Canção	Linha com anzol e chumbo presa numa haste que varia o tamanho conforme a espécie a ser capturada	2%	2%
Espinhel	Grande linha de náilon na qual se prendem a intervalos regulares linhas armadas de anzóis de tamanhos variados, dependendo da espécie que se deseja capturar	16%	15%
Malhadeira/Tramalha	Rede de malha de náilon monofilamento de dimensões e tamanhos de malha variados	70%	59%
Rede ou redinha	Aparelho com mesmo tamanho e altura em média da rede de arrasto, mas seu comprimento é bem menor	5%	13%
Rede de arrasto	Aparelho de grandes dimensões, chegando em alguns casos a medir 500m por 13m de altura. Malha pode ter 20. 22 ou 25mm entre nós opostos.	5%	7%

Fonte para definições dos apetrechos: (FALABELA, P.G.R., 1985)

3.2.g - Produção da pesca do tambaqui no Porto de Manacapuru

No período de 05/2014 a 10/2016, correspondendo a 30 meses o desembarque total do tambaqui foi de 93.2 toneladas. Com 39% deste total desembarcados em 2014 (35,9 t.), 29%, em 2015 (27.2 t) e 32% em 2016 (30,1t). O Rio Purus foi o local de origem do maior número de indivíduos desembarcados, responsável por 71% da produção total. O segundo rio de maior produção foi o Rio Solimões com 10% seguido dos lagos de Manacapuru com 9% da produção total desembarcada (Tabela 5). Um total de aproximadamente 7% dos relatos não foi preciso quanto à origem do pescado, informando apenas "vários locais ou rios principais".

Tabela 5: Produção total desembarcada (2014-2016)

Produção Total (ton)				
Locais de pesca	2014	2015	2016	Total Anual
Rio Purus	16,59	24,99	24,91	66.49 (71%)
Rio Solimões	6,3	1,69	1,23	9.22 (10%)
Rios Purus/Solimões/Manacapuru	2,38	0	0	2.38 (03%)
Lagos Manacapuru	4,35	0,56	3,9	8.81(09%)
Vários locais	6,3	0	0	6.3 (07%)

Ainda segundo relatos dos pescadores da Colônia Z-9 pode-se notar uma variação na quantidade de dias de pescarias em relação aos biótopos, sendo maior nos rios e menor nos lagos (Tabela 6 e 7). Além disso, os pescadores citaram a utilização de outros lagos no período de seca exemplo do lago do Fundo, Marimari, Sacambu e do Ladrão que foi descrito com máxima produção (Tabelas 7).

Tabela 6: Locais de pesca, dias de pescaria, número de pescadores e captura de tambaqui citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru no período de cheia.

CHEIA			
RIOS			
Local	Dias(min.-max)	N. Pescadores (min. - max.)	Captura (min.-max)
Rio Juruá	30	16	7 ton.
Rio Purus	4 - 25	2 - 10	0,12 - 12 ton.
Rio Solimões	15 - 20	4 - 7	0,28 - 8 ton.
Rio Manacapuru	2 - 10	2 - 6	0,05 - 0,3 ton.
LAGOS E IGAPÓS			
Lago do pesqueiro	2 - 3	2 - 3	0,06 - 0,2 ton.
Lago grande	1 - 6	1 - 2	0,02 - 0,078 ton.
Lago piranha	4 - 15	2 - 5	0,02 - 0,108 ton.
Lago muritinga	1 - 4	1 - 6	2 ton.
Lago preto	1 - 3	1 - 2	0,006 ton.
Lago do Jacaré	1 - 30	4 - 6	0,021 - 2 ton.
Igapós	2 - 20	1 - 2	0,004 - 0,1 ton.

Tabela 7: Locais de pesca, dias de pescaria, número de pescadores e captura de tambaqui citados pelos pescadores da Colônia Z-9 de Manacapuru no período de seca.

SECA			
RIOS			
Local	Dias(min.-max)	N. Pescadores (min. - max.)	Captura (min.-max)
Rio Juruá	30	16	6 ton.
Rio Purus	4 - 25	4 - 10	0,213 - 1,08 ton.
Rio Solimões	2 - 20	2 - 7	0,02 - 1 ton.
Rio Manacapuru	2 - 3	1 - 2	0,05 - 0,3 ton.
LAGOS			
Lago do pesqueiro	2 - 3	1 - 3	0,06 - 0,2 ton.
Lago grande	1	1	0,01 ton.
Lago piranha	3 - 5	2 - 6	0,04 - 0,8 ton.
Lago do ladrão	1 - 7	1 - 15	6 ton.
Lago preto	1 - 3	1 - 2	0,06 ton.
Lago do Jacaré	1 - 7	1 - 4	0,021 ton.
Lago do mari mari	3 - 4	1	0,02 ton.
Lago fundo	1	2	0,03 - 0,04 ton.
Lago sacambu	1 - 2	1 - 3	0,07 ton.

Outros biomas relatados, mas sem dados sobre captura ou esforço foram os lagos: lago do Marrecão, lago Tamanduá, lago do Cendê, lago Manacapuru, lago do Putí, lago do Mapiraí, lago do Rei, lago do Rezinho e rio Tapauá no período de cheia. E, na seca, os lagos: lago do Cururu, lago do Mirim, lago do Sivirino, lago do Curá Curá, lago do Arroz e rios Tapauá e Badajós.

Os pescadores responsáveis pelas embarcações relataram que o tambaqui desembarcado no porto principal de Manacapuru foi comprado de ribeirinhos (83%) durante a viagem, para revenda a atravessadores e feiras de Manacapuru. Somente 16% da produção desembarcada foi produto de pescarias.

Se comparados os peixes comercializados como pacus, aracus, curimatãs e jaraquis desembarcados no mesmo período, verificou-se que a maior parte (82%) do tambaqui comercializado foi comprada de ribeirinhos para ser revendida no porto de Manacapuru. (Tabela 8).

Tabela 8: Frequência de registros de Characiformes migradores quanto a forma de obtenção do pescado comercializado no porto de Manacapuru.

n. desembarque totais	Peixes Migradores	Pesca (%)	Compra (%)
285	Pacus	79	21
57	Aracus	70	30
57	Curimatã	68	28
321	Jaraqui	58	38
199	Tambaqui	16	82

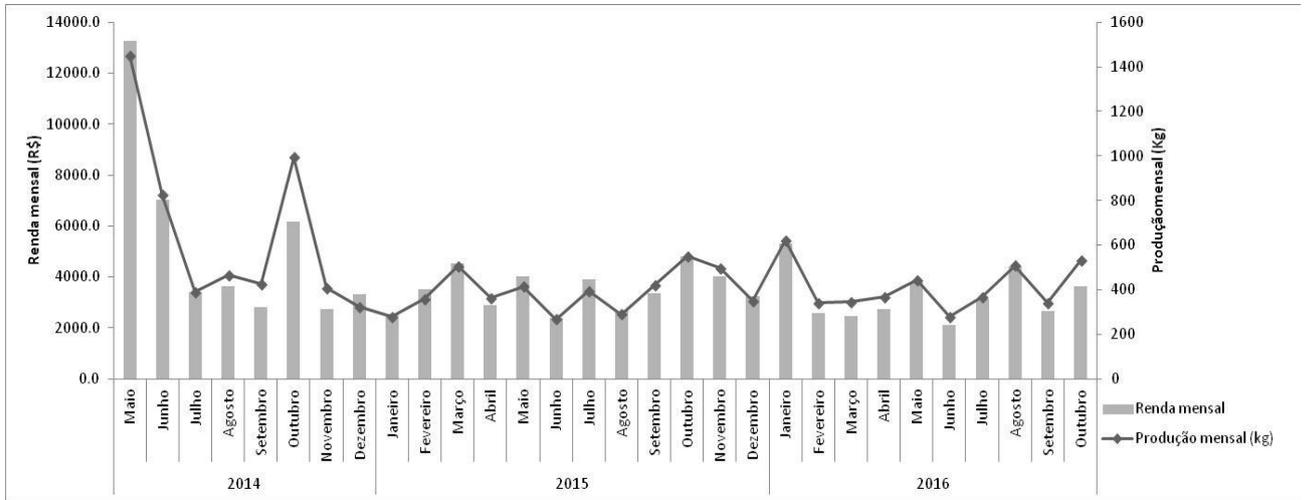
O valor do Tambaqui variou em relação ao seu local de origem (Tabela 9). O pescado dos rios Solimões e Purus são os de maior valor. Em 2015, o valor de compra estava ligeiramente mais alto em relação às médias de 2014 e 2016. A renda anual da comercialização do tambaqui variou de R\$42.405,01 em 2014 a R\$ 32.803,60 até outubro de 2016.

Tabela 9: Preço médio da primeira comercialização do tambaqui no período de 2014 a 2016.

MÉDIA DE PREÇOS (R\$/kg)			
	PURUS	SOLIMÕES	MANACAPURU
2014	8.1	8.1	7.0
2015	8.9	9.7	7.6
2016	8.3	8	5.8

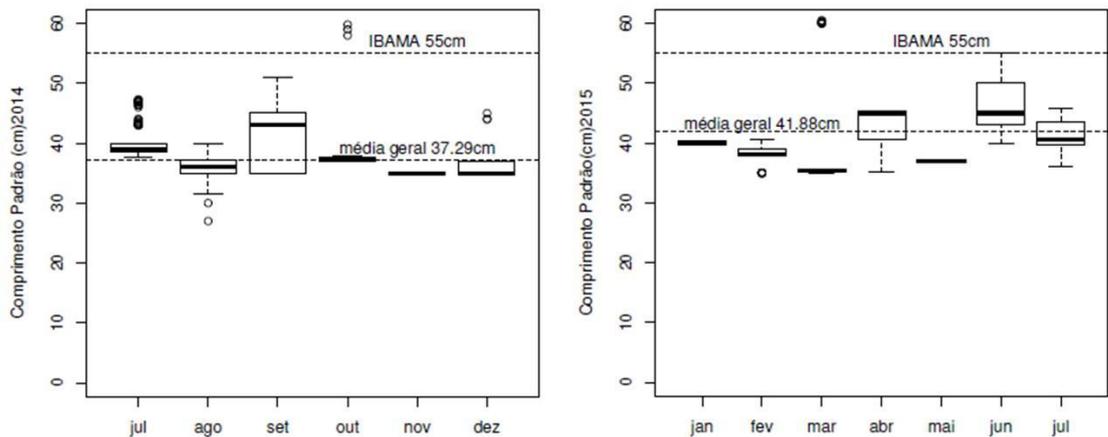
O tambaqui foi capturado o ano inteiro e gerou uma renda média mensal entre R\$3280,00 e R\$5300,00. Destacou-se aqui a captura e comercialização do tambaqui no período de defeso de 1^o de outubro a 31 de março (Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente n.35 de 29 de setembro de 2005) (Figura 16).

Figura 20: Produção e renda mensal de tambaqui no período de 2014 a 2016.



Uma amostra de 1311 unidades de tambaqui de 07/2014 a 07/2015 indicou que o tamanho médio geral de captura foi de 39.1cm ao longo deste período com variação entre 27 cm a 85 cm. A média do peso total foi de 1.6kg (0.7kg mín. a 10kg máx.). Em 2014 registrou-se o menor tamanho médio com 37.29cm. Em ambos os anos analisados a captura dos tambaquis foi de peixes abaixo do tamanho mínimo permitido (Portaria IBAMA N.8/1996) (Figura 17).

Figura 21: Variação do tamanho médio de captura do tambaqui em 2014-2015 comparados com o tamanho mínimo definido pela portaria do IBAMA n.8/1996

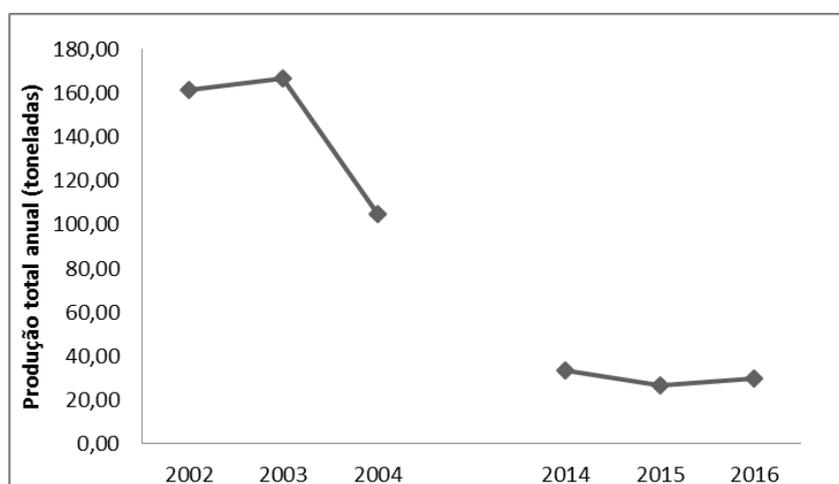


IV. Discussão

O tambaqui é um peixe considerado historicamente um símbolo da Amazônia, sua importância se deve aos hábitos culturais de consumo, ao desenvolvimento econômico regional e as características da espécie para o desenvolvimento da piscicultura e conservação das várzeas na Amazônia (ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998). Na década de 60 a 70 com o crescimento dos centros urbanos e a expansão da pesca com o uso frequente das redes de emalhar, o tambaqui substituiu o pirarucu (*Arapaima gigas*), e foi responsável por mais de 40% (20.000 toneladas) de todo o pescado consumido em Manaus no ano de 1970 (PETRERE, 1978a). Desde então uma série de estudos foram realizados sobre a pesca e dinâmica das populações exploradas na Amazônia Central (PETRERE, 1978^a; PETRERE, 1983; GOULDING, 1979; SMITH, 1979, BATISTA et al, 1998; BATISTA et al, 2003; MERONA; BITTENCOURT, 1988; MERONA; GASCUEL, 1993).

A partir da década de 90 a produção do tambaqui desembarcado na Amazônia Central mostrou redução com diminuição consistente em sua produção anual. Especificamente em Manacapuru estudos destinados a produção pesqueira do tambaqui geraram séries históricas curtas através de dados de desembarque (RUFFINO et al., 2002, 2005, 2006; BATISTA, 2003; THOMÉ-SOUZA, 2007; SOUSA; FREITAS, 2011; FREITAS et al., 2012; CORREIA; FREITAS, 2013; CAMPOS et al., 2015). O desembarque no porto de Manacapuru no período de 2014 a 2016 registrou uma produção total do tambaqui de 93.2 toneladas, equivalente a apenas 21% do valor total do desembarque no período de 2002 a 2004, que foi de 432.9 toneladas avaliadas pelo projeto IBAMA/Provárzea, 2006 (Figura 18).

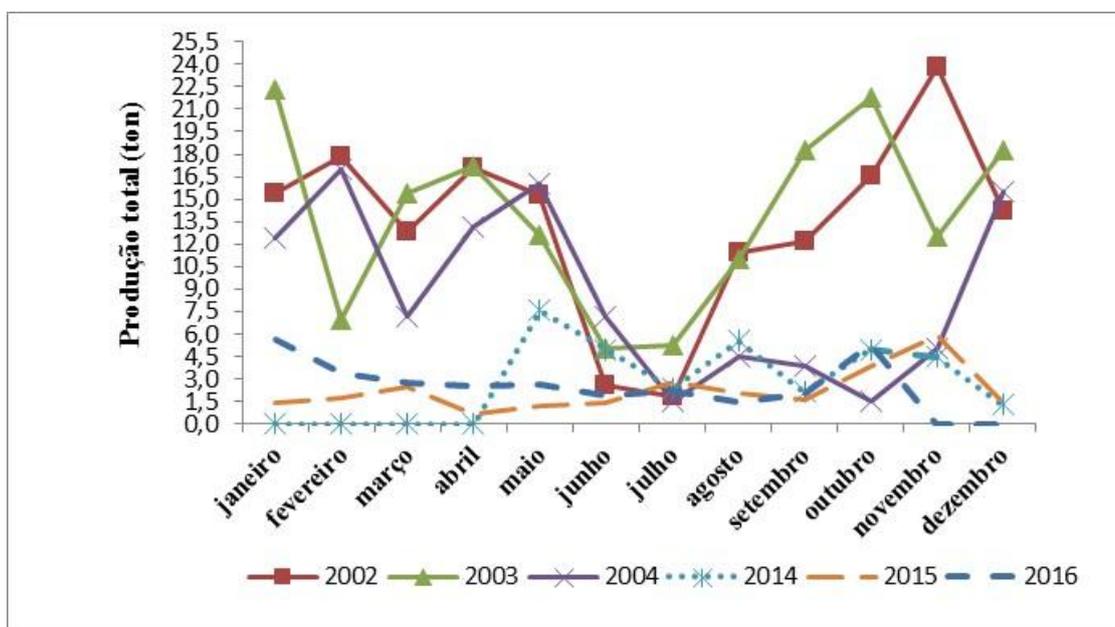
Figura 22: Produção anual de tambaqui nos períodos de 2000 a 2004 e 2014 a 2016



Dados que corroboram a tendência nacional de diminuição do desembarque de tambaqui a partir de 2010 (BATISTA, 2012; DIAS-NETO, 2015).

Além do declínio foi possível observar para os anos de 2015 e 2016 uma mudança no padrão de produção da pesca se comparados aos anos de 2002 a 2004 então existente ao longo do meses de cheia e seca (abril-julho, setembro-novembro), reflexo da pescaria nos períodos sazonais cujo fator predominante são as flutuações do nível do rio (Figura 19). O que pode ser consequência alto declínio da produção de tambaqui.

Figura 23: Produção total (t) mensal em Manacapuru nos anos de 2002 a 2004 e 2014 a 2016.



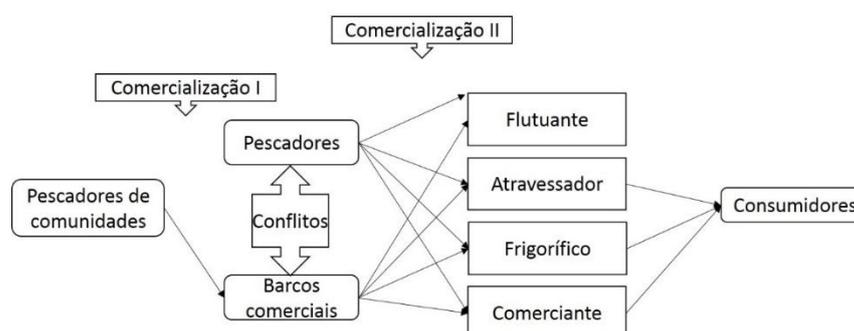
Esse declínio na produção total do tambaqui e as mudanças nos padrões de produção mensal, se deve em parte pelo estado de sobre-exploração de crescimento já relado por diversos autores (MERONA; BITERCOURT, 1988; BATISTA, 1998; BATISTA; PETRERE, 2003; FREITAS et al., 2006; ISAAC E RUFFINO, 1996; COSTA et al, 2001; IBAMA/ProVárzea, 2006; CAMPOS,2015). Por outro lado, estudos recentes mostraram a ausência de estoques desovantes e de larvas de tambaqui, o que poderá ser um forte indicador de sobre-exploração por recrutamento, ou seja, de um limiar ao colapso pesqueiro do tambaqui na Amazônia Central (PAULY, 1988; MOUNIC-SILVA, 2009, LEITE; SILVA, 2007).

Os resultados deste estudo apontam um risco ainda maior devido a constante captura de indivíduos jovens. A análise biométrica dos tambaquis desembarcados no porto de Manacapuru de 2014 e 2015 indicam variação de capturas mensais bem abaixo do comprimento mínimo de 55cm, apontando para a ineficiência da aplicação das regras vigentes para a sustentabilidade dos estoques de tambaqui (IN.IBAMA/MMA n.35, 2005; IN.IBAMA/IN.IBAMA n.106,2006). Segundo a literatura, estes comprimentos não tem variado muito se coletados os peixes em lagos ou nos grandes rios da região (CAMPOS, et al.,2015; CORREIA; FREITAS,2013; SANTOS; FREITAS, 2011; BATISTA, 2012).

Outros reflexos de que o estoque tem apresentado problemas são os preços médios de primeira comercialização. Comparados os preços médios do tambaqui dos anos de 2004 (R\$ 2,68) e 2016 (R\$7,30), um intervalo de 12 anos, houve aumento de mais de 61%. Os preços médios do tambaqui repassados dos pescadores aos atravessadores do rio Solimões e Purus são diferenciados e mais altos que os dos lagos próximos a Manacapuru. O que pode ser explicado pelos custos de viagem e tamanho do pescado.

A comercialização da pesca do tambaqui em Manacapuru é em geral mediada pelos flutuantes e barcos de pesca que funcionam como atravessadores. Nos flutuantes ocorre o pagamento aos pescadores conforme o preço do pescado, tamanho e qualidade de acordo com o período hidrológico do momento da comercialização (RAPOZZO, 2011). No entanto, o grande aumento da compra do tambaqui em comunidades ribeirinhas para fins de redução de custos de pescaria pelos donos dos barcos, sugere uma nova organização das relações econômicas do tambaqui na região. Uma segunda comercialização em potencial antes de chegar aos atravessadores e flutuantes. O que cria um novo tipo de atravessador de pescador a pescador, nas redes de comercialização do pescado (Figura 20). Este tipo de comercialização foi similar ao reportado por Lima et. al., (2012) no rio Madeira.

Figura 24: Figura adaptada de (RAPOZZO, 2011) sobre o fluxograma da comercialização do tambaqui em Manacapuru com a adaptação de urnas de refrigeração em pequenos barcos.



Pescadores informaram a compra em comunidades ribeirinhas para revenda de indivíduos jovens com tamanho médio geral de captura de 39.1 cm (ruelos) em 82% dos tambaquis desembarcados no porto e também relataram a dificuldade na captura em áreas próximas ou de áreas antes bastante frequentadas para a pesca do tambaqui. Outros peixes migradores como pacus, jaraquis e curimatãs não apresentaram o mesmo tipo de relação comercial. A dificuldade em capturar pode estar levando a mudanças nos hábitos de comercialização do tambaqui na região de Manacapuru.

O tamanho de captura do tambaqui independente de sua origem está bem abaixo do que é estabelecido pela portaria do IBAMA n.8/1996. Outro fator que se pode observar pelos resultados de produção, é que o desembarque tem sido contínuo ao longo de todo o ano incluindo os meses de outubro a março, período do defeso segundo Instrução Normativa n.35 de 29 de setembro 2005. A falta de fiscalização assim como a ausência de alternativas de renda e educação ambiental para a conservação da espécie, podem colaborar com o cenário de declínio aqui apresentado para o tambaqui.

Além disso, as embarcações de porte pequeno utilizadas nas pescarias estão sofrendo modificações e estão sendo adaptadas as necessidades de maior tempo de deslocamento e melhor preservação do pescado. Em estudos sobre a frota pesqueira realizados nos anos de 1996-1997 (BATISTA,2003) foram registrados apenas dois tipos de embarcações (canoas motorizadas e barcos de pesca) e 2001-2002(GONÇALVES; BATISTA,2008), 4 tipos de embarcações (canoas a remo, canoas motorizadas, barcos de pesca e recreios (embarcações de transporte de passageiros). Neste último, a frota de barcos recreio era de apenas 1,6% e de barcos de pesca (ou geleiros) 36,7%. No entanto, no período de 2014 a 2016 foram registrados aumentos na proporção de desembarques de barcos recreio e canoas motorizadas (58% e 12%), e queda de participação na produção dos barcos geleiros (28%). Os hábitos comuns à pescaria e embarcações em Manacapuru também têm mostrado facetas novas como a adaptação dos barcos recreios com urnas de refrigeração a bordo, o que leva a embarcação para outro nível de operacionalização da pescaria e conflitos entre os pescadores (Figura 12). Essa adaptação dos barcos facilita a exploração de áreas mais distantes e maior tempo de permanência. O que se pode verificar com o lago do Ladrão e lago do Jacaré que saiu dos padrões de produção até então esperados por pescarias de pequena escala ou artesanais caracterizados, em geral, por viagens de curta duração, capturas próximas e ausência de refrigeração a bordo (HELLEBRANDT et al., 2014). Interessante observar que o perfil dos pescadores não diferiu muito do que consta na literatura (LIMA,2003; CUNHA, 2011) e nem sua renda ou pelo menos a renda declarada por pesca. O que observamos foi que o modo como conduz a pesca e a

dificuldades em encontrar o tambaqui é que estão sugerindo uma possível alteração na forma de tratar este recurso e certamente isso não se dará única e exclusivamente com o tambaqui uma vez que a pesca local é multiespecífica.

V. Considerações finais

O que nos diz o status atual da pesca do tambaqui da Amazônia Central? O tambaqui desembarcado ao longo do período de 2014 a 2016 em Manacapuru aponta para tendência de queda na produção total. Isso fica evidente quando comparado com a produção total de 432.9 toneladas no período de 2002 a 2004 amostrados pelo Projeto ProVárzea na mesma região, o decréscimo é de cerca de 78% na produção total em apenas 12 anos. O que corrobora com a tendência nacional registrada até 2010.

A média do tamanho de captura está abaixo do valor estabelecido pela portaria N.08 de 02 fev. de 1996 do IBAMA. O tambaqui é desembarcado ao longo de todo o ano incluindo os meses de outubro a março, período do defeso (IN MMA n.35 de 29 de setembro de 2005). Mais de 98% do pescado desembarcado foi de ruelos (peixes em estágio jovem), com média de 39.1cm e menos de 2% acima do valor de 55cm.

O rio Purus foi o local de origem de 80% dos tambaquis desembarcados no principal porto de Manacapuru, o que indica um declínio do pescado oriundo do rio Solimões e dos lagos da região de Manacapuru que juntos alcançaram apenas 20% da produção total desembarcada.

A comercialização do pescado indica média de preços crescentes, principalmente os que têm origem no rio Purus e Solimões. A grande maioria dos tambaquis desembarcados foi comprada nas comunidades o que sugere uma nova organização das relações econômicas em relação ao tambaqui ainda que não se tenha observado para outros peixes migradores como pacus, jaraquis, curimatãs.

Os tipos de embarcações utilizadas foram predominantemente as mesmas relatadas em literatura para a Amazônia Central ao longo de décadas, com uma maior utilização de barcos recreios e canoas motorizadas. Observaram-se adaptações para melhor eficiência no armazenamento de gelo e pescado nos barcos recreio (pequeno porte). Estes estão com urnas fixas ou geladeiras obtendo assim capacidade de gerir pescarias a maior distância, conservando o pescado por maior tempo.

Os aparelhos de pesca mais utilizados são as malhadeiras de 40 a 120mm entre nós. Outros aparelhos como espinhel e redinha são complementares e utilizados conforme período sazonal para as capturas do tambaqui.

Em Manacapuru como a despeito de Manaus a produção do tambaqui tem sido reduzida mostrando uma tendência significativa de queda em relação aos dados de anos anteriores. A inexistência de dados históricos e análises tão somente efetuadas a partir da produção total do pescado desembarcado, não reflete com precisão a situação atual do estoque na região. A intensificação de estudos se faz urgente e levantamento de dados sobre o quanto a piscicultura atua e pode auxiliar na sustentabilidade do tambaqui se faz necessária para avaliações mais precisas. Efetivamente, o período de defeso não está sendo respeitado e a fiscalização foi o fator de maior indicação pelos próprios pescadores, como atitude correta e necessária a subsistência do tambaqui.

Outro aspecto importante a ser abordado está relacionado com a identificação dos barcos que desembarcam nos flutuantes. Atualmente os registros e entrevistas no porto de Manacapuru não contemplam a identificação das embarcações, mas tão somente dos dados de pescado desembarcados e raramente as informações sobre esforço de pesca. O que inviabiliza análises que necessitem da CPUE (Captura por Unidade de Esforço). Sabemos que em macro escalas o desembarque do tambaqui apresenta variações nas Macrorregiões e vem sofrendo afunilamento da produção em Manaus (BATISTA, 2012). Seria importante saber o quanto deste comportamento está sendo replicado em escalas menores e ao longo de meses e áreas exploradas. Considerando análises que conseguissem estimar a CPUE por área e mês, o que poderia ser viável com a identificação dos barcos e suas declarações das áreas visitadas por viagem mensal. Alguns dados são descartados por não discriminarem a área proveniente das capturas, fator este encontrado nos desembarques de Manacapuru. Além disso, tamanhos de captura variam ao longo dos ciclos hidrológicos, os dados de desembarque apontam para alguns habitats de maior uso talvez pela disponibilidade do recurso, o que facilita a eficiência de captura das embarcações conforme seu poder de pesca. Seria importante avaliar futuramente metodologias que estimassem a captura por área de pesca a partir de dados pouco informativos para os padrões de análises clássicas. Para isto se faz necessário ajustes e a vontade dos órgãos responsáveis em manter e preservar a eficiência na coleta dos dados de desembarque.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Programa de Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas pelo apoio institucional aos autores.

Referências

AGOSTINHO, Â.A. et al. **Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 70-78, 2005.

ALLAN, .D. et al. **Overfishing in Inland Waters**. BioScience, 55(12):1041-1051, 2005.

ALONSO, J.C.; PIRKER, L. **Dinâmica populacional e estado atual de exploração de Piramutaba e de Dourada**. In Fabr , N.N., Barthem, R.B. (Eds.). O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: Piramutaba e Dourada no eixo Solimões – Amazonas. ProVárzea/IBAMA, Manaus, AM. p 21-28. 2005.

ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. **Os frutos do tambaqui: ecologia, conserva o e cultivo na Amazônia**. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá/CNPq, 1998. 186 p.

BATISTA, VS. et al. **Characterization of the fishery in river communities in the low-Solimões/high-Amazon region**. Fisheries Management and Ecology, v. 5, p. 419-435, 1998.

BATISTA, V. S.; FREITAS, V. S. O descarte de pescado na pesca com rede de cerco no baixo rio Solimões, Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v. 33, n. 1, p. 127-143, 2003.

BATISTA, VS; PETRERE JR, M. **Characterization of the commercial fish production landed at Manaus, Amazonas State, Brazil**. *Acta Amazonica*, v. 33, n. 1, p. 53-66, 2003.

BATISTA, V.S. **A pesca na Amazônia central**. In: RUFFINO, Mauro Luís. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Provárzea, Manaus, Brasil (in Portuguese), 2004.

BATISTA, V.S. et al. **Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, 2012.

BARTHEM, R. B.; GOULDING, M. **Os bagres balizadores: ecologia, migra o e conserva o de peixes amazônicos**. Tefé: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, 1997.

BARTHEM, R.; GOULDING, M. **An unexpected ecosystem: the Amazon as revealed by fisheries**. Missouri Botanical Garden Press, 2007.

BAYLEY, P. B.; PETRERE, M. **Amazon fisheries: assessment methods, current status, and management options**. *Can. Spec. Publs Aquat. Sci.*, 106, 385-98p, 1989.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis/ Ministério do Meio Ambiente, Instru o Normativa n. 35 de 29 de setembro de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 de set. de 2005. IN.IBAMA/MMA n.35, 2005;

BRASIL, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, Instru o Normativa n.106 de 21 de julho de 2006. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 de jul. 2006.

CAMPOS, C. P. et al. **Population dynamics and stock assessment of *Colossoma macropomum* caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil)**. Fisheries management and ecology, v. 22, n. 5, p. 400-406, 2015.

CORREIA, G. B.; FREITAS, C.E.C. Relação peso-comprimento de *Colossoma macropomum* e *Prochilodus nigricans* a partir de dados de desembarque em Manacapuru-AM. **Scientia Amazonia**, Manaus, v. 2, n.2, p.15-19, 2013 2013.

COSTA, L.R.F; BARTHEW, R.B.; BITTENCOURT, M.M. **Na área do médio Solimões, AMAZONAS, BRASIL**. Acta Amazônica, v. 31, n. 3, p. 449-468, 2001.

CUNHA, F.C. **Etnoconhecimento de pescadores no sistema Lago Grande de Manacapuru, AM**. 2011. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciências do ambiente e sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

DIAS-NETO, J.; DIAS, J. de F. O. **O uso da biodiversidade aquática no Brasil: uma avaliação com foco na pesca**. Brasília: Ibama, 2015.

FABRÉ, N.N. ; ALONSO, J.C. 1998. **Recursos ícticos no Alto Amazonas: sua importância para as populações ribeirinhas**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Zool. 14(1):19-55.

FREITAS, CEC; BATISTA, VS. **A pesca e as populações ribeirinhas da Amazônia Central**. Brazilian Journal of Ecology, v. 3, n. 2, p. 31-39, 1999.

FREITAS, CEC; BATISTA, VS; INHAMUNS, AJ. **Strategies of the small-scale fisheries on the Central Amazon floodplain**. Acta Amazonica, v. 32, n. 1, p. 101-108, 2002.

FREITAS, C.E.C.; NASCIMENTO, F.S.; SIQUEIRA-SOUZA, F.K. "Levantamento do estado de exploração dos estoques de curimatã, jaraqui, surubim e tambaqui". In Ruffino, M.L. [eds.] O setor pesqueiro na Amazônia: análise da situação atual e tendências do desenvolvimento da pesca. *Documentos Técnicos: Estudos Estratégicos*, ProVárzea, Ibama. 2006.

FREITAS, C.E.C et al. **Levantamento do estado de exploração dos estoques de curimatã, jaraqui, surubim e tambaqui**. in: O setor pesqueiro na Amazônia: Situação atual e perspectivas. ProVárzea – Manaus:Íbama. 122 p. 2007.

FREITAS, CEC, RIVAS, AAF, CAMPOS, CP, SANT'ANNA, I, KAHN, JR, CORREA, MAA, CATARINO, MF. (in press). **The potential impact of global climatic changes and dams on Amazonian fish and their fisheries**. In Turker H. [ed.] Dynamic Changes in Fish Biology and Fisheries. InTech publishing. 2013.

GOULDING, M. **Ecologia da pesca no Rio Madeira**. Manaus: Inpa, 1979.

GONÇALVES, C.; BATISTA, V. S. **Avaliação do desembarque pesqueiro efetuado em Manacapuru, Amazônia Central**. Acta Amazonica, v. 38, p. 135-144, 2008.

HELLEBRANDT, D. et al. **Segurança alimentar e pesca artesanal: análise crítica de iniciativas na América Latina**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 32, 2014.

ISAAC, V.J.; BARTHEM, R. B. **Os recursos pesqueiros da Amazônia Brasileira**. 1995.

ISAAC, V. J., and RUFFINO, M. L. **Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil.** Fisheries Management and Ecology 3.4 (1996): 315-333.

LEITE, RG.; SILVA, JVV. **Indicadores de presença de larvas de peixes no rio Solimões entre Coari e Manaus.** In: CAVALCANTE, K.V et al. (org). Indicadores socioambientais e atributos de referência para o trecho Urucu-Coari-Manaus, Rio Solimões, Amazônia Ocidental, Manaus, AM. ADUA, 2007, p.87-95.

LIMA, A.C et al. **On standardization of the fishing effort.** Acta Amazonica, 30(1):167-169, 2000.

LIMA, L. G. **Aspectos do Conhecimento Etnoictiológico de Pescadores Citadinos Profissionais e Ribeirinhos na Pesca Comercial de Amazônia Central.** 2003.131fl. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciências do ambiente e sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2003.

MÉRONA, B.; BITTENCOURT, M.M. **A pesca na Amazônia através dos desembarques no mercado de Manaus: resultados preliminares.** Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle, v. 48, (Supl. 2), p. 433-453. 1988.

MERONA, B.; GASCUEL, D. **Effects of flood regime and fishing effort on the overall abundance of an exploited fish community in the Amazon floodplain.** Aquatic Living Resources, v. 6, n. 1, p. 97-108, 1993.

MOUNIC-SILVA, C.E. Sobrepesca do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central: histórico, situação atual e perspectivas..In: Scarlato,F.C.,R.A. de Oliveira Evangelista & W.F. Araújo (eds.) Amazônia Terra & Água: Degradação e Desenvolvimento Sustentável. Editorada UFRR, Paricarana, 2012. p.19-39.

MOUNIC-SILVA, Carlos Eduardo. **Abundância de juvenis do ano de Characiformes migradores em áreas de várzea do baixo rio Solimões (Amazonas, Brasil).** 66 f. Dissertação (Mestrado em Ecofisiologia, Ictiologia, Mamíferos aquáticos, Recursos pesqueiros, Aquacultura, Sistemática e Biol) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

PAULY, D. **Some definitions of overfishing relevant coastal zone management in southeast Asia.** Tropical Coastal Area Management 3(1):14-15,1988.

PETREREa, M. **Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. II. Locais e aparelhos de captura e estatística de desembarque.** Acta Amazonica, v. 8, (Supl. 2), p.1-54, 1978.

PETRERE, M., **Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil.** Journal of Fish Biology, v. 22, n. 2, p. 133-144, 1983.

RAPOZZO, Pedro. A renda da água: trabalhadores da pesca e as redes de comercialização na amazônia brasileira. **REDD–Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, v. 4, n. 1, 2011.

RUFFINO, M. L. et al. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará-2001**. Manaus: Ibama/ProVárzea, 2002. 84 p.

RUFFINO, M. L. **Gestão do uso dos recursos pesqueiros na Amazônia**. Manaus: Ibama, 2005. 135 p.

RUFFINO, ML (Coord.). **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira** / Coordenado por Mauro Luis Ruffino. – Manaus: Ibama/ProVárzea, 2004. 272p.

RUFFINO, M. L. et al. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará-2003**. Manaus: Ibama/ProVárzea. 2006. 76 p.

SMITH, N. J. **A pesca no rio Amazonas**. Manaus: Inpa/CNPq, 1979. 154 p.

SOUSA, RGC et al. **Mudanças Sociais na Pesca Artesanal: Um Estudo a partir da Pressão Sobre o Estoque de Tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) do Lago Grande de Manacapuru (Am)**. ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SOCIEDADE, v. 4, p. 1-13, 2008.

SOUSA, RGC; FREITAS C. **Seasonal catch distribution of tambaqui (*Colossoma macropomum*), Characidae in a central Amazon floodplain lake: implications for sustainable fisheries management**. Journal of Applied Ichthyology. 2011;27(1):118-21.

THOMÉ-SOUZA, M. J. F et al. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará-2004**. Manaus: Ibama/ProVárzea, 2007. 74 p.

WELCOMME, R.L. et al. **Inland capture fisheries**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, v. 365, n. 1554, p. 2881-2896, 2010.

VIANA, JP. **Recursos pesqueiros do Brasil: situação dos estoques, da gestão e sugestões para o futuro**. 2013.

ARTIGO II – A percepção dos pescadores sobre os efeitos da seca e cheia extremas no ambiente e pesca do tambaqui da Amazônia Central

A percepção dos pescadores sobre os efeitos da seca e cheia extremas no ambiente e pesca do tambaqui da Amazônia Central

Karla Tribuzy⁴, Sandro Bitar⁵ e Carlos Edwar de Carvalho Freitas⁶

Resumo – A percepção dos pescadores sobre os eventos de cheias e secas extremas foram estudadas na cidade de Manacapuru. Os pescadores foram entrevistados acerca de suas percepções sobre os efeitos locais de mudanças climáticas globais nos últimos anos e o impacto destes eventos sobre o ambiente e estoque do tambaqui. Dentre os pescadores entrevistados 91% relataram que ao longo dos anos tem notado mudanças no clima local que classificaram como negativa e com intensidade moderada. Assim como, identificaram variações quanto ao tamanho e quantidade dos estoques de tambaqui após eventos extremos de cheia e seca. A temperatura e o desmatamento foram parâmetros identificados como os que ocorreram mais mudanças. Foram identificadas causas e efeitos dos eventos extremos o que permitiu extrair indicadores de mudanças climáticas locais apoiado no saber local. Utilizando uma análise de decisão multicritério fuzzy em grupo foi possível avaliar e classificar os principais fatores que segundo os pescadores afetam a dinâmica da pesca e do estoque do tambaqui tendo como critérios para esta avaliação os eventos extremos de seca e cheia, sendo possível gerar cenários com pesos de mais ou menos importância para cada evento.

Abstract- The fisher perceptions on extreme flood and drought events was studied in the city of Manacapuru. Fishers were interviewed about local climate change in recent years and the impact of these events on the environment and tambaqui stock. Among the fishermen interviewed, 91% reported that over the years they have noticed changes in the local climate that they classified as negative and with moderate intensity. As well, they identified variations in the size and quantity of tambaqui stocks after extreme flood and dry events. The temperature and deforestation were parameters that identified as the most changes occurred. Causes and effects of extreme events were identified, which allowed the extraction of local climate change indicators based on local knowledge. The fuzzy multi-criteria group decision making analysis was used to evaluate and classify the main factors that, according to the fishermen, affect the fishing dynamics and the tambaqui stock, having as criteria for this evaluation the extreme events of drought and flood, being possible to generate scenarios with weights of more or less importance for each event.

⁴ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas. ktribuzy@gmail.com

⁵ Professor Doutor na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Matemática. sandrobitar@gmail.com

⁶ Professor Titular na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Ciências Pesqueiras. cefreitas@ufam.edu.br

I. Introdução

As mudanças climáticas são consideradas uma forte ameaça à biodiversidade global e funcionamento de ecossistemas (THOMAS et al., 2004; IPCC, 2007; CHEUNG et al., 2009; BELLARD et al., 2012). Os efeitos da temperatura já são evidentes nos ambientes e biotas (PARMESAN; YOHE, 2003) mostrando alterações geograficamente diferenciadas (SOLOMON et al., 2007; PACHAURI et al., 2014).

As mudanças climáticas e seus efeitos nos recursos pesqueiros são reportados há mais de duas décadas (MACFARLANE et al., 2000; FICKE et al., 2007; HOLLOED et al., 2009). Dentre os ambientes mais ameaçados pelas mudanças climáticas estão os ecossistemas de água doce, por causa das mudanças na disponibilidade do recurso e na qualidade da água (POFF et al., 2002; PITTOCK et al., 2008; FREDERICO et al., 2016).

Ambientes de água doce e os organismos que neles habitam, são particularmente vulneráveis devido ao isolamento e fragmentação da paisagem terrestre (FAUSCH et al., 2002; FICKE; MYRICK, 2007). Além disso, sabe-se que a água da superfície determina a qualidade e disponibilidade de água no habitat aquático, essa depende das chuvas e dos regimes de temperatura, drasticamente afetados pelas mudanças climáticas (CARPENTER et al., 1992; HOBDA & LOUGH, 2011; GRIMM, 2011). Há evidências de que o clima do planeta está mudando mais rapidamente do que em períodos anteriores (IPCC, 2001, 2014), com efeitos potenciais sobre a bacia amazônica (SHUKLA et al., 1990; MALHI et al., 2008; MARENGO, 2012; SANTOS et al., 2017).

Na Amazônia, os fatores externos estão diretamente relacionados com as condições ambientais representadas por fenômenos como temperatura, pluviometria e poluição, os quais podem influir na ação direta do homem, durante o processo da pesca. Os ambientes são extremamente variáveis sazonalmente e os pescadores aproveitam desta sazonalidade para obter maior rendimento nas pescarias (ISAAC et al., 2016; CASTELO et al., 2016; SOUZA et al., 2017). Os ciclos biológicos dos peixes são estreitamente dependentes dos eventos hidrológicos. A reprodução da maioria das espécies de peixes da Amazônia ocorre na época da subida das águas. Qualquer evento climático que afete de alguma forma essa dinâmica pode vir a comprometer os estoques pesqueiros. No entanto, há um consenso de que os impactos sobre o peixe serão espécie-específico, diretamente relacionado com as características biológicas de cada espécie. Qual fator ou que peso este terá sobre essa dinâmica do recurso biológico não se tem muitas informações. As pesquisas sobre as projeções ou cenários locais destes eventos sobre os estoques do tambaqui, um peixe de estratégia sazonal migratório e em

estado de conservação vulnerável são ainda incipientes (ROSA; MENEZES,1996; RAMOS,2016; ALMEIDA, 2016; LOPES et al., 2017).

Recentemente, diversos estudos tem levado em consideração o Conhecimento Ecológico Local - CEL dos pescadores para preencher lacunas sobre adaptações e impactos dos eventos climáticos sobre os recursos pesqueiros (COLL et al.,2014; GUERREIRO et al., 2016; MENON et al.,2016; MUSINGUZI et al., 2016). O Conhecimento Ecológico Local é o saber, as práticas e as crenças das populações locais, dentre elas o conhecimento dos pescadores, sobre o ambiente e os recursos naturais utilizados para a sua subsistência ou para obtenção de renda. Este saber é construído e incorporado por meio das atividades socioprodutivas, a partir do contato direto com os recursos naturais ou por meio da transmissão cultural entre as gerações (RUDDLE, 1993, BERKES, 1999).

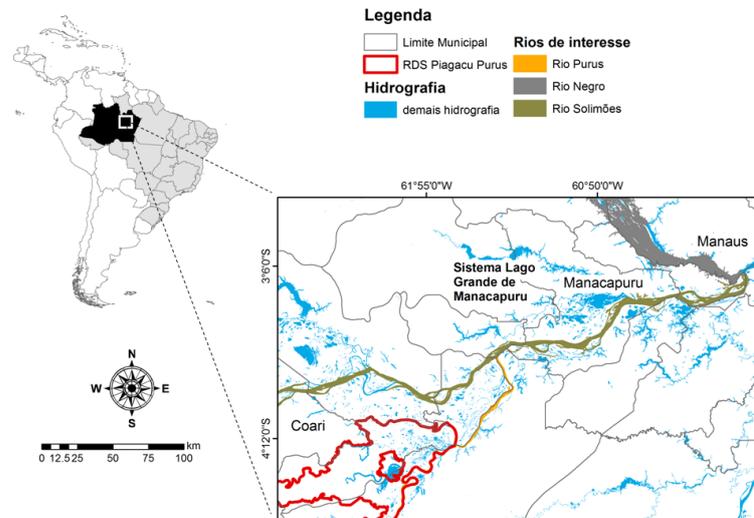
No caso dos pescadores, a existência de uma relação estreita com a dinâmica das águas e a ictiofauna aumenta a interdependência das estratégias de pesca aos ciclos naturais, permitindo aos pescadores identificar eventos climáticos atípicos, tais cheias e secas extremas (COSTA-NETO; MARQUES, 2000; DIEGUES, 2000; BEGOSSI, 2004; RAMIRES et al., 2007, SANTOS et al., 2016, GUERREIRO et al, 2016) e seus efeitos sobre os recursos explorados. Além disso, este saber local é potencialmente importante, pois, em alguns casos, pode ser a fonte exclusiva de informações relativas às condições climáticas no passado ou sobre as mudanças locais percebidas na atualidade (JOHANNES, 1998). Nesse contexto, o presente estudo propõe registrar o conhecimento dos pescadores sobre os eventos extremos e seus efeitos no estoque de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e propor uma abordagem utilizando a lógica fuzzy para estabelecer a relação de importância e ordem de fatores bioecológico do estoque considerando suas avaliações ponderadas individual e em grupo.

II. Material e método

2.1 - Área de Abrangência do Estudo

A área de estudo abrange rios Solimões, da foz do rio Coari à confluência com o rio Negro, e o rio Purus entre o limite superior da reserva de desenvolvimento sustentável Piagaçu Purus (RDS Piagaçu Purus) à confluência com o rio Solimões (Fig.1), nas quais as atividades de pesca são executadas.

Figura 25: Mapa de abrangência do estudo



2.2. Formulário de entrevistas

Foram entrevistados 57 pescadores (50 homens e 7 mulheres) na Colônia de Pescadores Z-9 da cidade de Manacapuru no período de agosto a setembro de 2016. As entrevistas foram baseadas em um questionário semiestruturado (ver Apêndice). Os pescadores foram escolhidos de forma aleatória e as entrevistas realizadas de acordo com a disponibilidade e concordância livre e espontânea dos pescadores após explicação dos objetivos da pesquisa. Cada entrevista foi conduzida individualmente para evitar interferência nas respostas de outro pescador.

Para este capítulo foram utilizados os dados referentes as questões sobre os efeitos dos eventos extremos (secas e cheias extremas) e alterações climáticas sobre o ambiente e a pesca.

2.3 - Análise dos Dados

Inicialmente os dados foram tabulados em planilhas no Excel. Posteriormente executamos a análise exploratória dos dados e foram avaliadas as frequências relativas e algumas variáveis submetidas à estatística descritiva. Geramos uma escala para avaliar a intensidade de respostas positivas ou negativas dos entrevistados (Tabela 10).

Tabela 10: Escala de níveis de intensidade de respostas das questões positivas e negativas

Frequência de citações (%)	Nível de intensidade
0 + 25	Baixa
25 + 50	Moderada
50 + 75	Alta
75 + 100	Muito alta

Para a análise dos dados sobre conhecimento e percepção dos pescadores utilizamos a lógica fuzzy. A lógica fuzzy ao longo das últimas décadas vem se apresentando como uma abordagem que trata com robustez, a imperfeição das informações imprecisas e incertas (CHEUNG et al., 2005; SYLAIOS, et al., 2010; WISE et al., 2012; HAUSER-DAVIS et al., 2012). A lógica fuzzy também é reconhecida e equiparada ao raciocínio aproximado e computação com palavras (ZADEH, 1975). A computação com palavras enquanto metodologia é utilizada em lugar de números para a computação e raciocínio. O que é uma necessidade quando a informação disponível também é imprecisa para justificar o uso de números, e além disso, permite explorar esta imprecisão para alcançar robustez, baixo custo de solução e melhor relacionamento com a realidade (ZADEH, 1996). Para avaliarmos a importância e ordem de fatores bioecológico do estoque agregando as opiniões individuais e do grupo de pescadores sobre o estoque do tambaqui sob efeito de eventos extremos utilizaremos o método de suporte a decisões multicritério em grupo com auxílio de conjuntos fuzzy. Esta abordagem permite analisar e tratar dados imprecisos com a lógica fuzzy para tomada de decisões em grupo, ou seja, considerando o conhecimento e a decisão de cada indivíduo de um determinado grupo.

a) Avaliação da percepção dos pescadores quanto à quantidade de pescado e tamanho de captura após eventos extremos

Para a avaliação da percepção dos pescadores sobre as mudanças na quantidade e/ou no tamanho do tambaqui (questão 5.9 do formulário em Apêndice) calculamos o valor agregado das opiniões dos pescadores através de uma escala de 1 a 9 transformada em escala fuzzy (Tabela2). O valor agregado (**VAg**) informa o nível de consenso do grupo às respostas dadas. O operador linguístico utilizado foi o método de média ponderada fuzzy definida por:

$$VAg = \frac{\sum_{i=1}^j QR_i * VE_i}{\sum_{i=1}^j QR_i} \text{ onde } i = 1, \dots, 9$$

QR_i significa a quantidade de pescadores que responderam em correspondência aos valores da escala fuzzy (Tabela 2) com relação a relevância de cada atributo e VE_i o número fuzzy. O valor agregado foi normalizado para destacar a ordem de relevância dos atributos. O valor normalizado (VN) significa o grau de importância relativo. O que mais preocupa e o que é mais valorizado para os pescadores quanto aos atributos (quantidade de pescado e tamanho

de captura). Para efetuar o cálculo da normalização dividimos as respostas dos valores agregados de cada atributo pelo maior valor agregado encontrado.

Tabela 11: Definição dos Números fuzzy e Função de pertinência

Numero fuzzy	Função de Pertinência	Definição
1	(0, 1, 2)	Igual importância
2	(1, 2, 3)	Importância fraca
3	(2, 3, 4)	Importância moderada
4	(3, 4, 5)	Importância muito moderada
5	(4, 5, 6)	Importância Média
6	(5, 6, 7)	Importância Média forte
7	(6, 7, 8)	Alta importância
8	(7, 8, 9)	Muito Alta importância
9	(8, 9, 9)	Importância absoluta ou extrema

b) Análise da percepção dos pescadores sobre os eventos e seus impactos sobre os fatores ecológicos, socioeconômicos e de gestão do tambaqui

Para a análise das questões referentes ao conhecimento dos pescadores aos eventos extremos (seca e cheia) e importância de seus efeitos quanto a fatores ecológicos, econômicos e de gestão do tambaqui utilizamos o método de suporte a decisões multicritério em grupo gerando um modelo adaptado de LAU et al., (2003) e EKEL et al. (2009). O método consiste em classificar por ordem de importância os fatores (quantidade, disponibilidade de alimentos, desova, sobrevivência, movimentação, renda e fiscalização) considerando os critérios (eventos extremos: cheia e seca), em conformidade com a opinião do grupo de especialistas (o conhecimento dos pescadores). Denotaremos o conjunto de fatores por $A = \{A_i\}$ onde $i = 1, 2, \dots, n$, o conjunto de eventos $E = \{E_k\}$ onde $k = 1, 2, \dots, m$ e $P = \{P_z\}$ onde $z = 1, 2, \dots, q$ o conjunto dos pescadores. O processo de decisão multicritério em grupo exige duas operações de agregação: uma a agregação das opiniões de cada pescador para a construção da opinião do grupo como um todo e a agregação das preferências associadas a cada evento que gera informações globais refletindo simultaneamente todos os eventos. Neste estudo foram considerados 12 pescadores que ponderaram sobre todas as informações necessárias para análise. Desta forma visando uma representação da realidade sem comprometer a eficácia do método. Consideramos um conjunto finito, discreto de alternativas (no caso os fatores), um conjunto de critérios (de acordo com os quais as alternativas são

avaliadas e comparadas) de natureza quantitativa ou qualitativa e o conjunto de especialistas (os pescadores) envolvidos no processo de decisão. Nesta análise a importância da opinião de cada pescador na construção da opinião coletiva foi considerada igual. Não estabelecemos pesos diferentes para opiniões de pescadores seja quanto à idade ou experiência de pesca. Utilizou-se 9 números fuzzy para a gradação de opiniões e estimativas dadas pelos pescadores e a construção dos termos das variáveis linguísticas (Tabela 11).

As variáveis julgadas são números triangulares fuzzy como listados na (tabela 11)

$\bar{x} = (a, b, c)$ e sua função de pertinência dada pela equação (1):

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (1)$$

Para o procedimento de agregação de opiniões individuais tomamos cada avaliação fornecida pelos pescadores para cada evento (seca e cheia extremas) como uma estimativa fuzzy correspondente as ponderações de cada um dos fatores/alternativas (quantidade, disponibilidade de alimentos, desova, sobrevivência, movimentação, renda e fiscalização) (Tabela 12, 13 e 14).

Tabela 12: Descrição das alternativas ou fatores

Fatores/Alternativas	Descrição
A1	Quantidade de pescado
A2	Disponibilidade de alimento
A3	Desova
A4	Sobrevivência do tambaqui
A5	Movimentação do tambaqui
A6	Renda
A7	Fiscalização

Tabela 13 :Ponderações dadas pelos pescadores às alternativas para cheia extrema

		CHEIA											
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
A ₁	9	5	9	8	8	6	7	5	7	8	5	9	
A ₂	9	5	9	7	7	7	8	5	6	8	7	9	
A ₃	9	5	9	8	6	7	8	5	6	9	9	9	
A ₄	9	5	9	9	5	8	8	8	6	9	9	9	
A ₅	9	6	9	8	4	9	8	6	6	8	9	9	
A ₆	8	7	9	7	3	5	9	6	6	5	1	9	
A ₇	9	7	1	7	1	7	6	8	8	9	3	9	

Tabela 14:Ponderações dadas pelos pescadores às alternativas para seca extrema

		SECA											
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
A ₁	5	3	9	8	5	6	7	9	5	8	9	9	
A ₂	8	3	1	9	5	8	8	8	5	9	3	9	
A ₃	8	3	9	7	4	4	9	6	5	8	7	9	
A ₄	7	3	9	6	3	4	8	9	6	8	9	9	
A ₅	8	2	5	9	8	7	8	9	6	8	9	9	
A ₆	6	2	9	7	7	6	8	9	5	9	7	9	
A ₇	8	2	9	8	3	7	7	9	5	9	9	9	

Estas estimativas individuais foram agregadas em uma estimativa coletiva para cada fator (alternativa) em relação a cada critério (eventos extremos). Representamos por $\tilde{F}_k(A)_i^z$ a estimativa fornecida pelo z -ésimo pescador para i -ésimo fator, considerando o k -ésimo evento e por $\tilde{F}_k(A)_i^C$ a correspondente coletiva, agregação esta que corresponde a média aritmética ponderada de números fuzzy, conforme:

$$\tilde{F}_k(A)_i^C = \frac{q}{z} \sum_{z=1}^q \tilde{F}_k(A)_i^z \quad (2)$$

Obtemos, portanto a matriz de agregação coletiva dos fatores para cada evento (Tabela 15).

Tabela 15: Matriz de agregação coletiva dos fatores/alternativas para as fases de cheia e seca do ciclo hidrológico

	CHEIA	SECA
A1	7	7
A2	7	6
A3	8	7
A4	8	7
A5	8	7
A6	6	7
A7	6	7

Consideramos um vetor peso W que é utilizado para representar a importância relativa de cada evento durante a análise de decisão. O primeiro vetor utilizado foi obtido pela avaliação de cada pescador e calculamos a média ponderada em cada evento. A abordagem utilizada permite que utilizemos outros vetores para gerar cenários quanto à importância dos fatores em relação aos eventos extremos. Para isto, consideramos variações de maior e menor peso alternados em eventos de seca e cheia extrema. Ora intensificamos os valores de importância de pesos para o evento cheia extrema e diminuimos o peso para eventos de seca extremas, e ora fizemos o contrário, dando assim variações para analisar outros cenários.

Os resultados da análise são as ordenações de importância finais dos fatores e são representados em termos de números fuzzy pela matriz $R = F \otimes W^T$ onde

$$F = [A_i] = [\bar{a}_{ij}]_{m \times n}. \text{ O vetor peso fuzzy } W \text{ dos eventos é } [\bar{w}_j]_{1 \times n}, \mathbf{W}^T = \begin{bmatrix} \bar{w}_1 \\ \bar{w}_2 \\ \vdots \\ \bar{w}_n \end{bmatrix}, \text{ onde } \bar{w}_j \text{ é}$$

o peso relativo de cada evento. Logo,

$$R = \begin{bmatrix} \bar{a}_{11} \otimes \bar{w}_1 \oplus \bar{a}_{12} \otimes \bar{w}_2 \oplus \dots \oplus \bar{a}_{1n} \otimes \bar{w}_n \\ \dots \\ \dots \\ \bar{a}_{m1} \otimes \bar{w}_1 \oplus \bar{a}_{m2} \otimes \bar{w}_2 \oplus \dots \oplus \bar{a}_{mn} \otimes \bar{w}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{r}_1 \\ \bar{r}_2 \\ \vdots \\ \bar{r}_m \end{bmatrix}, \quad (3)$$

onde \bar{r}_i é o escore final para o nível de importância dos fatores. As operações de adição e multiplicação para os números triangulares fuzzy são definidas como em (LAU et al, 2003).

Seja $\bar{\mathbf{A}}_1 = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3)$ e $\bar{\mathbf{A}}_2 = (\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3)$ dois números triangulares fuzzy respectivamente, então:

A adição dos números fuzzy triangulares \oplus :

$$\bar{\mathbf{A}}_1 \oplus \bar{\mathbf{A}}_2 = (\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1, \mathbf{a}_2 + \mathbf{b}_2, \mathbf{a}_3 + \mathbf{b}_3) \quad (4)$$

A multiplicação dos números fuzzy triangulares \otimes :

$$\bar{\mathbf{A}}_1 \otimes \bar{\mathbf{A}}_2 = (\mathbf{a}_1 \times \mathbf{b}_1, \mathbf{a}_2 \times \mathbf{b}_2, \mathbf{a}_3 \times \mathbf{b}_3) \quad (5)$$

Para a ordenação dos números fuzzy da matriz final \mathbf{R} usaremos a média e desvio padrão fuzzy como definidos em (LAU et al, 2003).

$$\bar{\mathbf{x}}(\bar{\mathbf{r}}_i) = \frac{\mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{c}}{3} \quad (6)$$

$$\bar{\sigma}(\bar{\mathbf{r}}_i) = \frac{\mathbf{a}^2 + \mathbf{b}^2 + \mathbf{c}^2 - \mathbf{ab} - \mathbf{bc} - \mathbf{ac}}{18} \quad (7)$$

onde, $\bar{\mathbf{r}}_i = (\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})$ é um número triangular fuzzy. Assim, se:

$$\bar{\mathbf{x}}(\bar{\mathbf{r}}_i) > \bar{\mathbf{x}}(\bar{\mathbf{r}}_j), \mathbf{i} \neq \mathbf{j}, \mathbf{j} = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

ou

$$\bar{\mathbf{x}}(\bar{\mathbf{r}}_i) = \bar{\mathbf{x}}(\bar{\mathbf{r}}_j) > \bar{\mathbf{x}}(\bar{\mathbf{r}}_k), \bar{\sigma}(\bar{\mathbf{r}}_i) < \bar{\sigma}(\bar{\mathbf{r}}_j), \mathbf{k} \neq \mathbf{j} \text{ ou } \mathbf{k} \neq \mathbf{j}, \mathbf{k} = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

então $\bar{\mathbf{r}}_i > \bar{\mathbf{r}}_j$ e o fator $\bar{\mathbf{x}}_i$ correspondente a $\bar{\mathbf{r}}_i$ é o de maior importância.

III. Resultados

3.1 - Perfil socioeconômico

A idade dos entrevistados variou de 23 a 78 anos, com idade média de 46 anos e experiência de pesca de 26 anos. A maioria dos entrevistados (91%) é associado à Colônia Z-9, com tempo médio de 12 anos. A escolaridade é baixa, 46% dos pescadores têm Ensino Fundamental incompleto e 16% não frequentaram a escola. Os pescadores residem na região por em média por 28 anos, principalmente, na Sede Municipal de Manacapuru (49%) (Tabela 16). A renda média mensal declarada por 16% dos pescadores entrevistados equivale a aproximadamente um salário mínimo. A média da renda familiar anual já adicionada às atividades econômicas complementares ficou em torno de R\$ 8.876,00. Essa renda familiar é

composta por 6 tipos de atividades econômicas e/ou benefícios sociais: agricultura, aposentadoria, bolsa família, bolsa verde, seguro defeso, cargos públicos e criação de animais.

Tabela 16: Perfil socioeconômico dos pescadores entrevistados (N=57)

Perfil socioeconômico	Valores
Idade	
Mínima	23
Média	46
Máximo	78
Escolaridade (%)	
Ensino fundamental incompleto	46
Ensino médio incompleto	7
Ensino médio completo	16
Curso técnico	1
Não estudou	16
Não respondeu	14
Local de residência (%)	
Sede Municipal	49
Zona Rural	32
Não Informado	19

3.2 - A Percepção dos pescadores sobre eventos extremos no ambiente e pesca do Tambaqui (*Colossoma macropomum*)

3.2.a - Identificação e conhecimento dos eventos extremos pelos pescadores no ambiente

Dentre os pescadores entrevistados (n=57), 91% relataram que ao longo dos anos tem notado mudanças no clima local. Entre 25 e 50% dos pescadores consideram os efeitos locais destas mudanças climáticas negativas e de intensidade moderada em suas atividades cotidianas (Tabela 17).

Tabela 17: Descrição da intensidade dos efeitos dos eventos extremos locais

QUESTÃO	POSITIVO	NEGATIVO
Desde que está na região, você acha que houve mudanças no clima? Em que intensidade?	●	●
Escala: Baixa ● Moderada ●	Alta ●	Muito Alta ●

Foram declarados pelos pescadores os seguintes eventos associados a mudanças no clima: cheias prolongadas (42,1%), vazantes e secas extremas (10,5%) e a imprevisibilidade do clima (8,8%) (Tabela 18).

Tabela 18: Descrição dos eventos detectados pelos pescadores como mudanças no clima local

Justificativas	N	%
Cheias prolongadas	24	42.1
Vazante e secas extremas	6	10.5
Aumento da precipitação	1	1.8
Escassez de peixes	1	1.8
Imprevisibilidade	5	8.8
Não sabe	1	1.8
Outros	1	1.8
Não respondeu	18	31.6
Total	57	100

Na categoria "Cheia prolongada", os pescadores relataram aumento nos níveis de água e na amplitude do tempo de cheia em cerca de 30 dias além do que normalmente acontece neste período. Outro fator é a demora na transição do período de vazante. Além disso, é citado que as cheias são mais frequentes e o intervalo de tempo de ocorrências entre cheias extremas está mais curto.

Na categoria "Vazantes e secas extremas", foi mencionado que estes eventos estão menos frequentes e sendo maior o tempo de ocorrência entre eles. Em secas extremas, os pescadores observaram que a velocidade de vazante é maior que o padrão conhecido, assim como o aumento do calor (temperatura do ar). O reconhecimento da "imprevisibilidade do clima", vivenciada nos recentes anos, inseriu um componente de insegurança na capacidade dos pescadores em prever eventos extremos do ciclo hidrológico. Essa insegurança é causada pelo conflito entre um conhecimento pré-existente transmitido por gerações, e as mudanças que vem

ocorrendo em ritmo acelerado. Esses conhecimentos e informações evocam abordagens fuzzy, que viabilizam com confiabilidade, a utilização das palavras como recurso para computar e analisar este tipo de informação.

Apesar disso, eles ainda têm ciência dos períodos do ciclo hidrológico. Para os períodos de enchente, os meses mais citados foram janeiro a abril, períodos de cheia os meses de abril a julho, período de vazante os meses de julho a setembro e período de seca os meses de setembro a dezembro. Com base nestas informações é possível observar variações bruscas de citações entre as fronteiras de um período a outro do ciclo, principalmente na passagem da enchente para cheia e da cheia para vazante (Figura 21).

Os pescadores foram hábeis em reconhecer anos de eventos extremos. Os anos mais citados para cheias extremas foram 2009 (26%), 2012(33%) e 2015(46%). Para secas extremas, foi citado 2005(10%) e 2010 (10%) (Figura 22).

Figura 26: Distribuição de frequência de citações identificando os meses para cada período do ciclo hidrológico e o padrão médio das cotas do rio Solimões ao longo de 20 anos. Fonte: Dados de campo e Agência Nacional de Águas-ANA (www.ana.gov.br/) cotas do rio Solimões-Amazonas.

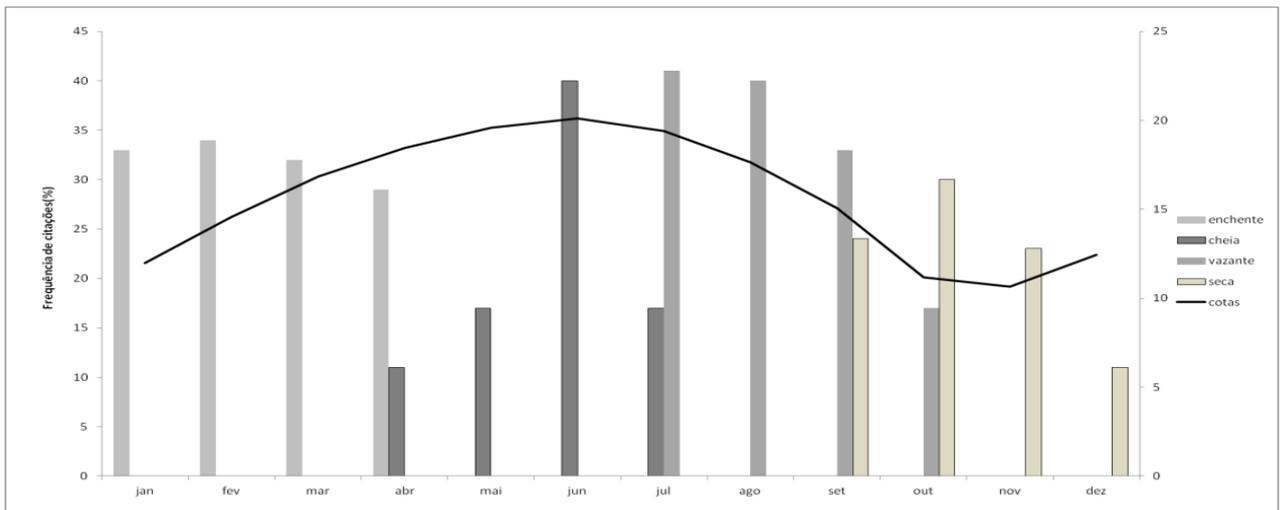
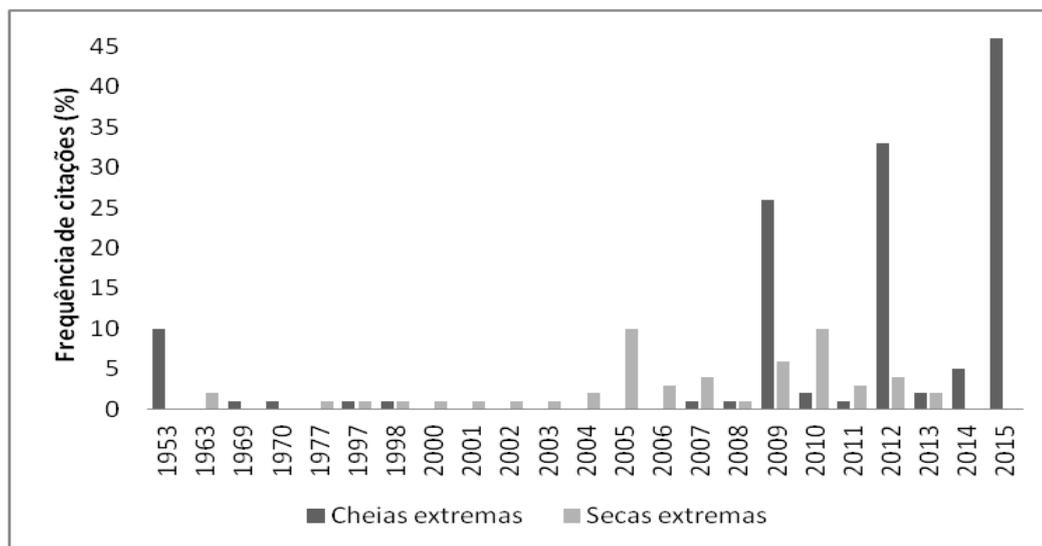


Figura 27: Citação dos entrevistados sobre os anos de ocorrência das cheias extremas e secas extremas em Manacapuru, AM.



3.2.b - Identificação e conhecimento dos efeitos de eventos extremos no ambiente aquático e ao ciclo de vida do tambaqui

Ao considerar os efeitos dos eventos extremos nos ambientes aquáticos da região, os pescadores identificaram 4 modificações principais, que juntas corresponde a mais de 60% do total das respostas dadas pelos entrevistados: elevação da temperatura (35%), diminuição na quantidade de peixe (14%), aumento de ocorrência das cheias extremas (12%) e redução das atividades produtivas (agricultura e pesca) (11%) (Tabela 19).

Tabela 19: Modificações no ambiente aquático regional, citadas pelos pescadores

Modificações citadas pelos entrevistados	N	%
Atividades produtivas	6	11
Alteração no clima	2	4
Cheias extremas	7	12
Não opinou	1	2
Não sabe	2	4
Nível do rio	1	2
Qualidade da água	2	4
Quantidade de peixes	8	14
Queimadas	1	2
Renda	1	2
Secas extremas	2	4
Temperatura	20	35
Vegetação	2	4
Vida do homem	2	4
Total	57	100

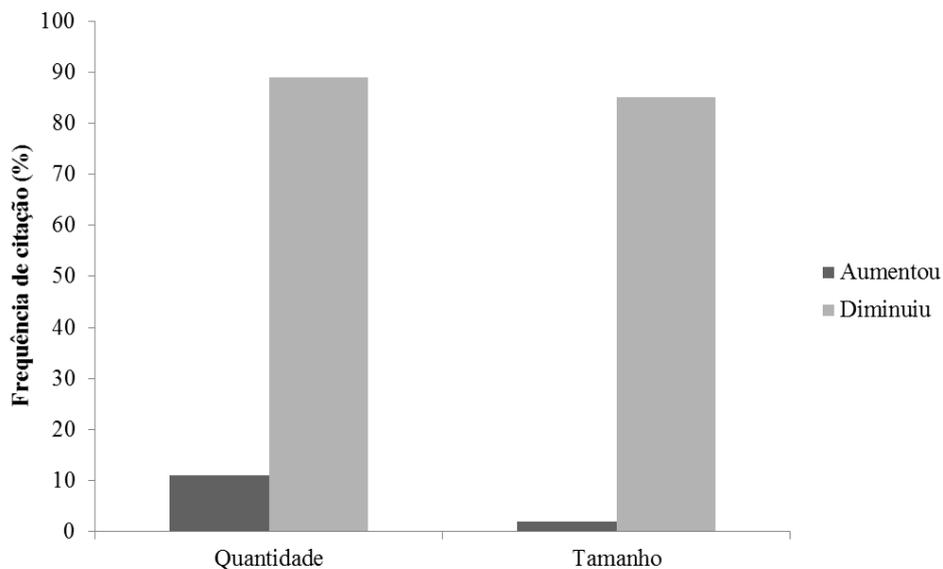
Considerando os efeitos dessas modificações sobre a pesca, 77% dos entrevistados relataram efeitos sobre a atividade. A ponderação dada a esses efeitos foi negativa para 25 a 50% dos pescadores entrevistados e com intensidade moderada (Tabela 20).

Tabela 20: Descrição de intensidade dos efeitos dos eventos extremos na pescaria

QUESTÃO	POSITIVO	NEGATIVO
As modificações climáticas observadas afetaram de alguma forma a pescaria? Em que intensidade?	●	●
Escala: Baixa ● Moderada ● Alta ● Muito Alta ●		

Na dinâmica da pesca foi citada alteração na duração e horários das pescarias devido a efeitos causados pela temperatura. Além desse, houve também a percepção dos efeitos dos eventos extremos sobre o estoque de tambaqui. Os pescadores relataram reduções na quantidade e no tamanho de tambaqui capturado nos rios e lagos após secas e cheias extremas (Figura 23).

Figura 28: Descrição da frequência de citações de pescadores quanto a intensidade dos efeitos na pesca do tambaqui após eventos extremos



3.3 – Identificação de indicadores locais, causas e efeitos de mudanças climáticas locais a partir do conhecimento dos pescadores.

A partir das análises exploratórias das entrevistas foi possível extrair indicadores locais de mudanças climáticas relatadas pelos pescadores. Inicialmente, foram listados pelos pescadores 87 itens, que foram reunidos em 3 grandes categorias: indicadores de impacto físico-biológicos, variáveis ambientais e sistemas de produção. Destas categorias, a de maior destaque foi a de sistema físico-biológico (54,3%). Nessa categoria os mais citados foram: "Escassez/Diminuição em quantidade e tamanho dos tambaquis" (22.3%), "desmatamento" (18.9%), "poluição de igarapés e rios" (12.2%) e "cheias acima da média e mais intensas" (4.7%). Na categoria variáveis ambientais destacou-se a temperatura. Enquanto que nos sistemas de produção a pesca foi o principal indicador citado (Tabela 21).

Tabela 21: Descrição dos indicadores de mudanças climáticas locais (N=148)

Indicadores de mudanças climáticas			
Indicador local	Descrição	N	Frequência (%)
<i>Observados impactos sobre o sistema físico-biológico</i>			
Eventos sazonais	Cheias acima da média e mais intensas.	7	4,7
	Duração da cheia prolongada (1 mês)	1	0,7
	Secas com pouca ocorrência/extremas	3	2,0
	Período de vazão alterado	2	1,4
Peixes	Escassez/diminuição na quantidade e tamanho de	33	22,3
Degradação ambiental	Árvores e vegetação mortas devido ao período prolongado do nível de água nas cheias.	2	1,4
	Área rural alagada.	1	0,7
	Poluição dos igarapés e rios.	18	12,2
	Desmatamento.	28	18,9
<i>Observação local de mudanças climáticas</i>			
Temperatura	Aumento de temperatura, tempo instável	22	14,9
	Sensação de calor prolongado e mais intenso ao longo do dia.	8	5,4
Precipitação	Precipitação extrema	1	0,7
<i>Observados impactos sobre sistema socioeconômico</i>			
Sistema de agricultura	Produtividade comprometida /redução do	4	2,7
Sistema de Pescaria	Estoque de determinadas espécies de peixes reduzidos	18	12

Foram relatados e identificados pelos pescadores efeitos e causas dos eventos extremos. Dos efeitos por eles observados no ambiente destacaram-se com maior número de citações o "aumento de temperatura e tempo instável" (20%). Nas atividades sócio-produtivas destacaram-se os efeitos na pesca como "estoque de algumas espécies reduzido e diminuição na quantidade e tamanho de peixes" (30.3%) (Tabela 22).

Tabela 22: Quadro de números de citações dos efeitos dos eventos extremos locais no ambiente e nas atividades sócio produtivas (N=109).

Frequência de menção dos efeitos locais de mudanças climáticas			
Indicador local	Descrição	N	Frequência (%)
<i>No ambiente</i>			
Modificações do ciclo hidrológico	Cheias acima da média e mais intensas.	7	6,4
	Duração da cheia prolongada (»1 mês)	1	0,9
	Secas com pouca ocorrência	1	0,9
	Secas extremas	2	1,8
	Período de enchente e seca alterado	5	4,6
	Alagação na zona rural	1	0,9
	Período de vazão alterado	2	1,8
Modificação da paisagem	Árvores e vegetação mortas devido ao período prolongado do nível de água nas cheias.	2	1,8
Temperatura	Aumento de temperatura, Tempo instável	22	20,2
	Sensação de calor prolongado e mais intenso ao longo do dia.	8	7,3
	Aquecimento da água	2	1,8
Precipitação	Chuvvas intensas	1	0,9
<i>Atividades sócio-produtivas</i>			
Pesca	Estoque de algumas espécies reduzido	18	16,5
	Diminuição na quantidade de peixes	15	13,8
	Diminuição no tamanho de peixes		
	Diminuição na renda	5	4,6
	Calor dificulta permanência na pescaria ao longo do dia	8	7,3
	Extensão por tempo prolongado de áreas de pesca	2	1,8
Agricultura			0,0
	Redução na produtividade	3	2,8
	Redução do tempo de plantio	1	0,9
	Diminuição na renda	3	2,8

As causas atribuídas a ocorrência dos eventos extremos locais mais citadas foram "desmatamento" (35.9%), poluição de igarapés e rios (23.1%) e "aumento de temperatura" (28.2%) (Tabela 23).

Tabela 23:Quadro de números de citações das causas relatadas pelos pescadores aos eventos extremos locais (N=78).

Frequência de menção de causas locais de mudanças climáticas			
Indicador local	Descrição	N	Frequência (%)
<i>Sistema ecológico</i>			
Eventos extremos	Cheias acima da média e mais intensas.	7	9,0
	Duração da cheia prolongada (1 mês)	1	1,3
	Secas com pouca ocorrência/extremas	1	1,3
Degradação ambiental	Poluição dos Igarapés e rios	18	23,1
	Desmatamento	28	35,9
Temperatura	Aumento de temperatura, tempo instável	22	28,2
Precipitação	Precipitação extrema	1	1,3

3.4 – Avaliação dos pescadores da dinâmica da pesca e estoque do tambaqui em eventos extremos.

Os pescadores avaliaram e ponderaram fatores relacionados a dinâmica da pesca e do estoque do tambaqui sob condições extremas (Apêndice-Eventos extremos). Estes fatores foram: quantidade do pescado, disponibilidade de alimento, desova, sobrevivência, movimentação, renda e fiscalização. Estas avaliações foram analisadas de forma a extrair a partir das ponderações individuais, um consenso do grupo sobre cada fator bioecológico, tendo por objetivo ordenar e classificar estes fatores por nível de importância quando se dá os eventos de seca e cheia extremas. Esta abordagem captura o nível de relevância e escolhas que os pescadores priorizam e se preocupam quando da ocorrência de eventos extremos. A partir desta avaliação utilizando as equações (8) e (9) foi possível gerar cenários onde se pode relacionar a ordem das alternativas quando priorizadas variações de peso sobre cada evento extremo.

No cenário I consideramos os pesos de igual importância aos eventos extremos. Estes pesos aos eventos foram obtidos segundo as médias das ponderações dadas pelos pescadores aos eventos de seca e cheia extremos. Para os pescadores o fator que mais se destaca neste cenário é a movimentação ou deslocamento do peixe tanto na cheia quanto na seca extremas. Em segundo lugar, os pescadores consideraram a sobrevivência dos tambaquis jovens e em terceiro a quantidade de pescado (Tabela 25).

No cenário II e III consideramos peso diferentes para eventos de seca e cheia extremas. No cenário II consideramos peso maior para cheia e no cenário 3 alternamos estes valores tendo a seca um peso maior. Nesses cenários, destacou-se a inversão na ordenação do fator a disponibilidade de alimento, que passou a ser o fator principal em evento de cheia enquanto que na seca não é considerado o mais importante (Tabela 25).

Ao considerarmos pesos extremos nos cenários IV e V observamos que o fator movimentação permanece como um fator de importância em ambos os cenários, sendo o primeiro em cenários de secas extremas. Observe ainda que o ranking apresenta os mesmos valores pra alternativas A1 e A3. Neste caso, como descrito na metodologia comparamos os valores da equação (9) e tomamos o menor entre eles (Tabela 24).

No cenário V destacou-se como principal fator sobrevivência de tabaquis jovens (Tabela 25).

Tabela 24: Exemplo do ranking de alternativas e critério de desempate

Ai	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
$\bar{x}(\bar{r}_i)$	66.6	62.0	64.6	66.0	70.3	66.6	67.3
$\bar{\sigma}(\bar{r}_i)$	57.7	60.7	57.7	58.2	61.1	51.7	49.1

Tabela 25: Ranking das alternativas com diferentes valores de \bar{w} (pesos fuzzy).

Cenários	Diferentes valores de W		Ranking de Alternativas							Ranking de ordem das alternativas
	Cheia	Seca	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
I	7	7	121.1	117.0	120.8	124.5	127.7	114.1	114.7	A5>A4>A1>A3>A2>A7>A6
II	8	7	105.5	111.2	108.8	102.4	105.5	99.5	99.0	A2>A3>A1>A5>A4>A6>A7
III	7	8	107.8	105.2	101.4	111.0	104.7	99.7	100.2	A4>A1>A2>A5>A3>A7>A6
IV	1	9	66.6	62.0	64.6	66.0	70.3	66.6	67.3	A5>A7>A6>A1>A4>A3>A2
V	9	1	69.3	69.3	73.6	73.6	73.0	61.3	61.3	A4>A5>A3>(A1=A2)>(A6=A7)

IV. Discussão

Os eventos climáticos extremos na Amazônia e a frequência cada vez maior de suas ocorrências já são realidade e são amplamente descritas na literatura recente (GRIMM, 2011; MARENGO et al., 2008, 2012, 2016; SENA et al., 2012; SANTOS et al., 2017; FARIAS et al., 2017; VARGAS,2017). Os pescadores têm conhecimento sobre as alterações climáticas e bastante conhecimento sobre o ambiente, adquirido como resultado da vivência ao longo dos anos em que realizam a atividade pesqueira, facilitando a identificação de períodos atípicos. Essa capacidade de identificação de eventos extremos foi relatada entre pescadores tanto na Amazônia quanto em outras partes do mundo (COLL et al.,2014; GUERREIRO et al., 2016; MENON et al., 2016; MUSINGUZI et al., 2016). Não pode ser esquecido o processo de transmissão do conhecimento entre gerações, onde durante a aprendizagem da atividade pesqueira são transmitidas informações sobre o ciclo hidrológico e locais de pesca. Isso fica evidente na precisão dos pescadores ao identificarem os períodos do ciclo hidrológico. As informações transmitidas entre gerações já são amplamente relatadas para obtenção de êxito nas pescarias (BATISTELLA et al., 2005; DORIA et al., 2014; JUNIOR et al., 2011) e recentemente tem sido reconhecida a importância das destas informações relatadas pelos pescadores na identificação de eventos extremos conforme relatado por Guerreiro et al. (2016).

Os pescadores identificaram vários eventos de cheia e secas extremas. O que chama a atenção é que os eventos de cheias extremas apresentaram altas frequências de citações se comparadas as secas. Esse resultado difere do estudo realizado por Guerreiro et al. (2016) com pescadores da Amazônia, onde segundo os autores, os eventos de secas extremas são mais reconhecidos. A maior percepção das cheias extremas, observada nesse estudo, pode ser devida a maior dificuldade para pesca durante essa fase do ciclo, pois os peixes se dispersam em diversos ambientes de várzea, incluindo áreas de difícil acesso como a floresta alagada. Nesse caso, eventos extremos intensificam a dificuldade de captura observada durante esse período. Outro fator potencial é que, parte dos pescadores complementam a sua renda com atividades, incluindo agricultura e pecuária (FRAXE et al., 2009; LIMA, 2003; LIMA et al., 2012). Na ocorrência de cheia extremas, o tempo de plantio é reduzido, afetando a renda do pescador uma vez que as atividades econômicas (agrícola e pesqueira) estão diretamente relacionadas aos ciclos regulares de alagações (SOARES et al., 2009). Ao mesmo tempo, os eventos extremos obrigam maior cuidado com animais de criação. Sendo assim, é esperado que os eventos de cheia fiquem marcados na memória do pescador.

Os pescadores têm amplo conhecimento sobre o ambiente e os peixes alvo de sua pescaria, o que levou a percepção e identificação dos indicadores de mudanças climáticas locais. É válido mencionar que as principais variáveis destas mudanças citadas pelos pescadores são também aquelas relatadas em trabalhos sobre mudanças climáticas globais e locais, destacando aqui a importância e a validade deste saber local nos estudos de eventos extremos (COLL et al., 2014; MENON et al., 2016; FERNÁNDEZ-LLAMAZARES et al., 2015; MARENGO, 1993, 2016; CHAUDHARY, 2011; BYG, 2009; BUNCE et al., 2010). Um exemplo claro é a temperatura, que dentro da categoria variável ambiental surge como principal indicador efeitos locais de mudanças climáticas. A alta citação da temperatura está relacionada a sensação de calor prolongado e mais intenso ao longo do dia. Esta percepção do aumento da temperatura tem levado a modificação de duração e horário de pescaria. Não há estudos que avaliem o impacto da temperatura nas pescarias na Amazônia, porém existem estudos que comprovam o efeito da temperatura em ambientes e recursos pesqueiros (FREDERICO et al., 2016; FABRÉ et al., 2017; ROPKE et al., 2017), biodiversidade (COMTE et al., 2017; FREITAS et al., 2013) e na distribuição e biologia do *Colossoma macropomum* (LOPES et al., 2017; OLIVEIRA; VAL, 2017).

A degradação ambiental é citada pelos pescadores como principal causa das mudanças no ambiente decorrentes de mudanças climáticas. Nesta categoria, os pescadores destacaram a poluição de rios e igarapés e o desmatamento, porque são facilmente detectados no seu cotidiano em suas atividades econômicas. Identificando moradores e pescadores comerciais como os principais responsáveis pela degradação ambiental. O fato do desmatamento ser considerado como uma das causas de mudanças climáticas locais é similar ao que já vem sendo relatado em literatura (FEARNSIDE, 2016; BROEDEL et al., 2016; GUIMBERTEAU et al., 2017; RORIZ et al., 2017).

Em relação ao recurso pesqueiro, os pescadores identificaram impactos na quantidade e tamanho do pescado principalmente porque qualquer redução no recurso afeta a produtividade e conseqüentemente a sua renda (ALMEIDA et al., 2017; RAMOS, 2016). Ao relacionar os efeitos dos eventos extremos na biologia do tambaqui, os pescadores avaliam como mais importante a movimentação, a sobrevivência e a quantidade do pescado. Informações sobre os impactos sobre eventos extremos no tambaqui ainda são limitados, mas podem ser citados os estudos que avaliaram o efeito do aumento da temperatura na fisiologia do tambaqui (OLIVEIRA, 2017) e em sua distribuição espacial (LOPES et al., 2017). A movimentação do tambaqui foi o fator principal na avaliação e classificação dos pescadores. Isto porque o tambaqui é um peixe migrador que realiza movimentos para desovar na enchente, quando ocupa

os rios até a desova, retornando aos lagos para se alimentar (ARAÚJO-LIMA E GOLDING,1998; COSTA et al., 2001). Os pescadores da Amazônia planejam suas atividades de pesca em função das movimentações que tornam os peixes mais ou menos vulneráveis ao longo do ciclo hidrológico.

V. Considerações finais

A análise de dados da percepção dos pescadores sobre os eventos extremos, principalmente nos caso de cheias extremas do ambiente aquático da Amazônia Central evidenciou que os pescadores identificam claramente os anos de ocorrência, as causas e efeitos desses eventos extremos. Identificaram alterações nos estoques quanto ao tamanho e quantidade do tambaqui após eventos extremos. Perceberam o aumento da temperatura e o aumento de frequência dos eventos extremos nas últimas décadas, além de redução na duração do tempo e áreas de plantio. Informações e conhecimentos que permitirão extrair indicadores das mudanças climáticas locais apoiado no saber local dos pescadores. Os quais poderão auxiliar as ações preventivas direcionadas a minimizar os impactos futuros gerados pelos eventos extremos de seca e cheia do ambiente aquático.

Os pescadores avaliaram e classificaram os principais fatores da dinâmica da pesca e do estoque do tambaqui tendo como critérios os eventos extremos. Isto possibilitou gerar informação sobre que fatores são mais importantes para ações de gestão e da sustentabilidade do recurso. A movimentação do tambaqui como fator principal aponta a necessidade de estudos científicos futuros para avaliar os impactos na distribuição da espécie (Lopes et al., 2016). Além disso, estes resultados podem auxiliar as medidas de gestão a ser tomadas considerando os efeitos dos eventos climáticos extremos atuais que afetam a Amazônia Central.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Programa de Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas pelo apoio institucional aos autores.

Referências

- ALMEIDA, O. et al. **Percepção do impacto de eventos extremos sobre a produção pela população do estuário Amazônico**. Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica, Rio de Janeiro, v. 27, p. 59-70, 2017.
- ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. **Os frutos do tabaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá/CNPq, 1998.
- BARTHEM, R.B.; FABRÉ, N.N. **Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia**. In: RUFFINO, M.L. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira. Manaus: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Provárzea, p. 17-62, 2004.
- BATISTA, V.S. et al. **Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada**. Brasília: Ibama/ProVárzea, 2012.
- BATISTELLA, A.M.et al. **Conhecimento dos moradores da comunidade de Boas Novas, no Lago Janauacá-Amazonas, sobre os hábitos alimentares dos peixes da região**. Acta amazônica, Manaus, v. 35, n. 1, p. 51-54, 2005.
- BEGOSSI, A. (Org.). **Ecologia de pescadores da Mata Atlântica e da Amazônia**. São Paulo: Hucitec: Nepam/Unicamp: Nupaub/ USP: FAPESP, 2004.
- BELLARD, C. et al. **Impacts of climate change on the future of biodiversity**. Ecology letters, Oxford, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.
- BERKES, F. **Sacred ecology: traditional ecological knowledge and resource management**. Philadelphia: Taylor and Francis, 1999.
- BROEDEL, E. et al. **Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: Differences between normal years and the 2005 drought**. Hydrological Processes, v. 31, n. 9, p. 1749-1759, 2017.
- BUNCE, M. et al. **Policy misfits, climate change and cross-scale vulnerability in coastal Africa: how development projects undermine resilience**. Environmental Science & Policy, v. 13, n. 6, p. 485-497, 2010.
- BYG, A.; SALICK, J.L. **Perspectives on a global phenomenon—climate change in Eastern Tibetan villages**. Global Environmental Change, v. 19, n. 2, p. 156-166, 2009.
- CARPENTER, S.R. et al. **Global change and freshwater ecosystems**. Annual Review of Ecology and Systematics, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 119-139, 1992.
- CASTELLO, L.; MACEDO, M.N. **Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems**. Global change biology, v. 22, n. 3, p. 990-1007, 2016.
- CHAUDHARY, P.; BAWA, K.S. **Local perceptions of climate change validated by scientific evidence in the Himalayas**. Biology Letters, Londres, p. rsbl20110269, 2011 .
- CHEUNG, W. et al. **Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios**. Fish and fisheries, v. 10, n. 3, p. 235-251, 2009.

- COLL, M. et al. **Assessing fishing and marine biodiversity changes using fishers' perceptions: the Spanish Mediterranean and Gulf of Cadiz case study.** PLoS One, v. 9, n. 1, p. e85670, 2014.
- COMTE, L.; OLDEN, J.D. **Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes.** Nature climate change. 2017.
- COSTA, L.D. et al. **Tambaqui, *Colossoma macropomum*, fisheries with focus on an area on middle Amazon River, Amazonas state, Brazil.** Acta Amazonica, Manaus, v. 31, n. 3, p. 449-449, 2001.
- COSTA-NETO, E. M.; MARQUES, J. G. W. **Conhecimento ictiológico tradicional ea distribuição temporal e espacial de recursos pesqueiros pelos pescadores de Conde, Estado da Bahia, Brasil.** Etnoecológica, v. 4, n. 6, p. 56-68, 2000.
- DIEGUES, A. C. (Org.). **Etnoconservação: novos rumos para a proteção da natureza nos trópicos.** São Paulo: HUCITEC: NUPAUB, 2000.
- DORIA, C.R. et al. **O uso do conhecimento ecológico tradicional de pescadores no diagnóstico dos recursos pesqueiros em áreas de implantação de grandes empreendimentos.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, v. 30, p. 89-108, 2014.
- EKEL, P. et al. **Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making.** Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications, v. 71, n. 12, p. e409-e419, 2009.
- FABRÉ, N.N. et al. **Fishing and drought effects on fish assemblages of the central Amazon Basin.** Fisheries Research, v. 188, p. 157-165, 2017.
- FARIAS, C. et al. **Análise do evento extremo chuvoso de 30 de setembro de 2013 ocorrido na cidade de Manaus.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 39, n. 2, 2017.
- FAUSCH, K.D. et al. **Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes: A continuous view of the river is needed to understand how processes interacting among scales set the context for stream fishes and their habitat.** AIBS Bulletin, v. 52, n. 6, p. 483-498, 2002.
- FEARNSIDE, P.M. **Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Implications for the aluminum industry.** World Development, v. 77, p. 48-65, 2016.
- FERNÁNDEZ-LLAMAZARES, Á. et al. **Rapid ecosystem change challenges the adaptive capacity of local environmental knowledge.** Global Environmental Change, v. 31, p. 272-284, 2015.
- FICKE, A.D. et al. **Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries.** Reviews in Fish Biology and Fisheries, v. 17, n. 4, p. 581-613, 2007.
- FRAXE, T.J.P. et al. **A pesca na Amazônia Central: ecologia, conhecimento tradicional e formas de manejo.** Editora da Universidade Federal de Amazonas, 2009.
- FREDERICO, R.G. et al. **Climate change sensitivity of threatened, and largely unprotected, Amazonian fishes.** Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, v. 26, n. S1, p. 91-102, 2016.
- FREITAS, CE et al. **An initial assessment of drought sensitivity in Amazonian fish communities.** Hydrobiologia, v. 705, n.1, p.159-71, 2013.

GRIMM, A.M. **Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change.** *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 25, n. 4, p. 537-554, 2011.

GUERREIRO, A.I.C.; et al. **Riverine fishers' knowledge of extreme climatic events in the Brazilian Amazonia.** *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, Londres, v. 12, n. 1, p. 50, 2016.

GUIMBERTEAU, M. et al. **Impacts of future deforestation and climate change on the hydrology of the Amazon Basin: a multi-model analysis with a new set of land-cover change scenarios.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, n. 3, p. 1455, 2017.

HAUSER-DAVIS, R.A. et al. **Logistic regression and fuzzy logic as a classification method for feral fish sampling sites.** *Environmental and ecological statistics*, v. 19, n. 4, p. 473-483, 2012.

HOBDAY, A.J.; LOUGH, J.M. **Projected climate change in Australian marine and freshwater environments.** *Marine and Freshwater Research*, Australia, v. 62, n. 9, p. 1000-1014, 2011.

HOLLOWED, A.B. et al. **A framework for modelling fish and shellfish responses to future climate change.** *ICES Journal of Marine Science*, v. 66, n. 7, p. 1584-1594, 2009.

IPCC, 2007: **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** 2007.

IPCC, 2001: **Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, edited by JT Houghton, Y. Ding, DJ Griggs, M. Noguer, PJ van der Linden, X. Dai, K. Maskell and CA Johnson (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. No. of pages: 881. Price£ 34.95, US \$49.95, ISBN 0-521-01495-6 (paperback).£ 90.00, US \$130.00, ISBN 0-521-80767-0 (hardback). *International Journal of Climatology*, v. 22, n. 9, p. 1144-1144, 2002.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

ISAAC, V.J. et al. **Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon.** *Fisheries Research*, v. 183, p. 352-359, 2016.

JOHANNES, R.E. **The case for data-less marine resource management: examples from tropical nearshore finfisheries.** *Trends in Ecology & Evolution*, v. 13, n. 6, p. 243-246, 1998.

JÚNIOR, J.R.C. et al. **O conhecimento etnoecológico dos pescadores yudjá, Terra Indígena Paquiçamba, Volta Grande do Rio Xingu, PA.** *Tellus*, n. 21, p. 123-147, 2014.

LAU, H. C. W. et al. **A fuzzy multi-criteria decision support procedure for enhancing information delivery in extended enterprise networks.** *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2003.

- LIMA, M.A.L. et al. **Pescarias artesanais em comunidades ribeirinhas na amazônia brasileira: perfil socioeconômico, conflitos e cenário da atividade.** *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 73-90, 2012.
- LIMA, L. G. **Aspectos do Conhecimento Etnoictiológico de Pescadores Cidadãos Profissionais e Ribeirinhos na Pesca Comercial de Amazônia Central.** 2003.131fl. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciências do ambiente e sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2003.
- LOPES, T.M. et al. **Two sides of a coin: Effects of climate change on the native and non-native distribution of *Colossoma macropomum* in South America.** *PloS one*, v. 12, n. 6, p. e0179684, 2017.
- MCFARLANE, G.A. et al. **Have there been recent changes in climate? Ask the fish.** *Progress in Oceanography*, v. 47, n. 2, p. 147-169, 2000.
- MALHI, Y. et al. **Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon.** *Science*, Washington DC, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.
- MARENGO, J. A. et al. **Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005.** *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, Londres, v. 363, n. 1498, p. 1773-1778, 2008.
- MARENGO, J.A. et al. **Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins.** *Climate Dynamics*, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.
- MARENGO, J.A.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate*, v. 6, n. 4, p. 617-627, 1993.
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts.** *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016.
- MENON, M. et al. **Fishermen's perception of climate change-a study from Andhra Pradesh.** *Indian Journal of fisheries*, v. 63, n. 3, p. 110-119, 2016.
- MUSINGUZI, L. et al. **Fishers' perceptions of climate change, impacts on their livelihoods and adaptation strategies in environmental change hotspots: a case of Lake Wamala, Uganda.** *Environment, development and sustainability*, v. 18, n. 4, p. 1255-1273, 2016.
- OLIVEIRA, A.M.; VAL, A.L. **Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiformes: Serrasalminidae).** *Hydrobiologia*, v. 789, n. 1, p. 167-178, 2017.
- O'NEILL, Brian C. et al. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. *Nature Climate Change*, v. 7, n. 1, p. 28-37, 2017.
- PACHAURI, R.K. et al. **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC, 2014.
- PARMESAN, C.; YOHE, G. **A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems.** *Nature*, v. 421, n. 6918, p. 37, 2003.

- PATERSON, B. et al. **A fuzzy-logic tool for multi-criteria decision making in fisheries: the case of the South African pelagic fishery.** *Marine and Freshwater Research*, v. 58, n. 11, p. 1056-1068, 2007.
- PITTOCK, J. et al. **Running dry: freshwater biodiversity, protected areas and climate change.** *Biodiversity*, v. 9, n. 3-4, p. 30-38, 2008.
- POFF, N. L. et al. **Aquatic ecosystems and global climate change.** *Pew Center on Global Climate Change*, Arlington, VA, v. 44, 2002.
- RAMIRES, M. et al. **Etnoecologia caiçara: o conhecimento dos pescadores artesanais sobre aspectos ecológicos da pesca.** *Biotemas*, Florianópolis, v. 20, n. 1, p. 101-113, 2007.
- RAMOS, M.M. **Os efeitos de alterações ambientais sobre a produção de Jaraquis (*Semaprochilodus Spp*) desembarcados na cidade de Manaus-AM.** 2016.90fl. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.
- RÖPKE, C.P. et al. **Simultaneous abrupt shifts in hydrology and fish assemblage structure in a floodplain lake in the central Amazon.** *Scientific reports*, v.7, p. 40170, 2017.
- RORIZ, P.A.C. et al. **Deforestation and Carbon Loss in Southwest Amazonia: Impact of Brazil's Revised Forest Code.** *Environmental Management*, p. 1-16, 2017.
- ROSA, R.S.; MENEZES, N.A. **Relação preliminar das espécies de peixes (Pisces, Elasmobranchii, Actinopterygii) ameaçadas no Brasil.** *Revista Brasileira de Zoologia*, Curitiba, v. 13, n. 3, p. 647-667, 1996.
- RUDDLE, K. **The transmission of traditional ecological knowledge.** In: INGLIS, J. T. (Ed.). *Traditional ecological knowledge: concepts and cases.* Ottawa: International Development Research Centre, 1993. p. 17-31.
- SANTOS, A. L. et al. **Conhecimento dos pescadores artesanais sobre a composição da dieta dos pacus (*Characiformes: Serrasalminidae*) na Floresta Nacional do Amapá, rio Araguari, Amapá, Brasil.** *Biotemas*, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 101-111, 2016.
- SANTOS, E.B. et al. **Análise de Tendência da Precipitação Diária na Amazônia Brasileira (Trend analysis of daily precipitation in the Brazilian Amazon).** *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 8, n. 4, p. 1041-1052, 2016.
- SENA, J. A et al. **Extreme Events of Droughts and Floods in Amazônia: 2005 and 2009.** *Water Resources Management*, v. 26, p. 1665- 1676, 2012.
- SHUKLA, Jagadish et al. **Amazon deforestation and climate change.** *Science*, Washington , v. 247, n. 4948, p. 1322-1325, 1990
- SOARES, M.G.M et al. **Ambientes de pesca e a ictiofauna do complexo lacustre do lago grande de Manacapuru, AM: Composição taxonômica e Parâmetros populacionais.** In Fraxe, T.J.P.; Witkoski, A.C. *A pesca na Amazônia Central – Ecologia, conhecimento tradicional e formas de manejo.* Manaus: Editora EDUA, p.59-89. 2009.
- SOLOMON, Susan et al. **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2007.** 2007
- GARCEZ, R.C. et al. **Seasonal dynamic of Amazonian small-scale fisheries is dictated by the hydrologic pulse.** *B. Inst. Pesca*, São Paulo, n.43, v.2, p. 207 - 221, 2017.

THOMAS, Chris D. et al. **Extinction risk from climate change**. *Nature*, v. 427, n. 6970, p. 145-148, 2004.

VARGAS, Franci Flores; VEIGA, José Augusto Paixão. Padrões atmosféricos e oceânicos associados a eventos extremos na bacia amazônica. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 423, *Sciences*, v. 365, n. 1554, p. 2881-2896, 2010.

WISE, Laura et al. **Qualitative modelling of fishermen's behaviour in a pelagic fishery**. *Ecological Modelling*, v. 228, p. 112-122, 2012.

ARTIGO III - Sistema fuzzy para estimar a sustentabilidade do estoque de tambaqui

(*Colossoma macropomum*) sob o impacto de eventos de cheia e seca extremos

Sistema fuzzy para estimar a sustentabilidade do estoque de tambaqui (*Colossoma macropomum*) sob o impacto de eventos de cheia e seca extremos

Karla Tribuzy⁷, Sandro Bitar⁸ e Carlos Edwar de Carvalho Freitas⁹

Resumo – Utilizamos a lógica fuzzy como ferramenta para fornecer uma avaliação sobre a sustentabilidade do estoque pesqueiro do tambaqui frente a eventos extremos. Essa abordagem permite tratar com imprecisões, julgamentos e quando os dados da população normalmente exigidos não está disponível para os métodos convencionais. Extraímos regras heurísticas a partir da literatura publicada que descreve as relações entre as variáveis biológicas e do ambiente. As variáveis de entrada e saída são definidas por conjunto difusos que tratam incertezas associadas ao conhecimento qualitativo. O sistema difuso fornece estimativas do estado do estoque mediante variações do ambiente, da biologia do peixe e da pressão de pesca. Criamos 3 índices para cada componente do sistema além do índice de sustentabilidade. O modelo gerado confirma os riscos do ambiente sob o aumento da temperatura e indicou estoque pouco sustentável para eventos extremos e pressão de pesca atual.

Abstract – The fuzzy logic was used as a tool to provide an assessment of the sustainability of tambaqui's fish stocks against extreme events. This approach allows dealing with inaccuracies, judgments and when the population data normally required is not available for conventional methods. We extract heuristic rules from published literature describing the relationships between biological and environmental variables. The input and output variables are defined by fuzzy sets that deal with uncertainties associated with qualitative knowledge. The diffuse system provides estimates of stock status through changes in the environment, fish biology, and fishing pressure. We created 3 indexes for each component of the system in addition to the sustainability index. The model confirms the risks of the environment under increasing temperature and indicated unsustainable stock for extreme events and current fishing pressure.

⁷ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas. ktribuzy@gmail.com

⁸ Professor Doutor na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Matemática. sandrobitar@gmail.com

⁹ Professor Titular na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Ciências Pesqueiras. cefreitas@ufam.edu.br

I. Introdução

Os efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos tem sido alvo de muitos estudos na última década (RIJNSDORP et al., 2009; BRANDER, 2010; BELL et al., 2013; SAVO et al., 2017). O enfoque destas pesquisas tem sido analisar a variabilidade causada pelos efeitos climáticos nas pescarias, em fatores físico-ecológicos (temperatura, vento, oxigênio, ph e outros) (SUMAILA et al., 2011; CINNER et al., 2013; BELHABIB et al., 2016), fatores antropogênicos e fatores que tem atuado no ciclo da história de vida dos peixes (BARANGER et al., 2013; PETITGAS et al., 2013; HOLT; JØRGENSEN, 2017; OJEA et al, 2017), levando as espécies a níveis diferenciados de vulnerabilidade (CHAPMAN et al, 2014; BLASIAK et al, 2017).

Nos ambientes de água doce, as mudanças climáticas podem afetar a disponibilidade, diversidade, organização biológica e distribuição de espécies-alvo (COMTE et al., 2013; LOPES et al., 2017; MARCOVICK et al., 2014; COEHN et al., 2016; POESCH et al., 2016 BUSH; HOSKINS, 2017). Além de alterar a qualidade do ambiente onde se estabelece a atividade de pesca (GILBERT; SMITH, 2016; KNOUFT; FICKLIN, 2016). Estudos sobre as variações climáticas tem se concentrado na análise dos efeitos em recursos aquáticos e florestas (NÓBREGA, 2014; NOBRE et al., 2016; GUIMBERTEAU et al., 2017). As projeções esperadas nas mudanças climáticas na Amazônia não são uniformes e diferem nos padrões de precipitação e descarga dos grandes rios, predizendo redução na disponibilidade de água na parte oriental da bacia e aumento na porção mais ocidental, com alterações perceptíveis na duração e intensidade de secas e cheias (SORRIBAS et al., 2016). Além disso, as projeções são complexas devido a origem e causas distintas (el Niño, la Ninã, variações no Atlântico Tropical) que influenciam no clima na Amazônia. E ainda em escala regional, qualquer anomalia no transporte de umidade pelo SALLJ (South American Low Level Jet) ligada a regimes de monções, são capazes de gerar secas e cheias extremas (MARENGO; TOMASELLA, 2012; MARENGO; ESPINOZA, 2016; VARGAS; VEIGA, 2017).

Na Amazônia, a água de superfície que determina a qualidade e disponibilidade de habitat aquático depende muito das chuvas e de regimes de temperatura que serão drasticamente afetados por mudanças climáticas (CARPENTER et al.,1992; HOBDDAY; LOUGH, 2011). Os ciclos biológicos dos peixes são estreitamente dependentes dos eventos hidrológicos sendo os eventos de migração e reprodução associados com a duração e a intensidade das fases do ciclo hidrológico. Estudos recentes com dados de 1993-2004 identificaram que em períodos de águas muito baixas, ocorrem mudanças na biomassa de peixes contribuindo com 18% juntamente com

o esforço de pesca 62%, na variabilidade de rendimentos para captura 2 a 3 anos depois do evento (CASTELO et al., 2016). E as respostas aos efeitos de seca extrema se mostram distintos para cada espécie (FREITAS et al., 2013). Essas descobertas evidenciam a complexa dinâmica do pulso de inundações na Amazônia e qualquer evento climático que afete de alguma forma essa dinâmica pode vir a afetar os estoques pesqueiros.

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é uma das principais espécies alvo da Amazônia Central. É um peixe de estratégia sazonal que realiza migração e está em estado de conservação vulnerável (ROSA; MENEZES, 1996). Várias condições contribuem para a vulnerabilidade de seus estoques: sobrepesca e baixo tamanho de primeira captura (PETRERE, 1983; ISAAC; RUFFINO, 1996; SOUSA; FREITAS, 2010; MOUNIC, 2012; CAMPOS et al., 2015) e as mudanças climáticas e seus efeitos no ecossistema local surgem como mais uma pressão que incide sobre estes estoques. Na literatura ainda são insipientes as análises e projeções sobre os efeitos potenciais de alterações na frequência e intensidade dos eventos extremos nos estoques do tambaqui. Em Lopes et al. (2017) simulações da distribuição de tambaqui sob impactos climáticos indicaram uma perda e drástica contração da espécie na Amazônia, com apenas pequenas porções de áreas altamente adequadas para a ocorrência das espécies na Amazônia Oriental para 2050 e 2080. Considerando que o tambaqui é uma espécie alvo de grande importância na produção artesanal e comercial da pesca na Amazônia esses resultados implicam em perspectivas socioeconômicas preocupantes.

A sustentabilidade de estoques pesqueiros é um ponto principal a ser considerado nestas condições. E para uma análise mais precisa sobre sustentabilidade dos estoques do tambaqui se faz necessário e urgente análises sobre a redução dos estoques pesqueiros e demais efeitos negativos como o impacto do clima que não advêm diretamente ou exclusivamente da pesca, e que no entanto poderão acrescentar uma velocidade ainda maior a redução dos estoques. Somam-se a isso, a ausência de informações acuradas e de dados históricos de captura e esforço de pesca para a aplicação de modelos tradicionais de avaliações de estoques. E acerca das taxas de sobrevivência do pool de larvas nos ambientes naturais do tambaqui para uma análise adequada do atual tamanho de seu estoque. São estes aspectos limitantes e incertos quanto a sua natureza quantitativa que estão exigindo esforços mais céleres para ações rápidas, práticas e assertivas porém não menos robustas, que possam dar suporte ao manejo do tambaqui na Amazônia Central.

Mediante este desafio buscamos propor o uso da Matemática fuzzy como uma abordagem para a criação de um modelo que indique a sustentabilidade do recurso considerando inicialmente algumas das variáveis de ambiente que são registradas por especialistas como

essências aos efeitos dos eventos extremos. Os métodos baseados na lógica fuzzy e o formalismo da lógica fuzzy foram demonstrados como apropriados para abordar a incerteza e a subjetividade em problemas ambientais complexos e estudos sobre estoque e recrutamento de peixes (MACKINSON et al., 2010; SYLAIOS et al., 2010). A lógica fuzzy vem sendo utilizada nas últimas décadas como ferramenta em vários problemas inerentes a pesca, dentre estas, a vulnerabilidade de espécies marinhas, avaliação de impactos da aquicultura em pescarias de pequena escala, avaliação de ecossistemas de pescas pelágicas, classificação de áreas de pesca, comportamento de pescadores em pescarias pelágicas, relações estoque-recrutamento, manejo espacial da pesca, avaliação de qualidade de água do ambiente, amostragem de peixes com índices de estresse e sexo, produção de peixes em sistemas fechados, conhecimento de pescadores para avaliação da pesca (CHEUNG et al., 2005; RAMOS et al., 2015; PETERSON et al., 2007; SYLAIOS et al., 2010; WISE et al., 2012; YURRITA, 2014; CHEN et al., 2000; TEH;TEH, 2011; YALCUK; POSTALCIOGLU, 2015; DAVIS et al, 2012; GERANO et al., 2010; MOCK et al., 2015; LI et al., 2016).

Em meio a vasta incerteza sobre os estoques do tambaqui e os efeitos das variações climáticas locais, utilizaremos sistemas de inferência fuzzy como ferramenta para combinar diferentes fontes de informação (conhecimento especialista, dados científicos e de agências de monitoramento climático) de forma significativa. Neste trabalho a lógica fuzzy foi usada para construir um modelo para a avaliar a sustentabilidade dos estoques de tambaqui na Amazônia Central frente as ameaças de eventos extremos cada vez mais frequentes.

II. Material e método

2.1 - Método da Pesquisa

A metodologia proposta tem por base a modelagem de dados com inteligência artificial, através da lógica fuzzy. A modelagem foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, selecionamos indicadores que representam cada parte-componente do sistema bioecológico que afeta direta ou indiretamente o estoque de peixes e geramos uma saída para cada um destes fatores que denominamos índices de comportamento de risco. Posteriormente na modelagem da segunda etapa, agregamos os resultados de saída da modelagem da primeira etapa, gerando o Índice de Sustentabilidade do Estoque (ISE), como resultado da análise integrada dos índices de comportamento de risco de cada componente do sistema.

2.2 – Fundamentos da lógica fuzzy e operadores fuzzy

A lógica fuzzy foi estruturada, em 1965 pelo Dr. LOTFI ZADEH da Universidade da Califórnia para tratar e representar informações de caráter impreciso ou vago (ZADEH, 1965). A teoria de conjuntos fuzzy e conceitos de lógica fuzzy traduz em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas. Se conseguimos articular uma estratégia de ação como um conjunto de regras da forma *se...então*, um algoritmo passível de ser implementado em computador pode ser construído, dando origem a um sistema de inferência baseado em regras linguísticas (ZADEH, 1973; TANSCHHEIT, 2004).

A diferença da teoria clássica para a teoria fuzzy começa no conceito de pertinência de um elemento a um conjunto. Na teoria clássica, dado um conjunto A contido em um universo X , só existem duas possibilidades para os elementos deste universo, pertencer ou não pertencer a A . Essa pertinência é expressada matematicamente pela função característica:

$$f_A: \begin{cases} 0 & \text{se e somente se } x \notin A \\ 1 & \text{se e somente se } x \in A \end{cases}$$

Zadeh propôs uma caracterização mais ampla (ZADEH, 1965), generalizando o contradomínio da função característica dos conjuntos clássicos definido por $\{0,1\}$, de modo que o contradomínio pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo $[0,1]$. Um conjunto fuzzy A em um universo X é definido por uma função de pertinência, $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ que associa a cada $x \in X$ um valor no intervalo $[0,1]$, com o valor $\mu_A(x)$ em x representando o “grau de pertinência” de x em A . O conjunto fuzzy A pode ser representado por um conjunto de pares ordenados tais que:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\}$$

$\mu_A(x)$ indica o quanto x pertence ou é compatível com o conjunto A . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto fuzzy, com diferentes graus de pertinência.

As operações sobre conjuntos fuzzy são realizadas através de suas funções de pertinência. Em geral existem várias possibilidades de escolha. Sejam dois conjuntos fuzzy A e B e suas respectivas funções de pertinência $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$. Podemos definir $A \cup B$ por:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, x \in X$$

Assim como a intersecção $A \cap B$ por:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, x \in X$$

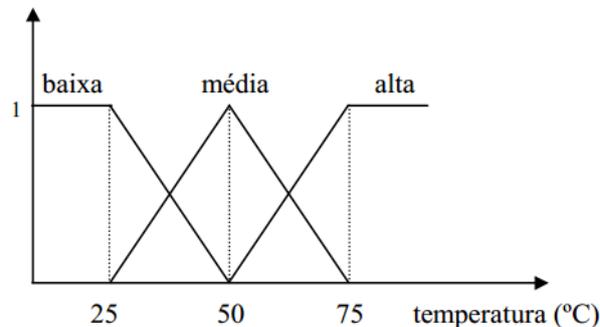
E o conjunto complementar de A dado por A^c definido por: $\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x), x \in X$

A lógica fuzzy permite a modelagem do conhecimento especialista. Um especialista é um indivíduo que detém qualidade e quantidade de informações sobre determinado tema. Estas informações naturais e imprecisas são interpretadas segundo parâmetros adquiridos ao longo de sua experiência, e se traduzem como ações cotidianas para controle e automatização de processos a tomadas de decisões.

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos na modelagem de sistemas que descrevam o comportamento do mesmo para sua análise, simulação e/ou controladores. Os sistemas não lineares, sistemas com múltiplas variáveis ou variantes no tempo são difíceis de serem analisados e de ser descrito sua dinâmica ou cinética através de termos matemáticos convencionais, por exemplo através de equações diferenciais ou de diferenças ou mesmo redes neurais. A modelagem fuzzy e o controle fuzzy permitem o manuseio de informações qualitativas de forma rigorosa considerando o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas, tornando essa técnica eficiente e eficaz para o tratamento deste tipo de informação (LEE, 1990).

A maneira de expressar matematicamente a linguagem natural e artificial é através de variáveis linguísticas que são os valores assumidos como conjuntos fuzzy. Por exemplo, a *temperatura* de um determinado processo é uma variável linguística e, cujos valores apreendidos podem ser rotulados como *baixa*, *média*, ou *alta* temperatura. Estes valores são descritos com o uso de conjuntos fuzzy, representados por funções de pertinência (figura 25).

Figura 29: Exemplo de variável linguística
pertinência



Formalmente, uma variável linguística é caracterizada por uma quintupla: $(N, T(N), X, G, M)$. Como exemplo, tomemos a (figura 25), onde N é o nome da variável (temperatura), $T(N)$ é o conjunto de nomes dos valores linguísticos de N {baixa, média, alta}, X é o universo do discurso ou domínio (de 0 a $100C^0$), G é a regra sintática para gerar os *valores* de N como uma composição de termos de $T(N)$, conectivos lógicos, modificadores e delimitadores (temperatura *não baixa e não muito alta*) e M é regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto fuzzy em X .

As variáveis linguísticas, traduzidas por conjuntos fuzzy, são utilizadas para transcrever a base de conhecimentos por meio de uma coleção de regras fuzzy, denominadas base de regras fuzzy de onde se obtém a relação fuzzy da qual produzirá a saída (resposta, ação) para cada entrada (estado, condição) do sistema (BARROS; BASSANEZI, 2010). Em sistemas baseados em regras fuzzy o operador *Se “estado” Então “resposta”* é conhecido como declaração condicional fuzzy e são os valores assumidos por variáveis linguísticas, que por sua vez são modelados por conjuntos fuzzy.

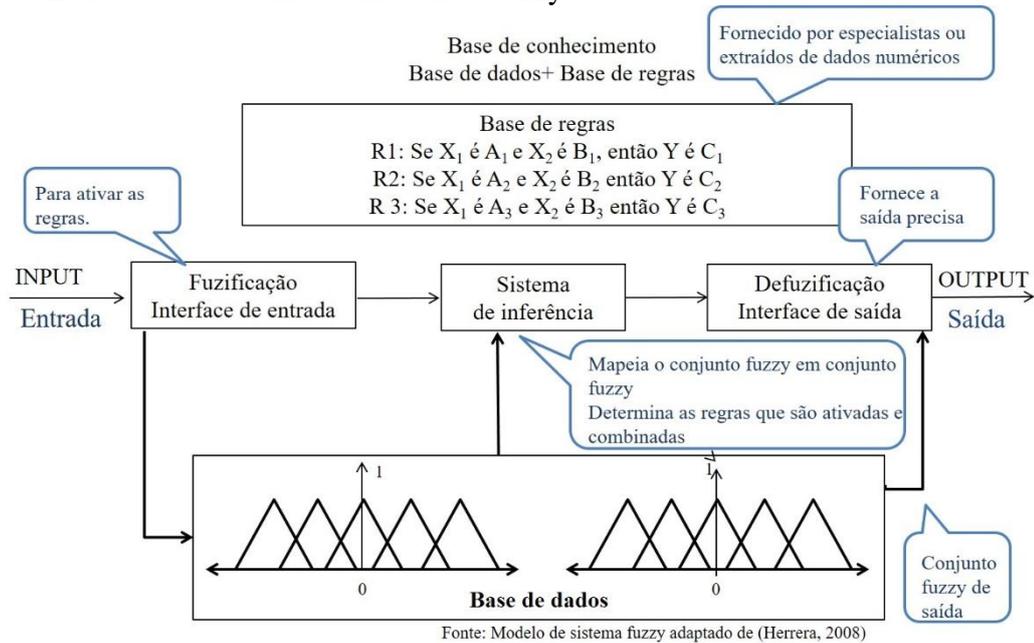
Constituindo-se em frases da forma *se x é A então y é B* . Uma frase deste tipo é normalmente denominada **implicação** e é, expressa pela função de pertinência: $\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = f_{\rightarrow}(\mu_A(x), \mu_B(y))$ onde f_{\rightarrow} é um operador de implicação. Se temos mais de uma variável antecedente (x é A) então expressamos: *se (x_1 é A_1) e (x_2 é A_2) e.....e (x_m é A_m) então (y é B)*, onde f_e é o operador implicador (geralmente min ou produto).

Não temos aqui a pretensão de esgotar a teoria, mas apenas introduzir o leitor em alguns conceitos e definições, para maiores detalhes recomendamos (ZADEH, 1996; PEDRYCZ; GOMIDE, 1998; BARROS; BASSANEZI, 2010).

2.3 – A arquitetura do sistema de inferência fuzzy

A descrição de sistemas nem sempre é uma tarefa fácil principalmente quando exige alto grau de complexidade e múltiplas variáveis. A descrição de um sistema por vias clássicas do tipo x e $f(x)$ complica ainda mais quando os sistemas são não lineares ou variantes no tempo. Segundo o princípio da incompatibilidade de Zadeh, à medida que a complexidade do sistema aumenta, a possibilidade de descrever com equações matemáticas diminui. Ele propôs então uma representação de sistemas com regras *se...então*, chamados sistemas de inferência fuzzy, ou sistemas de base de regras. A estrutura do sistema de inferência fuzzy é representada na figura (26).

Figura 30: Estrutura do sistema de inferência fuzzy



O sistema de inferência fuzzy possui 4 estágios na sua estrutura, a fuzificação, as bases de regras fuzzy, a inferência e a defuzificação. Na fuzificação transformamos as entradas crisp, que são números reais ou conjuntos ordinários em domínios fuzzy. Nesta fase definimos os conjuntos fuzzy de entrada e saída, as funções de pertinência (triangular, trapezoidal, etc.) e a criação das regiões. Na inferência definimos e ativamos as regras. As regras podem ser definidas por especialistas, em forma de sentenças linguísticas. Uma vez obtido o conjunto fuzzy de saída através do processo de inferência (modus ponens generalizado), no estágio de defuzificação é efetuada uma interpretação dessa informação.

2.4 – O modelo proposto

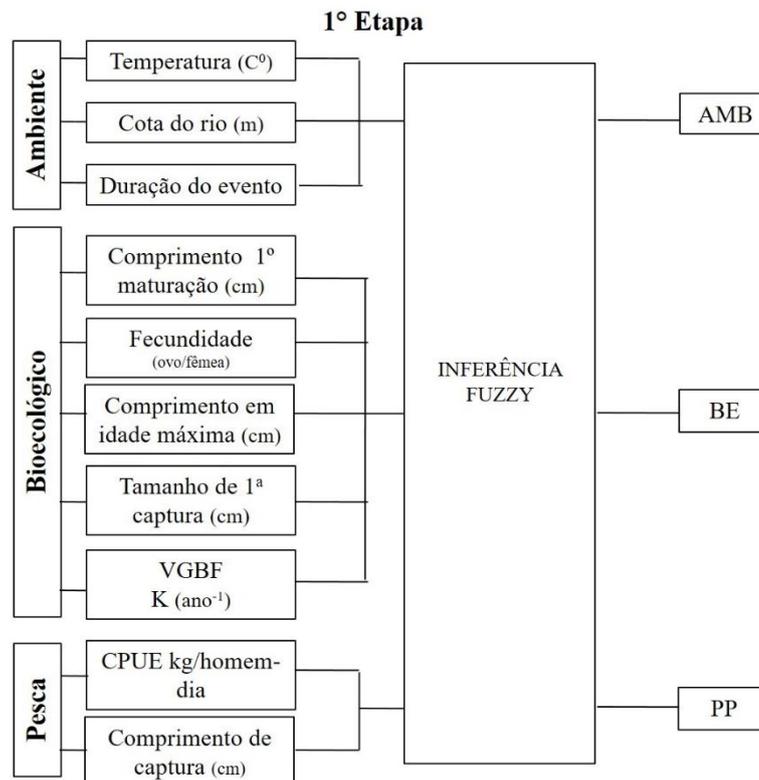
Para situações onde nem sempre se encontram disponíveis dados históricos, os indicadores e índices são recursos importantes para simplificar informações com respeito a eventos complexos que mostram significados mais amplos dos fenômenos a que se referem.

Os indicadores apresentam múltiplos fins. Agregados através de métodos aritméticos ou regras de decisão permitem a construção de índices que possibilitam a simplificação e obtenção de informações que possibilitem uma avaliação da realidade (MITCHELL, 1996; SHIELDS et al., 2002). Dentre as diversas aplicações de índices e indicadores podem ser citadas: tomada de decisão, alocação de recursos, cumprimento de normas ou critérios legais e investigação científica. Ao selecionar indicadores, é necessário cuidado para eles efetivamente apontem para

a ocorrência de perturbações no sistema e, também, para a potencialidade de perturbações futuras.

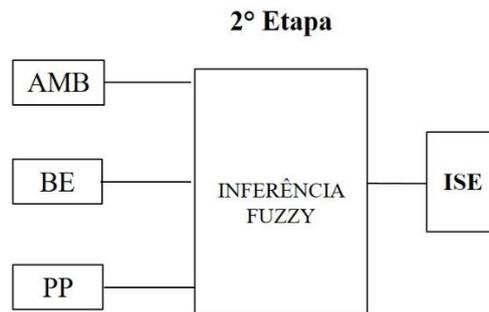
Nosso propósito foi desenvolver um sistema de inferência fuzzy com o objetivo de avaliar a sustentabilidade dos estoques de tambaqui (*Colossoma macropomum*) sob condições de eventos extremos e altas temperaturas. O modelo tem dois estágios no seu desenvolvimento. Na primeira etapa obtemos os índices de avaliação de risco e impacto dos três componentes do sistema, o índice AMB do ambiente, o índice BE do bioecológico (espécie) e o índice PP da pesca (figura 27). O objetivo foi gerar um índice que informasse da sustentabilidade do estoque do tambaqui frente a efeitos locais decorrentes de mudanças climáticas e fosse capaz de projetar sua sustentabilidade no futuro sob condições mais severas de alta temperatura, mesclando base de dados disponíveis e o uso de informações e conhecimento de especialistas.

Figura 31: Etapa 1 do modelo fuzzy de sustentabilidade do estoque



Na etapa dois após a análise dos índices de cada componente do sistemas agregamos os índices para gerar o Índice de Sustentabilidade do Estoque (ISE) (figura 28).

Figura 32: Etapa 2 do modelo fuzzy de sustentabilidade do estoque



2.5 – Base de Dados e operadores do modelo

Para realização do estudo, foi utilizada a base de dados públicos da Agência Nacional de Águas (ANA) e literatura científica para composição das funções de pertinência, variáveis linguísticas e valores de domínio. No processo de fuzificação foram utilizados números fuzzy triangulares e trapezoidais.

Um número fuzzy A é dito triangular se sua função de pertinência é, para $a < b < c$, da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases}$$

Um número fuzzy B é dito trapezoidal se sua função de pertinência é, para $a < b < c < d$, da forma:

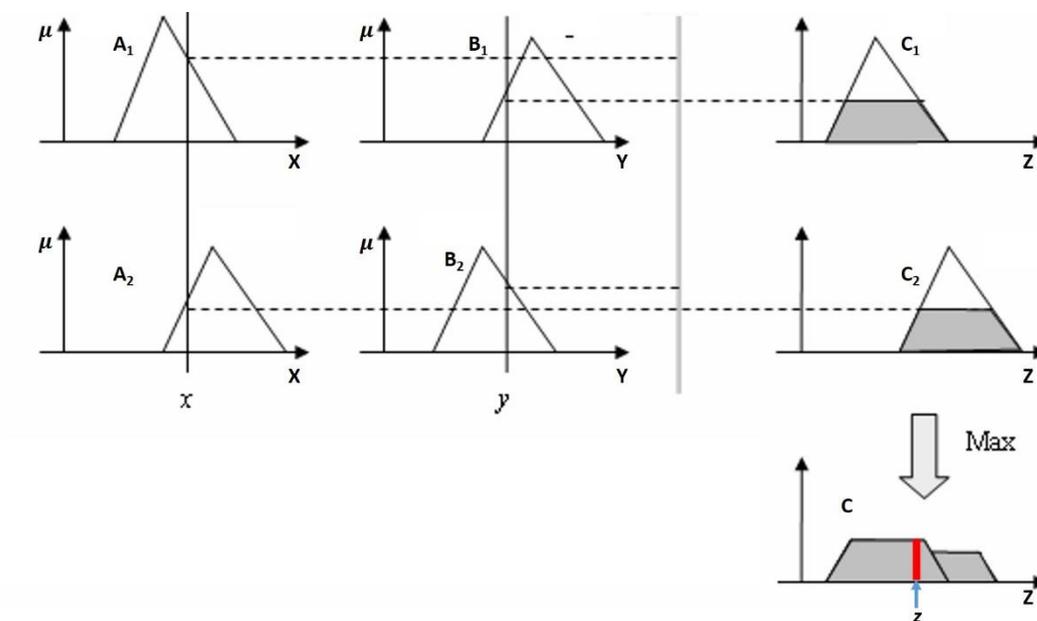
$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b < x \leq c \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases}$$

Para simulação foi utilizado o software Matlab 7.8.0 (2009a). O sistema de inferência utilizado foi o de Mamdani. A regra semântica tradicionalmente utilizada para o processamento de inferências com o modelo de Mamdani é chamada de Max-Min. Ela utiliza as operações de união e intersecção entre conjuntos da mesma forma que Zadeh, por meio dos operadores de

máximo e mínimo, respectivamente (Figura 28). O conjunto fuzzy gerado durante o processo de inferência de Mamdani pode ser utilizado tanto para sistemas de apoio a tomadas de decisão quanto para sistemas de controle. Na defuzificação que converte fuzzy em escalar, foi usado o centro de massa (ou centroide) dado pela equação abaixo.

$$G(B) = \frac{\int x\mu_B(x)dx}{\int \mu_B(x)dx} \quad B \text{ um conjunto fuzzy}$$

Figura 33: Sistema de inferência Mamdani



III. Resultados

3.1 – Indicadores e Índices de risco

Foram definidos como indicadores principais os que mais se relacionavam com os relatados pela análise de entrevistas do artigo anterior onde foi detectado que o sistema físico-biológico com 54,3% detinha as características de maior impacto frente a condições de eventos extremos locais. Para a escolha dos indicadores em cada componente do ecossistema também consideramos a literatura científica e aspectos do ciclo de vida do tambaqui com informações

direta ou indiretamente relacionadas com reprodução, biologia e migração da espécie. Assim como, as projeções dos efeitos locais do clima global para a Amazônia foram obtidas de IPCC (2014) e de especialistas em climatologia.

As variáveis de entrada do sistema são descritas e indicadas as referências que as justificaram na (Tabela 25). Tomando como base as informações e os dados criamos os conjuntos fuzzy e as variáveis linguísticas para os indicadores (Figura 29), (Figura 30) e (Figura 31).

Tabela 26: Indicadores e referências que justificam os valores do domínio dos conjuntos fuzzy e das variáveis linguísticas

INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA	VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS	N. DE REGRAS	REFERÊNCIAS
Temperatura de superfície	° C	Muito baixa, baixa, média, alta e muito alta	64	IPCC, 2014; FREDERICO et al., 2016; O'NEILL, 2017, ANA (1972 a 2014); MARENGO, 2012; SANTOS et al. 2017; GRIMM, 2011; SENA et al., 2012; VARGAS; VEIGAS, 2017, HEITOR, 2011
Cotas da estação de Manacapuru	Metros (m)	Muito baixa, baixa, média, alta e muito alta		
Duração de eventos de seca e cheia	Dias	poucos, típicos, fortes, muito fortes		
Comprimento de primeira maturação	Centímetros (cm)	Muito baixo, baixo, médio, alto	144	PETRERE, 1983; ARAÚJO-LIMA, 1990; ISAAC; RUFFINO, 1996; VIEIRA et al., 1999; COSTA et al., 2001; BARTHEM; FABRÉ, 2004; SANCHEZ-BOTERO et al., 2008; CORREA; FREITAS, 2013; COSTA et al., 2013; CAMPOS et al., 2015; ARANTES; FREITAS, 2016; VILLACORTA; PETRERE, 2005, COSTA; BARTHEM, 2013, ARIDE, 2006; MELO et al., 2015; VIEIRA et al., 1999.
Fecundidade	ovos/fêmea	Muito baixa, baixa, e não baixa		
K (VGBF)	ano ⁻¹	Baixo, médio, alto		
Comprimento máximo (longevidade)	Centímetros (cm)	pequeno, médio, grande, muito grande		
CPUE	kg/pescador*dia	Muito baixa, baixa, média, alta e muito alta	25	ISAAC; RUFFINO, 1996; COSTA et al., 2001; SOUSA; FREITAS, 2010; CORREA; FREITAS, 2013; CAMPOS et al., 2015; BATISTA; PETRERE, 2003
Tamanho de captura	Centímetros (m)	muito pequeno, pequeno, médio, grande e muito grande		

Figura 34: Funções de pertinência dos indicadores do bloco AMBIENTE

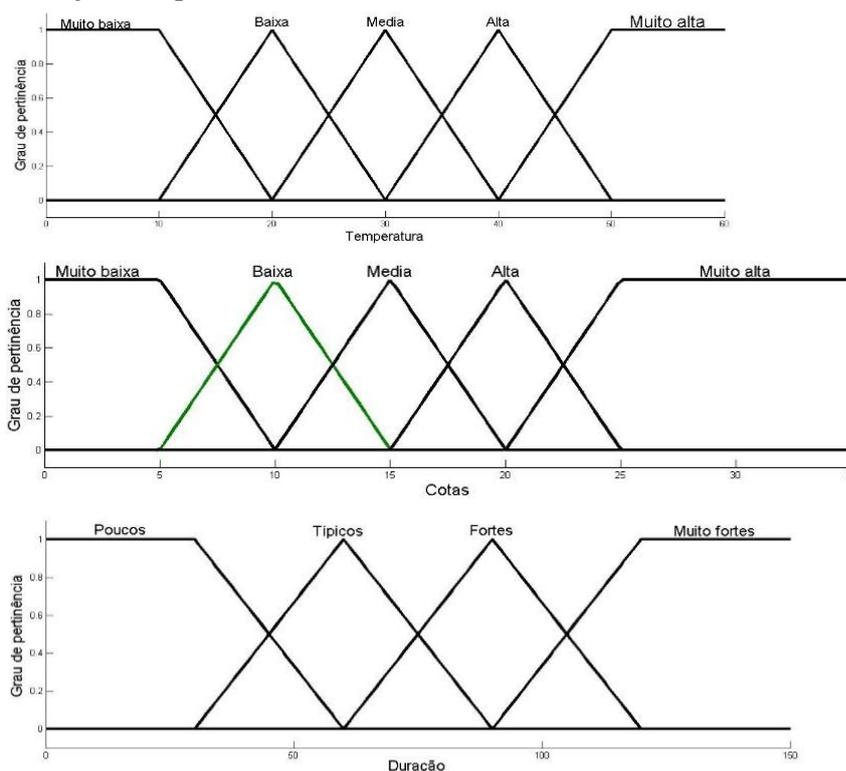


Figura 35: Funções de pertinência dos indicadores do bloco BIOLÓGICO

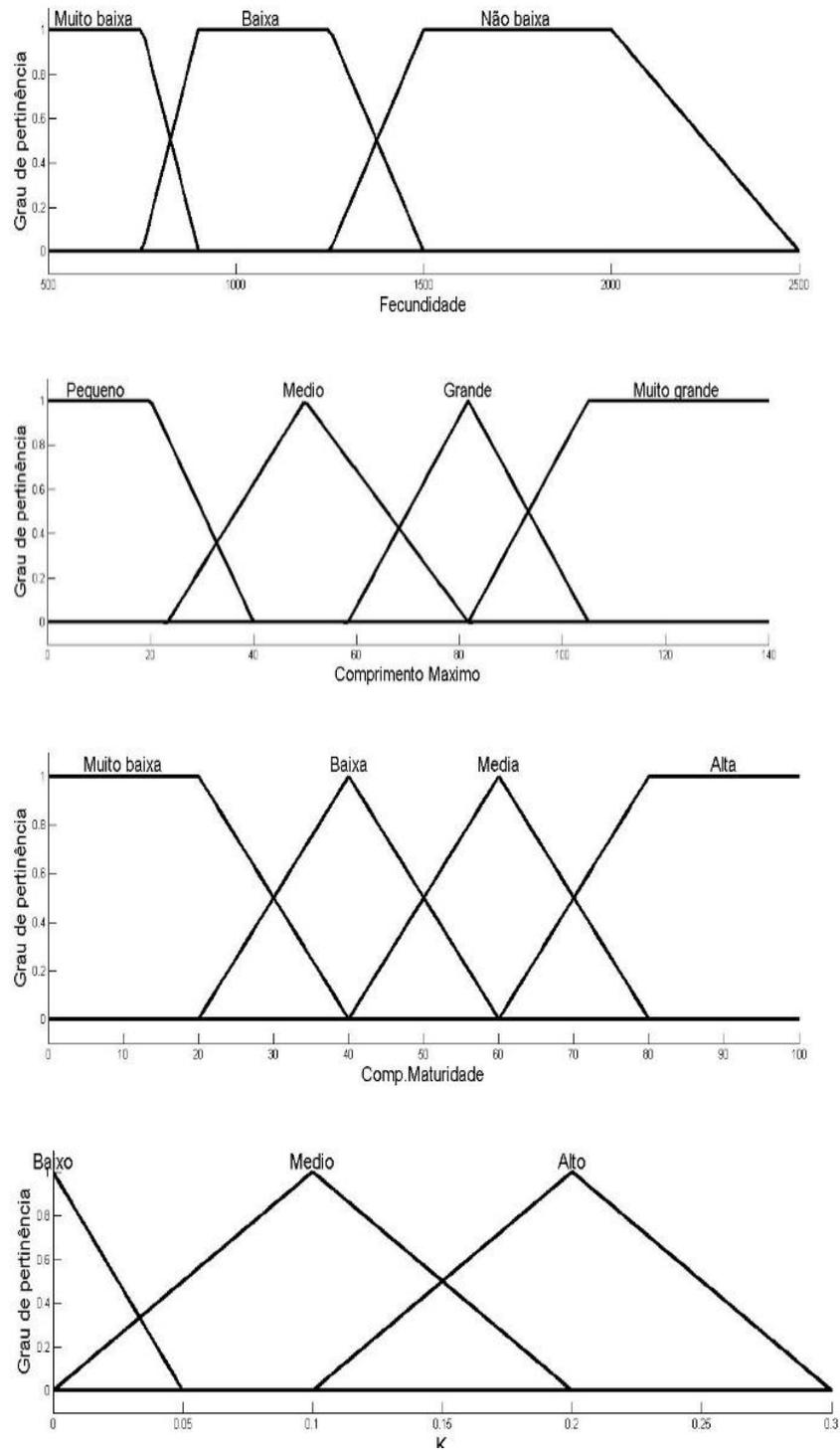
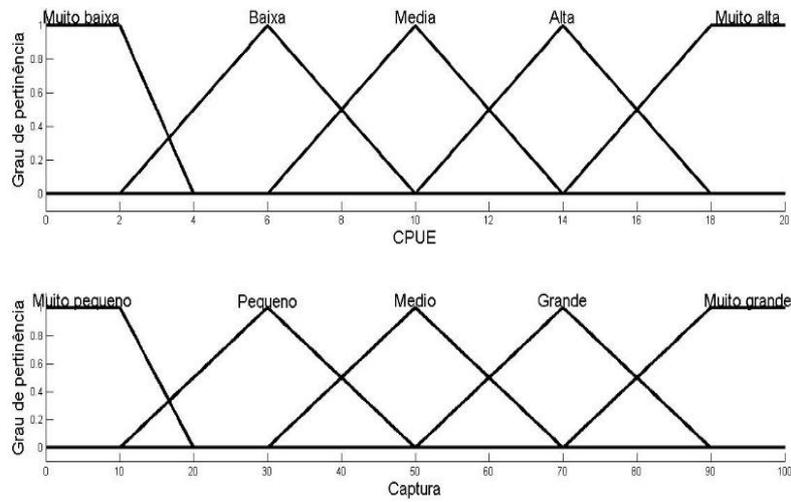
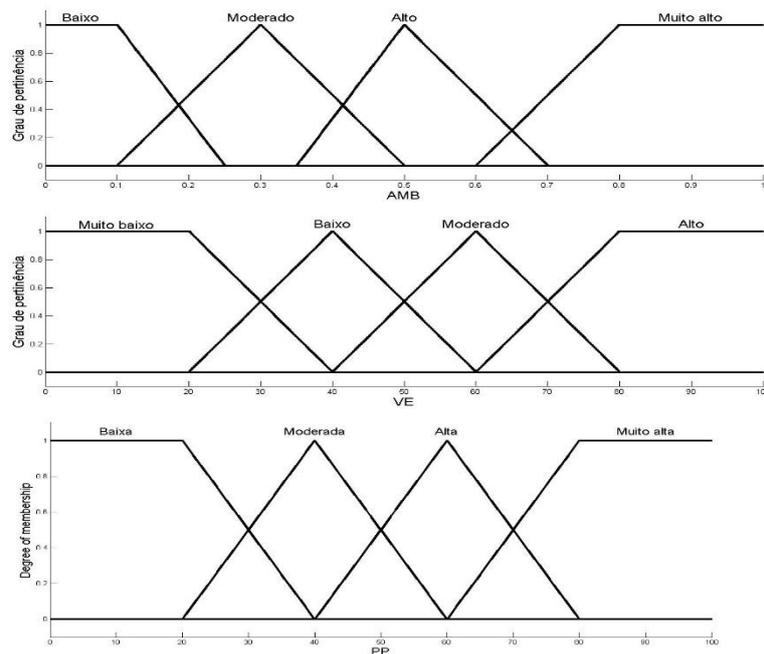


Figura 36: Funções de pertinência dos indicadores do bloco PESCA



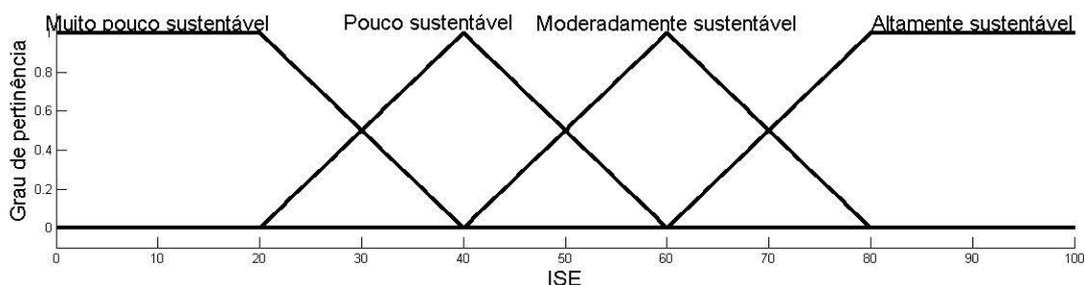
Foi gerado o índice AMB que avalia as condições do ambiente local do tambaqui sobre efeitos de clima extremos, resultado da agregação dos indicadores de temperatura, cotas e duração de eventos. Para uma análise da condição da vulnerabilidade da espécie foi criado o índice VE onde foram considerados alguns indicadores da história de vida de peixes proposto por Cheung, (2005) e adaptados para o tambaqui. Ao final para a análise da pressão de pesca foi gerado o índice PP a partir de dados da literatura específica do tambaqui (Figura 32).

Figura 37: Funções de pertinência dos índices dos componentes de ambiente, biológico e pesca.



O índice de sustentabilidade do estoque é expresso por uma escala arbitrária de 0 a 100, com 0 sendo o menos sustentável (Figura 33). O sistema inclui base de regras heurísticas que permitem a inferência dos índices AMB, VE, PP e ISE. As regras heurísticas foram desenvolvidas por especialista. Consideramos peso 1 para todas as regras.

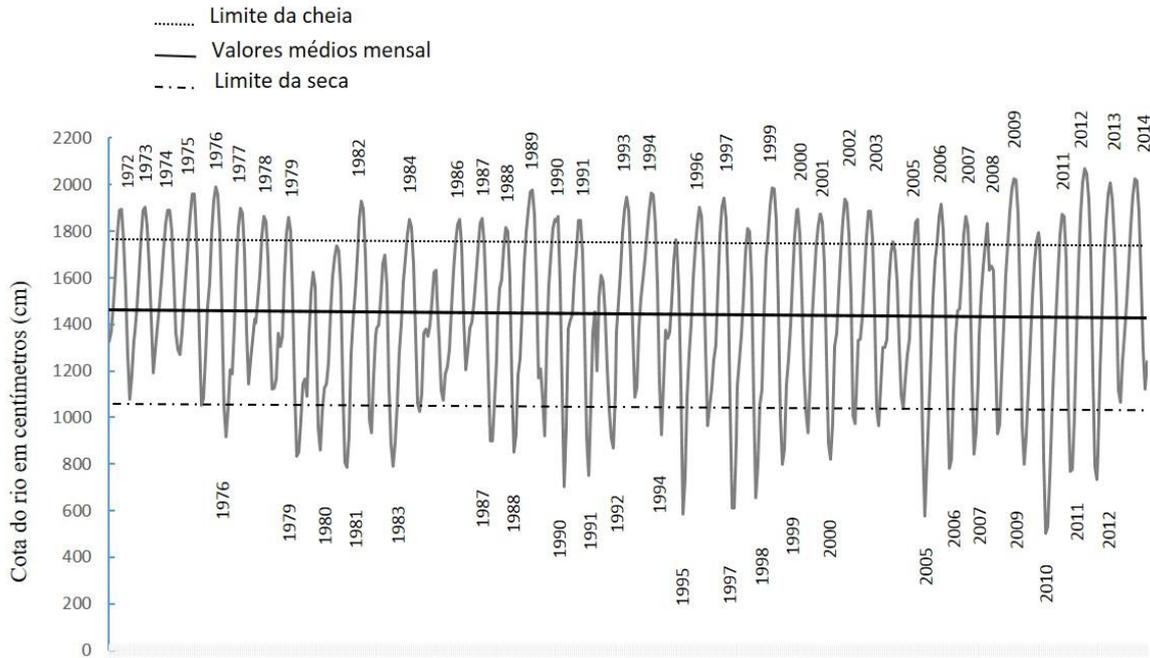
Figura 38: Função de pertinência do índice de sustentabilidade do estoque



3.2. Respostas geradas para o índice AMB

Ao avaliarmos o ambiente, obtivemos situações para cheias e secas típicas e extremas observadas dentro do horizonte temporal considerado. Em seguida, simulamos para eventos em que as temperaturas estão mais elevadas, considerando cenários previstos pelo IPCC (2014). Para definir o que se caracteriza como típica ou forte e para validação do sistema, utilizamos informações da literatura do ciclo hidrológico local e temperatura média anual de 28,6 °C (HEITOR, 2011). Avaliamos as cotas e através da metodologia proposta por Bitencourt e Amadio (2007) estabelecemos os pontos limites para secas e cheias (Figura 34).

Figura 39: Variação interanual das cotas de Manacapuru de 1972-2015



Para períodos considerados típicos consideramos cota=18m para cheia com variação de 60 a 120 dias e para secas com cota= 9,5m duração de 20 a 100 dias. Cheias e secas fortes são assim descritas quando a extensão do período de dias nestas cotas é prolongado. Acima ou abaixo destes valores limites considera-se seca ou cheia extrema.

Conforme (Tabela 26) identificamos que além do indicador temperatura o indicador duração dos eventos intensifica o risco do ambiente. Tanto cheias quanto secas muito prolongadas aumentam o fator de risco e mudam a situação do ambiente. Temperaturas muito elevadas (40 graus) em cheias fortes e com cota do nível do rio de 18m ou em cheias extremas com cota superior a 20m, resultam em risco muito alto ao ambiente quando prolongadas. O mesmo ocorrendo nas secas consideradas típicas com temperaturas a 40 graus. As secas também apresentam riscos mais elevados de alto a muito alto em geral.

Tabela 27: Indicadores e índice de risco de Ambiente

AMBIENTE						
Indicadores				Índice AMB	Situação	
Temperatura (C ⁰)	Cotas (m)	Duração (dias)				
28,5	18	60	Cheia típica	0,163	Risco baixo	
28,5	18	120	Cheia típica	0,353	Risco moderado	
28,6	18	145	Cheia forte	0,357	Risco moderado	
35	18	60	Cheia típica	0,311	Risco moderado	
35	18	120	Cheia forte	0,557	Risco alto	
35	20	120	Cheia extrema	0,557	Risco alto	
40	18	60	Cheia forte	0,384	Risco moderado	
40	18	120	Cheia forte	0,831	Risco muito alto	
40	20	120	Cheia extrema	0,847	Risco muito alto	
28,5	9,5	20	Seca típica	0,143	Risco baixo	
28,5	9,5	120	Seca forte	0,589	Risco alto	
28,5	5,0	20	Seca extrema	0,500	Risco alto	
28,5	5,0	120	Seca extrema	0,500	Risco alto	
35	9,5	20	Seca típica	0,333	Risco moderado	
35	9,5	120	Seca típica	0,698	Risco alto	
35	5,0	20	Seca extrema	0,500	Risco alto	
35	5,0	120	Seca extrema	0,500	Risco alto	
40	9,5	20	Seca típica	0,517	Risco alto	
40	9,5	120	Seca típica	0,843	Risco muito alto	
40	5,0	20	Seca extrema	0,500	Risco alto	

3.3. Respostas geradas para o índice VE

Este índice indica a vulnerabilidade do tambaqui. Para análise e validação deste índice trabalhamos com alguns dos parâmetros do tambaqui da literatura, em particular os dados de Isaac e Ruffino (1996) e Campos, et al. (2015) e simulamos variações nos indicadores. Não temos nestes trabalhos informações sobre fecundidade, mas simulamos com valores considerados por especialistas como valores mínimos e máximos para o tambaqui. Este índice mostrou que as espécies da região de Manacapuru simulados a partir das informações de Campos, indicam a espécie em situação de vulnerabilidade moderada e das espécies de Santarém em vulnerabilidade baixa (Tabela 27).

Tabela 28: Indicadores e índices da vulnerabilidade do tambaqui

Comp. 1a maturidade	Indicadores			Índice	Situação
	Fecundidade	Comp. em idade máxima	k/ano ⁻¹		
55,3	1419	65,96	0,18	Campos et al., 2015	25,3 moderada
55,3	900	65,96	0,18		30,2 moderada
55,3	900	114,00	0,18		16,2 baixo
55,3	1419	65,96	0,12		25,3 moderada
55,3	900	65,96	0,12		33,2 moderada
55	1419	107,2	0,22	Isaac;Ruffino, 1996	16,6 baixo
28	1419	118,7	0,22	Isaac;Ruffino, 1996	16,9 baixo
28,50	1419	121,20	0,22	Isaac;Ruffino, 1996	17 baixo
55	900	107,2	0,22		16,3 baixo
28	900	118,7	0,22		16,9 baixo
28,50	900	121,20	0,22		17 baixo
28	900	65,96	0,18		30,2 moderada
28	900	65,96	0,12		33,2 moderada

3.4. Respostas geradas para o índice PP

O índice de pressão de pesca foi avaliado utilizando as variações mínimas e máximas de CPUE nos trabalhos com tambaqui, conforme citados na (Tabela 26). Observamos que o indicador de comprimento de primeira captura se destaca para valores abaixo de 55cm, valor estimado em portaria do IBAMA de n.8 de 2 de fevereiro de 1996 que trata do tamanho mínimo de captura. Todos os valores simulados abaixo deste tamanho mínimo indicam um risco por pressão de pesca de alta a muito alta (Tabela 28).

Tabela 29: Indicadores e índices da pressão de pesca

Pesca				
CPUE (kg/homem-dia)	Indicadores		Índice	Situação
		Comp. 1a. Captura		
10		55	33,2	baixa
16		55	17,4	baixa
21		55	16,3	baixa
10		37	68,4	muito alta
16		37	40,6	alta
21		37	42,2	alta
10		28	84,3	muito alta
16		28	60	alta
21		28	60	alta

3.5. Índice de Sustentabilidade do estoque de tambaqui

Para a avaliação do índice de sustentabilidade do estoque agregamos os índices AMB, VE E PP usando os valores típicos e extremos do tambaqui considerando os valores de saída destes índices. Desta forma introduzimos no ISE as informações dos blocos AMBIENTE-(AMB), BIOLÓGICO-(VE) e PESCA-(PP).

Os valores utilizados para gerar o ISE estão descritos na (Tabela 29).

Avaliamos eventos típicos com baixa vulnerabilidade e baixa pressão de pesca e tanto cheias quanto secas típicas nestas condições indicam alta sustentabilidade dos estoques.

Simulamos projeções com aumento de temperatura e pressões de pesca de alta a muito alta tanto em cheias extremas quanto em secas extremas leva os estoques a condições de pouca ou muito pouca sustentabilidade.

Tabela 30: Índice de sustentabilidade do tambaqui (ISE)

Temperatura	Eventos	AMB	VE	PP	ISE	Situação
28,5	Cheia típica	0,353	16,6	33,2	82,3	Altamente sustentável
28,5	Seca típica	0,143	16,6	33,2	83,3	Altamente sustentável
35	Cheia extrema	0,557	16,2	40,6	40,0	Pouco sustentável
40	Cheia extrema	0,847	25,3	84,3	16,3	Muito pouco sustentável
35	Seca extrema	0,500	16,2	40,6	40,0	Pouco sustentável
40	Seca extrema	0,843	25,3	84,3	16,3	Muito pouco sustentável

IV. Discussão

As mudanças climáticas tem trazido riscos a economia, a sociedade e a fauna e flora globais com riscos potenciais para a bacia Amazônica (SHUKLA *et al.*,1990; MALHI *et al.*,2008). Na Amazônia são previstas diminuição de precipitações com o aumento da temperatura o que acarretará riscos na oferta e qualidade de água, frequência e duração de intensidade de secas e cheias, maiores taxas de evapotranspiração e aumento da temperatura da água (POFF *et al.* ,2002; PITTOCK *et al.* ,2008; BATES *et al.*, 2008). Neste cenário a biodiversidade da ictiofauna da Amazônia pode sofrer grande impacto, uma vez que é completamente dependente em seus ciclos de vida do pulso de inundações. A frequência de eventos extremos já tem sido uma realidade e estudos sobre os impactos destes eventos nos estoques são raros, mas estes tem indicado que os efeitos de eventos como as secas extremas são distintos para diferentes comunidades e assembleias de peixes na Amazônia (FREITAS *et al.*, 2013; FRABRÉ *et al.*, 2017).

A sustentabilidade e a conservação de estoques de peixes tem como premissa inicial a avaliação dos estoques, utilizando modelos matemáticos e estatísticos em geral que exigem uma série longa de dados e utilizados a nível de escalas comerciais para pescarias marinhas (LORENZEN *et al.*, 2016). Na Amazônia a avaliação de estoques esbarra em aspectos inerentes a pescarias que se caracterizam como multiespecíficas, de pequena escala, séries curtas de dados e poucas avaliações sobre descartes de peixes. Todos estes fatores somados dificultam a coleta de dados suficiente para o uso dos modelos clássicos vigentes que permitam uma avaliação acurada sobre a situação dos estoques, ainda que já se reconheça a necessidade de novas abordagens para pescarias em pequena escala (FAO; WORLD FISH CENTER, 2008. Na última década a logica fuzzy tem sido utilizada para avaliações em pescarias marinhas para avaliação da vulnerabilidade de espécies de peixes marinhos (CHEUNG *et al.*, 2005), em manejo espacial (TEH; TEH, 2010) e sustentabilidade de comunidades de pescadores (AGUADO *et al.*, 2016) como uma nova abordagem.

A pesquisa aqui apresentada propôs uma abordagem de sistemas fuzzy que avalia a sustentabilidade dos estoques, em particular do tambaqui na Amazônia Central que estabelecendo interações entre variáveis ambientais, pressão da pesca e vulnerabilidade da espécie sob condições climáticas locais extremas. A análise destes eventos ainda são insípidas e se mostram complexas devido a ausência de um banco de dados com séries históricas longas para algumas variáveis do sistema. Os sistemas especialistas tem como vantagem a

possibilidade de mesclar dados quantitativos quanto qualitativos (sistemas especialista fuzzy). Esta ferramenta possibilitou analisar riscos do ambiente, a vulnerabilidade da espécie e pressão da pesca com indicadores locais e com dados até então disponíveis em agências públicas, informações de literatura científica e conhecimento de especialistas. Os Indicadores que se destacaram como eficientes para a avaliação do ambiente sob os efeitos extremos são a temperatura e duração dos eventos. A duração ou tempo dos eventos extremos, a temperatura e magnitude dos eventos segundo Frederico et al., (2016) seria ecologicamente um fator de risco para o ambiente e as espécies, o que foi possível comprovar com o sistema especialista criado. O ambiente para altas temperaturas indica riscos muito altos quando secas e cheias extremas são prolongadas além da capacidade limite de tempo de duração, se comparados aos de eventos típicos sazonais relatados em estudos de (BARBOSA, et al., 2013; BITTENCOURT; AMADIO, 2007).

Quando avaliado a vulnerabilidade do tambaqui com indicadores de crescimento e dos principais aspectos do ciclo de vida do peixe, este se mostrou mais vulnerável nas regiões de Manacapuru do que os do estoque de Santarém. O que poderá ser efeito dos parâmetros utilizados, uma vez que o estoque de Manacapuru se encontra em estado de sobrepesca e o tamanho de primeira captura tem reduzido a cada ano. Fatores como crescimento, fertilidade e comprimento de primeira maturação utilizados para avaliações de rendimento, foram relacionados com o status do ambiente sob efeitos do clima e da pressão da pesca, abordagem inédita para a espécie. A vulnerabilidade do tambaqui indica relação de risco moderado quando valor de comprimento de primeira maturidade é alta e valor baixo de fertilidade com comprimento em idade máxima é pequeno. Este índice indica o quanto a espécie pode se tornar ainda mais vulnerável com a pressão da pesca e a frequência dos eventos extremos uma vez que sua reprodução e alimentação são dependentes da dinâmica do ciclo hidrológico. Esta vulnerabilidade já moderada indica que os efeitos já relatados da sobrepesca estão afetando a população de tambaqui na região.

O índice de pressão de pesca mostrou que é fundamental o tamanho de primeira captura. A pressão sob indivíduos muito jovens deixa o estoque vulnerável. O que corrobora com a necessidade de uma maior fiscalização para as leis já estabelecidas para o defeso do tambaqui, o estoque não se mostraria tão suscetível a riscos.

Para a sustentabilidade do estoque os índices foram analisados em conjunto sob eventos típicos e extremos tanto para cheias quanto para secas extremos onde as temperatura elevadas mostrou que o estoque fica muito pouco sustentável com a permanência da pressão de pesca atual e o cenário já moderadamente vulnerável da espécie. A pouca sustentabilidade

demonstrada pelo modelo criado corrobora a análise de Lopes (2017) sobre a distribuição reduzida do tambaqui nas suas áreas nativas, com aumento de temperatura. O modelo proposto comprovou o status do ambiente mas também possibilitou, a partir da incorporação da incerteza uma avaliação do estoque do tambaqui atual e sob impactos dos efeitos climáticos extremos.

Considerando as respostas do modelo e as respostas geradas pelos índices sugerimos esta abordagem com sistemas fuzzy como resposta aos problemas de gestão e manejo de pescarias de pequena escala com poucos dados, como no caso dos estoques de tambaqui. O sistema é passível de adaptações para demais espécies e com mais indicadores.

V. Considerações finais

Este trabalho avaliou a sustentabilidade do estoque de tambaqui sob eventos de cheias e secas extremas e constatou que o estoque será pouco ou muito pouco sustentável na Amazônia Central caso se comprove o aumento de temperatura de superfície, conforme é relatado no IPCC (2014), e se mantiver a atual pressão de pesca.

Propomos índices para avaliação de riscos do ambiente e vulnerabilidade do tambaqui. O modelo indicou que o tambaqui está moderadamente vulnerável, mas que esse cenário pode ser agravado com o aumento da temperatura implicando em mudanças nas relações de crescimento e reprodução.

Os altos riscos do ambiente são principalmente dependentes da temperatura e da duração dos eventos. Concluimos que o modelo proposto se mostrou válido e eficiente para tais análises, sugerimos como abordagem para auxiliar no manejo e gestão dos estoques de tambaqui.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Programa de Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas pelo apoio institucional aos autores.

Referências

- AGUADO, S.H. et al. **Towards sustainable fisheries: A multi-criteria participatory approach to assessing indicators of sustainable fishing communities: A case study from Cartagena (Spain)**. *Marine Policy*, v. 65, p. 97-106, 2016.
- BARBOSA, H.T.B. et al. Fator de condição de peixes do sistema do Lago Grande, Manacapuru, Amazonas. 2013.
- BARANGE, M. et al. **Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries**. *Nature Climate Change*, v. 4, n. 3, p. 211, 2014.
- BELHABIB, D.; LAM, V.WY; CHEUNG, W.WL. **Overview of West African fisheries under climate change: Impacts, vulnerabilities and adaptive responses of the artisanal and industrial sectors**. *Marine Policy*, v. 71, p. 15-28, 2016.
- BELL, J.D. et al. **Mixed responses of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change**. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 6, p. 591, 2013.
- BLASIAK, R. et al. **Climate change and marine fisheries: Least developed countries top global index of vulnerability**. *PloS one*, v. 12, n. 6, p. e0179632, 2017
- BITTENCOURT, M.M.; AMADIO, S.A. **Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus**. *Acta Amazonica*, v. 37, n. 2, p. 303-308, 2007.
- BRANDER, K. **Impacts of climate change on fisheries**. *Journal of Marine Systems*, v. 79, n. 3, p. 389-402, 2010.
- BUSH, A.; HOSKINS, A.J. **Does dispersal capacity matter for freshwater biodiversity under climate change?** *Freshwater Biology*, v. 62, n. 2, p. 382-396, 2017.
- CAMPOS, C. P. et al. **Population dynamics and stock assessment of *Colossoma macropomum* caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil)**. *Fisheries management and ecology*, v. 22, n. 5, p. 400-406, 2015.
- CARPENTER, S. R. et al. **Global change and freshwater ecosystems**. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 23, n. 1, p. 119-139, 1992.
- CASTELLO, L.; ISAAC, V.J.; THAPA, R. **Flood pulse effects on multispecies fishery yields in the Lower Amazon**. *Royal Society open science*, v. 2, n. 11, p. 150299, 2015.
- CHAPMAN, S. et al. **Publishing trends on climate change vulnerability in the conservation literature reveal a predominant focus on direct impacts and long time-scales**. *Diversity and Distributions*, v. 20, n. 10, p. 1221-1228, 2014.
- CHEN, D.G. et al. **A fuzzy logic model with genetic algorithm for analyzing fish stock-recruitment relationships**. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 57, n. 9, p. 1878-1887, 2000.

CHEUNG, W.WL; PITCHER, T.J.; PAULY, D. **A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing.** Biological conservation, v. 124, n. 1, p. 97-111, 2005.

CINNER, J.E. et al. **Evaluating social and ecological vulnerability of coral reef fisheries to climate change.** PloS one, v. 8, n. 9, p. e74321, 2013.

COHEN, A.S. et al. **Climate warming reduces fish production and benthic habitat in Lake Tanganyika, one of the most biodiverse freshwater ecosystems.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 113, n. 34, p. 9563-9568, 2016.

COMTE, L. et al. **Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends.** Freshwater Biology, v. 58, n. 4, p. 625-639, 2013.

COSTA, C.C.; GOMES, L.J.; DE ALMEIDA, A.P. **Seleção de indicadores de sustentabilidade em fragmentos florestais de Mata Atlântica na bacia hidrográfica do Rio Poxim-SE por meio do geoprocessamento.** Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 18, n. 1, p. 209-219, 2014.

FABRÉ, N.N. et al. **Fishing and drought effects on fish assemblages of the central Amazon Basin.** Fisheries Research, v. 188, p. 157-165, 2017.

FREITAS, C.E.C, et al. **The potential impact of global climatic changes and dams on Amazonian fish and their fisheries.** In Turker H. [ed.] Dynamic Changes in Fish Biology and Fisheries. InTech publishing. 2013.

GILBERT, L.; SMITH, J. W. **How Will Climate Change Affect Freshwater Fishing?.** 2016. Disponível em: https://digitalcommons.usu.edu/extension_curall/1665

HOBDAY, A.J.; LOUGH, J.M. **Projected climate change in Australian marine and freshwater environments.** Marine and Freshwater Research, v. 62, n. 9, p. 1000-1014, 2011.

HOLT, R.E.; JØRGENSEN, C. **Climate change in fish: effects of respiratory constraints on optimal life history and behaviour.** Biology letters, v. 11, n. 2, p. 20141032, 2015.

ISAAC, V. J.; RUFFINO, M. L. **Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon, Brazil.** Fisheries Management and Ecology, v. 3, n. 4, p. 315-333, 1996.

KNOUFT, J. H.; FICKLIN, D.L. **The Potential Impacts of Climate Change on Biodiversity in Flowing Freshwater Systems.** Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, n. 0, 2017.

LI, O.; GRAY, S.A.; SUTTON, S.G. **Mapping recreational fishers' informal learning of scientific information using a fuzzy cognitive mapping approach to mental modelling.** Fisheries Management and Ecology, v. 23, n. 3-4, p. 315-329, 2016.

LOPES, T.M. et al. **Two sides of a coin: Effects of climate change on the native and non-native distribution of *Colossoma macropomum* in South America.** PloS one, v. 12, n. 6, p. e0179684, 2017.

LORENZEN, K. et al. **Stock assessment in inland fisheries: a foundation for sustainable use and conservation.** Reviews in Fish Biology and Fisheries, v. 26, n. 3, p. 405-440, 2016.

MACKINSON, S.; VASCONCELLOS, M.; NEWLANDS, N. **A new approach to the analysis of stock-recruitment relationships: "model-free estimation" using fuzzy logic.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 56, n. 4, p. 686-699, 1999

MAMDANI, E.H., (1977). **Applications of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis,** *IEEE Trans. Computers*, Vol. 126: 1182-1191.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts.** International Journal of Climatology, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016.

MARENGO, J.A. et al. **Extreme climatic events in the Amazon basin.** Theoretical and Applied Climatology, v. 107, n. 1-2, p. 73-85, 2012.

MOCQ, J.; ST-HILAIRE, A.; CUNJAK, R. A. **Influences of experts' personal experiences in fuzzy logic modeling of Atlantic salmon habitat.** North American Journal of Fisheries Management, v. 35, n. 2, p. 271-280, 2015.

MOUNIC-SILVA, C.E. **Sobrepesca do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central: histórico, situação atual e perspectivas.**In: Scarlato,F.C.,R.A. de Oliveira Evangelista & W.F. Araújo (eds.) Amazônia Terra & Água: Degradação e Desenvolvimento Sustentável. Editorada UFRR, Paricarana, 2012. p.19-39.

NOBRE, C.A. et al. **Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

NÓBREGA, R S. **Impacts of deforestation and climate change on water resources in the Western Amazon using the SLURP model.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, n. SPE, p. 111-120, 2014.

OJEA, E. et al. **Fisheries regulatory regimes and resilience to climate change.** Ambio, v. 46, n. 4, p. 399-412, 2017.

PATERSON, B. et al. **A fuzzy-logic tool for multi-criteria decision making in fisheries: the case of the South African pelagic fishery.** Marine and Freshwater Research, v. 58, n. 11, p. 1056-1068, 2007.

PETITGAS, P. et al. **Impacts of climate change on the complex life cycles of fish.** Fisheries Oceanography, v. 22, n. 2, p. 121-139, 2013.

PETRERE, M., **Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil.** Journal of Fish Biology, v. 22, n. 2, p. 133-144, 1983.

POESCH, M.S. et al. **Climate change impacts on freshwater fishes: a Canadian perspective.** Fisheries, v. 41, n. 7, p. 385-391, 2016.

RAMOS, J. et al. **Perceived impact of offshore aquaculture area on small-scale fisheries: A fuzzy logic model approach.** Fisheries Research, v. 170, p. 217-227, 2015.

RIJNSDORP, A.D. et al. **Resolving the effect of climate change on fish populations.** ICES journal of marine science, v. 66, n. 7, p. 1570-1583, 2009.

ROSA, R.S.; MENEZES, N.A. **Relação preliminar das espécies de peixes (*Pisces, Elasmobranchii, Actinopterygii*) ameaçadas no Brasil.** Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, v. 13, n. 3, p. 647-667, 1996.

SAVO, V.; MORTON, C.; LEPOFSKY, D. **Impacts of climate change for coastal fishers and implications for fisheries.** Fish and Fisheries, 2017.

SORRIBAS, M.V. et al. **Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin.** Climatic change, v. 136, n. 3-4, p. 555-570, 2016.

SOTO-ZARAZÚA, G.M. et al. **Fuzzy-logic-based feeder system for intensive tilapia production (*Oreochromis niloticus*).** Aquaculture international, v. 18, n. 3, p. 379-391, 2010.

SOUSA, R. S.G; FREITAS, C. E. C. **Seasonal catch distribution of tambaqui (*Colossoma macropomum*), Characidae in a central Amazon floodplain lake: implications for sustainable fisheries management.** Journal of Applied Ichthyology, v. 27, n. 1, p. 118-121, 2010.

SOUSA, R.G.C; FREITAS, C.E.C. **The influence of flood pulse on fish communities of floodplain canals in the Middle Solimões River, Brazil.** Neotropical Ichthyology, v. 6, n. 2, p. 249-255, 2008.

SUMAILA, U. R. et al. **Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries.** Nature climate change, v. 1, n. 9, p. 449-456, 2011.

SYLAIOS, G. K.; KOUTROUMANIDIS, T.; TSIKLIRAS, A. C. **Ranking and classification of fishing areas using fuzzy models and techniques.** Fisheries management and ecology, v. 17, n. 3, p. 240-253, 2010.

TANSCHKEIT, R. **Sistemas fuzzy.** Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

TEH, L.C.L.; TEH, L.S.L. **A fuzzy logic approach to marine spatial management.** Environmental management, v. 47, n. 4, p. 536-545, 2011.

VARGAS, F.F.; VEIGA, J.A.P. **Padrões atmosféricos e oceânicos associados a eventos extremos na bacia amazônica.** Ciência e Natura, v. 39, n. 2, p. 423, 2017.

WISE, L. et al. **Qualitative modelling of fishermen's behaviour in a pelagic fishery.** Ecological Modelling, Elsevier, 228, p 112– 122, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.12.008>

YALCUK, A.; POSTALCIOGLU, S. **Evaluation of pool water quality of trout farms by fuzzy logic: monitoring of pool water quality for trout farms.** International Journal of Environmental Science and Technology, v. 12, n. 5, p. 1503-1514, 2015.

YURRITA, P.J.G. **Fuzzy logic applied into a holistic model to manage seasonal watersheds in México.** EnviroGeoChimica Acta, p. 352-374, 2014.

Considerações finais e trabalhos futuros

Retomando as questões que nortearam a pesquisa, esta tese foi centrada no desenvolvimento e aplicação da lógica fuzzy como suporte a decisões e apoio para avaliação dos efeitos das mudanças climáticas no estoque e na pesca do tambaqui. No primeiro artigo buscamos responder a primeira questão de pesquisa “Como está o estoque e pesca do tambaqui na Amazônia Central?”. Respondendo a esta questão verificamos que o estoque reflete o mesmo padrão Nacional e da cidade de Manaus, principal porto no Amazonas, que é de declínio na produção do tambaqui. Verificamos que a dinâmica da pescaria quanto a apetrechos tem se mantido a mesma, os pescadores utilizam mais as malhadeiras tanto na seca quanto na cheia. No entanto, os tipos de negociações tem mudado ligeiramente, uma vez que o tambaqui no ponto de desembarque tem sido em sua grande maioria fruto de compras em comunidades, do que de captura em pescarias realizadas por barcos recreio ou geleiros. Ao contrário do que foi relatado em outros trabalhos, houve um maior desembarque por barcos recreio em vez de geleiros ou canoas motorizadas. Os pescadores relataram que barcos recreio vem sendo adaptados com urnas frigoríficas, o que conduz a pescaria para lugares mais distantes explorando novas áreas e facilitando a conservação do pescado. Estas modificações tem gerado conflitos entre os pescadores e donos de barcos geleiros. Além disso, o tamanho de captura está bem abaixo do estabelecido pela portaria do IBAMA n.8/1996, e o desembarque do pescado tem sido contínuo ao longo do ano contribuindo para o atual estado de sobrepesca do tambaqui. Inferimos que se nada for feito como medida mais efetivas para parar tal tendência, os estoques de tambaqui na região poderão ficar ainda mais escassos. Se faz necessária implementar programas de educação e dar opções de outras atividades produtivas para que o defeso seja eficiente. Como trabalho futuro propor novas abordagens para avaliar o esforço de pesca considerando medidas de intensidade por áreas.

No segundo artigo procuramos trazer informações sobre os efeitos das secas e cheias extremos. Como são percebidos e o quanto afetam o pescador e sua pescaria? O que ele considera essencial e quais fatores bio-ecológicos ele prioriza para tomadas de decisões quanto ao estoque? Utilizamos a lógica fuzzy como abordagem para medir a percepção do grupo de pescadores entrevistados sobre os efeitos destes eventos e avaliar os principais fatores que são considerados como alternativas para tomadas de decisões. Identificamos indicadores destes efeitos no ambiente e na pescaria a partir destas percepções dos pescadores, que poderão ser utilizados como parâmetros para avaliações futuras. Nosso estudo mostrou que os pescadores tem clara ideia do como estes efeitos tem afetado sua pescaria e o estoque. E suas decisões e

olhar sobre o estoque nestes casos, mostram o quanto eles conhecem do tambaqui e das relações dos movimentos da espécie com o ciclo hidrológico. Para trabalhos futuros poderemos gerar e avaliar essas decisões tanto dos pescadores quanto de gestores considerando variáveis econômicas e sociais, trazendo uma outra ferramenta da lógica fuzzy que se tem mostrado robusta para este tipo de avaliações.

E no último artigo avaliamos a sustentabilidade do estoque mediante os eventos extremos. Propomos índices e indicadores e geramos um sistemas fuzzy que demonstrou excelente acurácia. Os estoques de tambaqui se mostram insustentáveis quando temperaturas elevadas e a duração dos eventos extremos são muito longos. O tamanho de captura e a pressão da pesca indicam moderado risco e vulnerabilidade da espécie. A grande vantagem deste sistema é que pudemos usar um banco de informações de dados histórico curtos e utilizar dados qualitativos e a experiência de especialistas. Esta abordagem se mostrou eficiente para estes casos, corroborando as projeções futuras para estoques de tambaqui na Amazônia Central. Para trabalhos futuros iremos propor a extensão do sistema para outras espécies e expandir com mais variáveis de ambiente e econômicas.

Apêndice

QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTAS

N.F.: _____

Entrevistador: _____ Data: _____

Local da entrevista: _____

I- IDENTIFICAÇÃO DO ENTREVISTADO

1.1. Nome: _____ idade: _____ sexo: F() M()

1.2. Telefone para contato: _____

1.3. Endereço/moradia: _____

1.4. Há quanto tempo mora na localidade?: _____ Rural () Cidade ()

1.5. Escolaridade: Nunca estudou () 1a. a 4a. série () _____ 5a. a 8a. () _____ Só assina o nome: ()

Ensino Médio: completo () ou incompleto () Ensino Superior () Qual curso superior: _____

1.6. Nº de pessoas da família quem moram na sua casa: _____

Filhos () Netos () Cunhados(as) () outros parentes () _____

1.7. Quantos dos moradores também são pescadores? _____

1.8. É sócio da Colônia de pescadores de manacapuru? Sim () Não () Há quanto tempo? _____

1.9. Tempo de experiência na pesca: _____

1.10. Para Gestores:

a) Instituição em que atua: _____ b) Área em que atua: _____

c) Tempo de atuação na área: _____ d) Função: _____

II - SÓCIO ECONÔMICO**Renda Familiar:**

2.1. Recebe seguro defeso? Sim () Não (). Se houver mais alguém na casa que receba listar abaixo.

2.2. O sr. ou alguém de sua família recebe salário/aposentadoria/ diária/bolsa/pensão? Sim () Não ()

a) Quem recebe	b) Tipo de trabalho/Renda	c) Valor/Periodicidade

2.3. Renda média mensal da pescaria (a quanto ele vende o pescado)

Valor tirado na seca: _____ Valor tirado na cheia: _____

2.4. Quais outras atividades o sr.(a) desenvolve?

() agricultura: a) itens _____

b) Função: () subsistência () Comercial Renda: _____

() criação animal: quais animais? _____

Função: () subsistência () Comercial Renda: _____

() outros _____

Função: () subsistência () Comercial Renda: _____

III- Dinâmica da Pesca do Tambaqui (Conhecimento da espécie)

3.1. O sr. pesca Tambaqui? () sim () não

3.2. O(a) sr.(a) tem pescado/comprado mais tambaqui de quais tamanhos? _____

3.3. O sr. contrata outros pescadores para fazer a pescaria do tambaqui? Sim () Não ()

a) Sexo	b) Número		c) Salário		d) Período Sazonal	
	permanente	temporário	permanente	Temporário	Cheia	Seca
Feminino						
Masculino						

3.4. O sr(a) pesca mais tambaqui para: () vender () comer e vender () comer

3.5. Tipo de Embarcação (tamanho, capacidade, hp): _____

3.6. Quais os outros peixes que captura?

Ranking Por espécie	Sazonalidade e Local de captura				Aparelho de pesca (Tipo e tamanho)	
	Sec a	Local de captura	Chei a	Local de captura		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

3.7. Qual o tamanho de um tambaqui considerado grande/adulto: _____ pequeno/jovem: _____

3.8. Em que locais encontra mais tambaquis grandes? _____

3.9. Em que locais encontra mais tambaquis pequenos? _____

3.10. O tambaqui é peixe que prefere: () águas rasas () média profundidade () fundo

3.11. Qual o período de defeso do tambaqui? _____

3.12. Esse período é correto? _____

3.13. O sr. sabe porque o defeso é esse período? _____

3.14. Qual o período (meses) em que o tambaqui desova? _____

3.15. Onde o tambaqui desova? _____

3.16. Qual o tamanho do peixe quando ele está ovado? _____

3.17. Qual o tamanho ou idade em que o tambaqui faz a primeira desova? _____

3.18. Qual o menor tamanho do tambaqui que pescou ou comprou ovado? _____

IV- Dinâmica de Pesca do Tambaqui (Sazonalidade)

	Cheia	Seca
4.1.	Locais de pescaria do Tambaqui e tempo que leva para chegar em cada área	
4.2.	Quais os aparelhos de pesca utilizados e a quantidade	
4.3.	Quantas pescarias faz por semana?	
4.4.	Quantos dias pescando?	
4.5.	Quantas horas por dia?	
4.6.	Quantos pescadores?	
4.7.	Quantos kg de tambaqui são capturados?	
4.8.	Qual o preço médio de comercialização? e Qual destino do pescado?	

4.9	Qual sua renda média por pescaria?
4.10.	Qual o maior e menor tamanho de tambaqui já pescado? Em que ano?
4.11.	O que o tambaqui come?
4.12.	Características da embarcação utilizada (tamanho, capacidade de pescado (caixas ou kg), hp leva gelo () sim () não

QUESTIONÁRIO EVENTOS CLIMÁTICOS

V- Ambientes de pescaria

5.1. Quais são os meses dos períodos de:

Enchente: ()jan. ()fev. ()març. ()abril ()maio ()jun. ()jul. ()ago ()set. ()out. ()nov. ()dez.

Cheia: ()jan. ()fev. ()març. ()abril ()maio ()jun. ()jul. ()ago ()set. ()out. ()nov. ()dez.

Vazante: ()jan. ()fev. ()març. ()abril ()maio ()jun. ()jul. ()ago ()set. ()out. ()nov. ()dez.

Seca: ()jan. ()fev. ()març. ()abril ()maio ()jun. ()jul. ()ago ()set. ()out. ()nov. ()dez.

5.2. Observou alguma mudança no tempo ou movimento de um período para outro das águas?
()sim () não

5.3. Desde que está na região, você acha que houve alguma mudança no clima? () sim () não.

() positiva () negativa 1 2 3 4 5 6 7 8 9

5.4. O que em sua opinião sofreu modificações?

5.5. Estas modificações que o sr. observou afetaram de alguma forma a pescaria? () sim () não () n.s.

() positiva () negativa 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como afetou ? _____

5.6. Quais são os principais problemas ambientais nos locais de pescaria:

() poluição de rios/igarapés () Desmatamento () Pesca comercial () Pesca esportiva () Não sabe

() outros quais? _____

5.7. Esses fatores afetam o ambiente de sua pescaria:

() positiva () negativa 1 2 3 4 5 6 7 8 9

5.8. Quem são na sua opinião os responsáveis por esses problemas?

() governo () moradores () agricultores () pescadores comerciais () Não sabe

() outros quais? _____

5.9. O sr. notou mudanças na quantidade ou nos tamanhos de peixes?

Espécies	Quantidade				Tamanho			
	aumentou	diminuiu	n.a.	n.s.	aumentou	diminuiu	n.a.	n.s.
Tambaqui	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9			1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9		

Legenda: (n.a)- não observou alterações (n.s.) - não sabe observou alterações

Outras Espécies	Quantidade				Tamanho			
	aumentou	diminuiu	n.a.	n.s.	aumentou	diminuiu	n.a.	n.s.
	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9			1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9		

VI- Eventos Extremos

Cheias

6.1. O sr. acha que o rio está enchendo mais rápido? () sim () não Em quanto tempo? _____

6.2. Quais foram os anos que ocorreram grandes cheias? _____

6.3. As Cheias estão: () mais demoradas () mais curtas () n.s.

6.4. De quanto em quanto tempo estas grandes cheias tem ocorrido? _____

6.5. Quais as áreas que alagam durante as grandes cheias? _____

6.6. O(a) sr.(a) sabe dizer ou tem opinião do porque tem ocorrido cheias extremas? _____

Cheia extrema		
Perguntas		Ponderações fuzzy
6.7.	Após uma cheia extrema a quantidade de tambaqui: () aumenta () diminui () não faz diferença () n.s	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.8.	O tambaqui tem alimentação: () mais disponível () menos disponível () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.9	A desova do tambaqui após uma cheia extrema: () aumenta () diminui () não faz diferença () n.s	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.10	A sobrevivência dos filhotes de tambaqui: () maior () menor () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.11	Vc. percebe alguma diferença nos movimentos do tambaqui? () sim () não () n.s. Ele se movimenta: () mais () menos () não faz diferença	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.12	Durante a cheia extrema sua renda com a pesca: () aumenta () diminui () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.13.	Com a fiscalização vc. acredita que a quantidade de tambaqui: () aumenta () diminui () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9

Secas

6.14. O sr. acha que o rio está secando mais rápido? () sim () não Em quanto tempo? _____

6.15. Quais foram os anos que ocorreram grandes secas? _____

6.16. As secas estão: () mais demoradas () mais curtas () n.s.

6.17. De quanto em quanto tempo estas grandes secas tem ocorrido? _____

6.18. Quais as áreas que ficam à descoberto durante as grande secas? _____

6.19. O(a) sr.(a) sabe dizer ou tem opinião do porque tem ocorrido secas extremas? _____

Seca extrema		
Perguntas		Ponderações fuzzy
6.20.	Durante uma seca extrema a quantidade de tambaqui: () aumenta () diminui () não faz diferença () n.s	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.21.	O tambaqui tem alimentação: () mais disponível () menos disponível () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.22.	A desova do tambaqui após uma seca extrema: () aumenta () diminui () não faz diferença () n.s	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.23.	A sobrevivência dos filhotes de tambaqui: () maior () menor () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.24.	Vc. percebe alguma diferença nos movimentos do tambaqui? () sim () não () n.s. Ele se movimenta: () mais () menos () não faz diferença	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.25.	Vc. percebe se morrem tambaqui adultos: () sim () poucos () não () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.26.	Durante a seca extrema sua renda com a pesca: () aumenta () diminui () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9
6.27.	Com a fiscalização vc. acredita que a quantidade de tambaqui: () aumenta () diminui () não tem influência () n.s.	1 2 3 4 5 6 7 8 9

VII- Manejo e Gestão

7.1 Qual a sua sugestão para aumentar a quantidade de tambaqui? _____

7.2 Como o sr.(a) acha que será a pesca do tambaqui daqui 5 ou 10 anos? _____

7.3 O que o sr. estaria disposto a fazer em caso do estoque diminuir salvar o tambaqui? _____

7.4. O sr.(a) prefere ter o que pescar agora e correr o risco de não mais ter tambaqui ou garantir para o futuro dos seus filhos ou netos? _____

7.5 Para gestores: Na sua opinião, o que poderia ser feito para salvar o tambaqui em caso do estoque diminuir?
